

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202393233** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2024.02.19**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.06.14**

(51) Int. Cl. **G01N 22/02** (2006.01)  
**A61B 5/0507** (2021.01)  
**G01N 21/17** (2006.01)  
**G01N 21/3581** (2014.01)  
**G01N 22/00** (2006.01)  
**G01S 13/89** (2006.01)  
**G03B 42/00** (2021.01)  
**G03B 42/06** (2021.01)

(54) **УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

(31) **2021-100909**

(32) **2021.06.17**

(33) **JP**

(86) **PCT/JP2022/023828**

(87) **WO 2022/265017 2022.12.22**

(71) Заявитель:  
**КИМУРА КЕНДЗИРО (JP)**

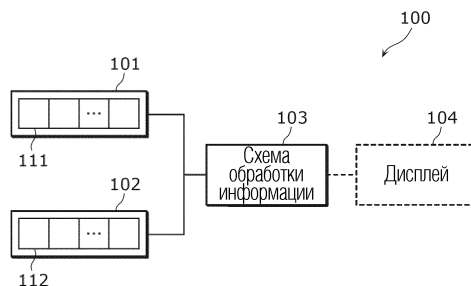
(72) Изобретатель:

**Кимура Кендзирос, Кимура Нориаки,  
Кимура Фумитоси (JP)**

(74) Представитель:

**Медведев В.Н. (RU)**

(57) Устройство (100) формирования изображений включает в себя ряд (101) передатчиков, включающих в себя множество передатчиков (111), которые выравниваются по прямой линии и передают волну в зону, ряд (102) приемников, включающих в себя множество приемников (112) и предоставленных с интервалом от ряда (101) передатчиков, причем приемники (112) выравниваются по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выравниваются передатчики (111), и принимают волну из зоны, и схему (103) обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций передатчиков (111) и приемников (112), причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравниваются передатчики (111), и другой прямой линией, вдоль которой выравниваются приемники (112).



**A1**

**202393233**

**202393233**

**A1**

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-579816EA/55

### УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Область техники, к которой относится изобретение

[0001] Настоящее раскрытие сущности относится к устройству формирования изображений и т.п. для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн.

Уровень техники

[0002] В качестве технологий, связанных с устройством формирования изображений и т.п. для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн, предусмотрены технологии, описанные в патентных документах (PTL) 1-5.

[0003] Например, согласно технологии, описанной в PTL 1, пучки, отправленные из микроволнового отправляющего устройства, падают на объект, который должен проверяться, и амплитуды и фазы рассеянных пучков обнаруживаются посредством микроволнового детектора. Затем распределение диэлектрических постоянных вычисляется из выходных сигналов, выводимых из микроволнового детектора, чтобы отображать томограмму объекта, который должен проверяться.

Список библиографических ссылок

*Патентные документы*

[0004] PTL 1. Публикация не прошедшей экспертизу заявки на патент (Япония) номер S62-66145

PTL 2. Международная публикация номер WO2014/125815

PTL 3. Международная публикация номер WO2015/136936

PTL 4. Международная публикация номер WO2021/020387

PTL 5. Международная публикация номер WO2021/053971

Сущность изобретения

*Техническая задача*

[0005] Тем не менее, непросто формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн. В частности, получение данных относительно рассеянных волн, излучаемых из зоны, в отношении волн, которые падают на зону, когда условие в зоне известно, называется "прямой проблемой" и является простым. С другой стороны, получение условия в зоне, когда данные по рассеянным волнам известны, называется "обратной проблемой" и не является простым.

[0006] Кроме того, множество данных измерений получается в зависимости, например, от различных компоновок передающих элементов и приемных элементов. Предположительно это увеличивает пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя. С другой стороны, различные компоновки

передающих элементов и приемных элементов усложняют вычислительную обработку и увеличивают задержки при обработке. Таким образом, затруднительно увеличивать пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя.

[0007] С учетом этого, настоящее раскрытие сущности предоставляет устройство формирования изображений и т.п., которое допускает формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличение пространственного разрешения для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

#### *Решение задачи*

[0008] Устройство формирования изображений согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности включает в себя ряд передатчиков, включающих в себя множество передатчиков, которые выстраиваются по прямой линии и которые передают волну в зону, которая должна измеряться, ряд приемников, включающих в себя множество приемников и предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, причем множество приемников выстраиваются по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выстраиваются множество передатчиков, и принимают волну из зоны, и схему обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получают посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выстраивается множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выстраивается множество приемников.

[0009] Следует отметить, что всесторонние или конкретные аспекты могут реализовываться как системы, устройства, способы, интегральные схемы, компьютерные программы или энергонезависимые носители, такие как машиночитаемые CD-ROM, либо могут реализовываться как любая комбинация систем, устройств, способов, интегральных схем, компьютерных программ и носителей записи.

#### *Преимущества изобретения*

[0010] Согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности, появляется возможность формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличивать пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

#### *Краткое описание чертежей*

[0011] Фиг. 1 является схемой, показывающей мультистатические антенны согласно

справочному примеру.

Фиг. 2 является схемой, показывающей пример S-решетчатой мультистатической антенны согласно варианту осуществления.

Фиг. 3 является схемой, показывающей пример координат, связанных с S-решеткой согласно варианту осуществления.

Фиг. 4 является наружным чертежом S-решетки согласно варианту осуществления.

Фиг. 5 является концептуальной схемой, показывающей одномерную мультистатическую решетчатую антенну.

Фиг. 6 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема.

Фиг. 7 является концептуальной схемой, показывающей координаты точки передачи и точки приема.

Фиг. 8 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема в случае прямого рассеяния.

Фиг. 9 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на плоскости.

Фиг. 10 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на искривленной плоскости.

Фиг. 11 является схемой, показывающей многорядную линейную решетчатую антенну.

Фиг. 12 является концептуальной схемой, показывающей комбинации позиций передачи и позиции приема мультистатической решетчатой антенны.

Фиг. 13 является схемой, показывающей полудвумерную решетчатую антенну на искривленной плоскости.

Фиг. 14 является блок-схемой, показывающей базовую конфигурацию устройства формирования изображений согласно варианту осуществления.

Фиг. 15 является блок-схемой последовательности операций способа, показывающей базовые операции устройства формирования изображений согласно варианту осуществления.

Фиг. 16 является блок-схемой, показывающей конкретную конфигурацию устройства формирования изображений согласно варианту осуществления.

Подробное описание вариантов осуществления

[0012] Устройство формирования изображений согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности включает в себя ряд передатчиков, включающих в себя множество передатчиков, которые выстраиваются по прямой линии и которые передают волну в зону, которая должна измеряться, ряд приемников, включающих в себя множество приемников и предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, причем множество приемников выстраиваются по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выстраиваются множество передатчиков, и принимают волну из зоны, и схему обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в

соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравниваются множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравниваются множество приемников.

[0013] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений получать достаточно информации в качестве данных измерений в соответствии с различными комбинациями множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников. Поскольку имеется разнесение между рядом передатчиков и рядом приемников, устройство формирования изображений допускает соответствующую передачу волны в зону и соответствующий прием волны из зоны. Затем устройство формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя посредством использования функции формирования изображений, извлекаемой в соответствии с данными измерений относительно волны и расстоянием между рядом передатчиков и рядом приемников.

[0014] Кроме того, поскольку передатчики и приемники ограничены размещением на двух прямых линиях, устройство формирования изображений допускает упрощение вычислительной обработки по сравнению со случаем, в котором передатчики и приемники размещаются произвольно. Соответственно, устройство формирования изображений допускает недопущение усложнения вычислительной обработки. Таким образом, устройство формирования изображений допускает формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличение пространственного разрешения для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

[0015] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 1

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 2

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0016] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, заданную при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема имеют идентичную координату  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Следовательно, устройство формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль границы плоскости зоны, посредством использования множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников.

[0017] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, и уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 3

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

где  $\Delta_5$  задается следующим образом:

Математическое выражение 4

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

где  $c$  представляет скорость распространения волны, и  $t$  представляет временную длительность от передачи волны до приема волны.

[0018] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0019] Например, функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 5

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0020] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений в соответствии с операцией ограничения для функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0021] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 6

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} e^{s_3x_2} e^{s_4z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 7

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

где  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 8

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0022] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0023] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 9

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^{z_0} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x \\ y_2 \rightarrow y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y1} y + k_{y2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y1} y + k_{y2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y1} dk_{y2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 10

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y1}^2 + k_{y2}^2) + \frac{(k_{y1}^2 - k_{y2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - (k_{y1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 11

$$s_3 = \frac{-i k_{y1} \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 12

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0024] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие



рассеяния.

[0025] Например, устройство формирования изображений может включать в себя множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков, множество рядов приемников в качестве ряда приемников либо множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда передатчиков и ряда приемников.

[0026] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений получать достаточно информации в качестве данных измерений в соответствии с множеством комбинаций рядов передатчиков и рядов приемников. Это также обеспечивает возможность устройству формирования изображений конструировать мультистатическую взаимосвязь двух направлений, которые являются, соответственно, параллельными и ортогональными к ряду(ам) передатчиков и ряду(ам) приемников. Соответственно, устройство формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0027] Например, для одного ряда передатчиков и  $n$  рядов приемников, которые включаются в качестве ряда передатчиков и ряда приемников в устройство формирования изображений, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 13

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 - x \\ y_2 \rightarrow y_1 - y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_y y + k_z z)} e^{s_4 z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_y y + k_z z)} e^{i k_z z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 14

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)} + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
s_4 = i k_z &= i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 15

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d_j$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 16

$$\Phi_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0028] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции формирования изображений. В частности, устройство формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством выполнения линейного суммирования, соответствующего расстоянию между рядом передатчиков и рядом приемников, для данных измерений, полученных в соответствии с множеством комбинаций рядов передатчиков и рядов приемников.

[0029] Например, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 17

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 18

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 19

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 20

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0030] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникать в зависимости от частоты волны.

[0031] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 21

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 22

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z_1)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z_2)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0032] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, которая задается при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема могут иметь различные координаты  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль тангенциальной плоскости зоны, имеющей искривленную границу, посредством использования множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников.

[0033] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, и уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 23

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = 0$$

где  $\Delta_6$  задается следующим образом:

Математическое выражение 24

$$\Delta_6 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

[0034] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0035] Например, функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 25

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0036] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений посредством использования функции распределения поля рассеяния, которая принимает ввод позиции, которая должна подвергаться формированию изображений. Соответственно, устройство формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0037] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 26

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 - k_y y_1 - k_z z_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_J)} e^{-s_3 z_I} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{z_2} \end{aligned}$$

где  $k_x, s_3, s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 27

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}
\end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_I, z_I)$ .

[0038] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0039] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 28

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 - k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 29

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_J+d, y_J, z_J)$ .

[0040] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0041] Например, схема обработки информации извлекает функцию формирования изображений посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют множеству комбинаций, связанных с рядом передатчиков и рядом приемников, и каждая из множества функций распределения поля рассеяния соответствует функции распределения поля рассеяния и выражается следующим образом:

Математическое выражение 30

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 31

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

[0042] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые отражают данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников.

[0043] Например, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 32



$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 33

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$

представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 34

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0044] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникнуть в зависимости от частоты волны.

[0045] Способ формирования изображений согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности включает в себя инструктирование множеству передатчиков, включенных в ряд передатчиков и выравненных вдоль прямой линии, передавать волну в зону, которая должна измеряться, инструктирование множеству приемников, включенных в ряд приемников, предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, принимать волну из зоны, причем множество приемников выравниваются по другой прямой линии, которая является параллельной с прямой линией, вдоль которой выравнивается множество передатчиков, и извлечение функции формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использование функции формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравнивается множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравнивается множество приемников.

[0046] Этот способ обеспечивает получение достаточного количества информации в качестве данных измерений в соответствии с различными комбинациями множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников. Поскольку имеется разнесение между рядом передатчиков и рядом приемников, можно надлежащим образом передавать волну в зону и надлежащим образом принимать волну из зоны. После этого можно надлежащим образом формировать изображение структуры рассеивателя посредством использования функции формирования изображений, которая извлекается в соответствии с данными измерений относительно волны и расстоянием между рядом передатчиков и рядом приемников.

[0047] Кроме того, поскольку передатчики и приемники ограничены размещением на двух прямых линиях, можно упрощать вычислительную обработку по сравнению со случаем, в котором передатчики и приемники размещаются произвольно. Соответственно, появляется возможность не допускать усложнения вычислительной обработки. Таким образом, можно формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект,

который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличивать пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

[0048] В дальнейшем в этом документе, описывается вариант осуществления со ссылкой на чертежи. Следует отметить, что вариант осуществления, описанный ниже, иллюстрирует один обобщенный или конкретный пример. Числовые значения, формы, материалы, составляющие элементы, позиции в компоновке составляющих элементов, форма соединения составляющих элементов, этапов, последовательность этапов и т.д. в нижеприведенном варианте осуществления представляют собой просто один пример и не имеют намерение ограничивать объем настоящего раскрытия сущности.

[0049] В нижеприведенном описании, в частности, технологии и т.п., описанные в PTL 2-5, приведенных выше, могут упоминаться в качестве существующих технологий. Хотя радиоволны, такие как микроволны, главным образом предполагаются в качестве волн в нижеприведенном описании, волны не ограничены радиоволнами, такими как микроволны. Формирование изображений на основе рассеяния может выражаться как рассеивающая томография. Таким образом, устройство формирования изображений и способ формирования изображений, заданные в нижеприведенном описании, также могут выражаться как рассеивающее томографическое устройство и рассеивающий томографический способ, соответственно

[0050] *Вариант осуществления*

Устройство формирования изображений согласно настоящему варианту осуществления формирует изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны. В дальнейшем в этом документе, подробно описывается устройство формирования изображений согласно настоящему варианту осуществления, включающее в себя технологии и теории, служащие в качестве основы для устройства формирования изображений.

[0051] *I. Общее представление*

Настоящее раскрытие сущности описывает технологию формирования микроволновых изображений на основе теории суперрешетчатого (S-решетчатого) поля рассеяния.

[0052] Фиг. 1 является схемой, показывающей мультистатические (MS) антенны согласно справочному примеру. Каждая мультистатическая антенна включает в себя множество передающих антенных элементов T и множество приемных антенных элементов R, которые размещаются попеременно в ряд. Передающие антенные элементы T и приемные антенные элементы R также могут называться просто "передающими элементами" и "приемными элементами", соответственно.

[0053] Каждый антенный элемент имеет размер в половину длины волны ( $\lambda/2$ ). Таким образом, разрешение в направлении по оси Y составляет половину длины волны ( $\lambda/2$ ). Это не удовлетворяет критерию дискретизации Найквиста, и в силу этого возникает явление, называемое "наложением спектров". Таким образом, есть возможность сдвигать

антенную решетку на  $\lambda/4$  в направлении по оси  $Y$  и сканировать антенную решетку в направлении по оси  $X$ . Альтернативно, также есть возможность использовать способ для связывания двух независимых систем решетчатой антенны в пакет с начала и сканирования этих решетчатых антенных систем вместе.

[0054] Тем не менее, решетчатая антенна этого типа может получать только очень небольшое число данных относительно своей длины в направлении по оси  $Y$ .

[0055] Например, число элементов данных, полученных посредством мультистатических антенн, показанных на фиг. 1, составляет в сумме 18 пар данных, в том числе каждые девять пар, полученных в каждой из позиций I и II мультистатических антенн. Кроме того, число данных, которые могут получаться, когда электромагнитно наведенное связывание исключается между каждой смежной парой передающих и приемных элементов, составляет в сумме только восемь пар данных, в том числе каждые четыре пары, полученные в каждой из позиций I и II. Даже в любой возможной компоновке антенных элементов, затруднительно реализовывать одну решетчатую антенную систему, которая удовлетворяет теореме дискретизации Найквиста.

[0056] Фиг. 2 является схемой, показывающей пример S-решетчатой мультистатической антенны согласно настоящему варианту осуществления. S-решетчатая мультистатическая антенна может называться просто "S-решеткой". В этом примере, S-решетчатая мультистатическая решетчатая антенна включает в себя два ряда решетчатых антенн, включающих в себя передающую решетчатую антенну TA и приемную решетчатую антенну RA. S-решетчатая мультистатическая решетчатая антенна допускает получение 36 пар данных во время передачи и приема.

[0057] Тем не менее, к настоящему моменту на практике отсутствуют технологии анализа на основе обратного рассеяния для получения корректного видео целевого объекта из вышеуказанных данных. Конструирование теории для надлежащего объединения фаз на основе расстояния между передающими и приемными решетчатыми антеннами является чрезвычайно сложной задачей.

[0058] Теория S-решетчатого поля рассеяния согласно настоящему раскрытию сущности разрешает эту сложность и реализует виртуальную S-решетку высокой плотности, которая удовлетворяет критерию дискретизации Найквиста, как показано в нижней секции на фиг. 2. Таким образом, согласно теории S-решетчатого поля рассеяния, два ряда решетчатых антенн, включающих в себя передающую решетчатую антенну TA и приемную решетчатую антенну RA, теоретически преобразуются в один ряд передающих и приемных решетчатых антенн. Соответственно, разрешение в  $\lambda/4$  достигается в направлении по оси  $Y$ . Кроме того, произвольное разрешение достигается в направлении по оси  $X$  посредством сканирования в направлении по оси  $X$ .

[0059] Теория S-решетчатого поля рассеяния согласно настоящему раскрытию сущности решительно отличается в следующем аспекте от существующих теорий поля рассеяния, связанных с двумерными решетчатыми антеннами.

[0060] Согласно существующему способу, двумерная решетчатая антенна

сканируется в направлении по оси  $X$ , чтобы удовлетворять условиям дискретизации. В этом случае, размерность кратного интеграла в алгоритме обратного анализа для рассеяния составляет на одну размерность выше размерности кратного интеграла в  $S$ -решетке. Таким образом, требуемое время анализа становится  $n$  раз или более, где  $n$  является числом выборок в направлении по оси  $X$  и составляет в диапазоне, например, 128-256. Следовательно, затруднительно вводить существующие способы анализа поля рассеяния, связанные с двумерными решетчатыми антеннами, в практическое применение через возможности существующих модулей вычисления.

[0061] Например, согласно существующему способу, связанному с двумя размерностями, сигнал передается из произвольного элемента в двумерной планарной сеточной решетчатой антенне и принимается посредством другого произвольного элемента в двумерной решетчатой антенне. Соответственно, получаются  $n^4$  наборов данных, где  $n$  является числом элементов на одной стороне тетрагональной решетчатой сетки. Каждый набор данных представляет собой данные временных рядов с полосой пропускания в 10 ГГц или выше. Алгоритм использования таких двумерных мультистатических данных для того, чтобы переконфигурировать видео целевого объекта, уже оправдан посредством теории воссоздания.

[0062] Тем не менее, как описано выше, формирование изображений с использованием двумерной решетчатой антенны не всегда является реалистичным вследствие сложности устройств и трудности при достижении допустимого разрешения. Также возникают сложности с точки зрения разрешения при условии, что сканирование не выполняется в направлении по оси  $X$ . Напротив, теория  $S$ -решетчатого поля рассеяния значительно детализируется, как описано ниже, и является чрезвычайно высокорезализуемой, поскольку алгоритм обратного анализа для рассеяния также получается посредством небольшой модификации существующего одномерного алгоритма.

[0063] Фиг. 3 является схемой, показывающей пример координат в  $S$ -решетке согласно настоящему варианту осуществления.  $S$ -решетка представляет собой полудвумерную решетчатую антенну, сконфигурированную посредством двух линейных решетчатых антенн, включающих в себя однорядную передающую решетчатую антенну  $TA$  и однорядную приемную решетчатую антенну  $RA$ , как показано на фиг. 3.

[0064] В частности, передающая решетчатая антенна  $TA$  включает в себя  $n$  передающих антенных элементов  $T$ . Приемная решетчатая антенна  $RA$  включает в себя  $n$  приемных антенных элементов  $R$ . Координата  $X$  передающей решетчатой антенны  $TA$  выражается как  $x_1$ , координата  $X$  приемной решетчатой антенны  $RA$  выражается как  $x_2$ , и расстояние в направлении по оси  $X$  между передающей решетчатой антенной  $TA$  и приемной решетчатой антенной  $RA$  выражается как  $d$ . Эта конфигурация допускает получение  $n^2$  наборов данных временных рядов, причем каждый из них представляет собой произвольную комбинацию  $n$  передающих элементов и  $n$  приемных элементов в каждой точке  $x$  в направлении сканирования.

[0065] Фиг. 4 является наружным чертежом S-решетки согласно настоящему варианту осуществления. Передающая решетчатая антенна ТА, которая включает в себя передающие антенные элементы Т, и приемная решетчатая антенна РА, которая включает в себя приемные антенные элементы R, сконфигурированы на большом расстоянии друг от друга. Таким образом, передающие антенные элементы Т и приемные антенные элементы R размещаются в двух полуразмерностях.

[0066] Если теория воссоздания для существующих двумерных решетчатых антенн применяется к этой компоновке полудвумерных решетчатых антенн, значительное количество времени требуется, поскольку размерность становится на одну размерностью выше. Таким образом, коммерциализация по-прежнему является трудной. Предусматривается способ вычисления с превосходной эффективностью, такой как воссоздание с использованием аналитического решения в случае линейной решетчатой антенны, в которой множество передающих антенных элементов Т и множество приемных антенных элементов R размещаются в одном ряду. Такой высокоэффективный способ вычислений является эффективным для коммерциализации полудвумерной решетчатой антенны.

[0067] Неожиданно, авторы изобретения настоящего раскрытия сущности только недавно выявили аналитическое решение для воссоздания в случае полудвумерной решетки. Таким образом, выявлен способ, выступающий в качестве моста между теорией для одномерных решеток и теорией для двумерных решеток, и воссоздающее уравнение, используемое в случае полудвумерных решеток, получено аналитически. Эта теория (теория S-решетчатого поля рассеяния) обеспечивает конструирование практической теории обратного рассеяния в случае линейной антенны, которая включает в себя пространственно разделенные передающие и приемные решетчатые антенны ТА и РА. В дальнейшем в этом документе подробно описывается контент этой теории и применение теории.

[0068] *II. Подготовка из существующей теории*

*II-1. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к одномерной решетке около границы плоскости*

Способ, используемый для того, чтобы формировать изображение целевого объекта посредством устройства формирования изображений с использованием одномерной решетчатой антенны, является чрезвычайно простым и служит просто для того, чтобы решать волновое уравнение, заданное посредством нижеприведенного выражения (2-1-1).

[0069] Математическое выражение 35

$$\begin{aligned} (\Delta + k^2)\varphi &= 0 \\ \Delta &= \partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2 \\ &\dots (2-1-1) \end{aligned}$$

[0070] Здесь:

Математическое выражение 36

$\varphi$

представляет неизвестную функцию,  $k$  представляет волновое число,  $\Delta$  представляет оператор Лапласа, и  $\partial$  представляет частный дифференциал каждой переменной с суффиксом.

[0071] Этот способ называется "моностатическим". Согласно этому способу, парные элементы, каждый из которых получается посредством интегрирования передающего элемента и приемного элемента, размещаются вдоль оси  $Y$ . Если имеются  $n$  парных элементов для передачи и приема, могут получаться  $n$  наборов данных. Тем не менее, точность, полученная посредством этого способа, по существу, в два раза больше размера каждого антенного элемента для передачи и приема. Следовательно, затруднительно получать изображение высокого разрешения.

[0072] Фиг. 5 является концептуальной схемой, показывающей одномерную мультистатическую решетчатую антенну. В случае если произвольные два элемента выбираются в качестве передающего элемента и приемного элемента из числа  $n$  элементов, как показано на фиг. 5, пространственное разрешение становится двукратным. Кроме того, одиночные игры могут приниматься с высоким отношением "сигнал-шум" в диапазоне расстояний от небольшого расстояния до большого расстояния. Это значительно повышает качество окончательного изображения. Исходя из того, что, как и следовало ожидать, объем данных увеличивается до  $n$  раз, время, требуемое для воссоздания, также сокращается резко согласно теории, описанной ниже.

[0073] Здесь, анализируется ситуация, в которой радиоволна, излучаемая из точки  $P_1(x, y_1, z)$ , отражается в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и принимается в точке  $P_2(x, y_2, z)$ , как показано на фиг. 5. В случае если точка  $P$  предположительно перемещается в полной зоне  $D$ , сигнал, принимаемый в точке  $P_2$ , представляется посредством нижеприведенного выражения (2-1-2).

[0074] Математическое выражение 37

$$\varphi(x, y_1, y_2, z) = \iint_D \frac{e^{jk\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{jk\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\dots (2-1-2)$$

[0075] Здесь,  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  представляет функцию диэлектрической постоянной в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и соответствует отражательной способности в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$ . Точка  $P(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует точке отражения. Следует отметить, что  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  является неизвестным. Также предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Функция ядра в члене подынтегрального выражения вышеприведенного уравнения представляется как  $\phi$  в нижеприведенном выражении (2-1-3).

[0076] Математическое выражение 38

$$\phi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2}$$

• • • (2-1-3)

[0077] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-1-3) в качестве асимптотического решения. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/\rho$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается посредством выражения (2-1-4).

[0078] Математическое выражение 39

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \partial_x, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z} \rightarrow \partial_z$$

• • • (2-1-4)

[0079] Здесь, анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-1-3) в качестве асимптотического решения при небольших длинах волны (на высокой частоте или когда  $k$  является большим). Это решение дифференциального уравнения в частных производных может рассматриваться в качестве почти точного решения при формировании изображений с использованием микроволн. Во-первых, результат дифференцирования каждого порядка  $\phi$  представляется посредством нижеприведенного выражения (2-1-5).

[0080] Математическое выражение 40

$$\begin{aligned} \partial_x \phi &= ik(x-\xi) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \phi + o(\rho^{-3}) & \partial_{y_1} \phi &= ik \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_{y_2} \phi &= ik \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \phi + o(\rho^{-3}) & \partial_z \phi &= ik(z-\zeta) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_x \partial_x \phi &= (ik)^2 (x-\xi)^2 \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_z \partial_z \phi &= (ik)^2 (z-\zeta)^2 \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_{y_1} \partial_{y_1} \phi &= (ik)^2 \left( \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_{y_2} \partial_{y_2} \phi &= (ik)^2 \left( \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \end{aligned}$$

• • • (2-1-5)

[0081] В дальнейшем в этом документе, сложный член  $o(*)$  опускается. В соответствии с суммой четырех дифференциальных уравнений второго порядка, получается нижеприведенное выражение (2-1-6).

[0082] Математическое выражение 41



$$\begin{aligned}\Delta_4\phi &= (\partial_x^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2)\phi \\ &= (ik)^2 \left\{ 2 + 2 \frac{(x-\xi)^2 + (z-\zeta)^2}{\rho_1\rho_2} \right\} \phi \\ &\dots (2-1-6)\end{aligned}$$

[0083] Соответственно, нижеприведенное выражение (2-1-7) получается из выражения (2-1-6).

[0084] Математическое выражение 42

$$\begin{aligned}\{\Delta_4 - 2(ik)^2\}\phi &= 2(ik)^2 \frac{\rho_1^2 - (y_1 - \eta)^2}{\rho_1\rho_2} \phi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_2^2 - (y_2 - \eta)^2}{\rho_1\rho_2} \phi \\ &\dots (2-1-7)\end{aligned}$$

[0085] Посредством действия оператора в правой стороне выражения (2-1-7) два раза, получается нижеприведенное выражение (2-1-8).

[0086] Математическое выражение 43

$$\begin{aligned}\{\Delta_4 - 2(ik)^2\}^2\phi &= 4(ik)^4 \frac{\{\rho_1^2 - (y_1 - \eta)^2\}\{\rho_2^2 - (y_2 - \eta)^2\}}{\rho_1^2\rho_2^2} \phi \\ &= 4(ik)^4 \{1 - (ik)^{-2}\partial_{y_1}^2\}\{1 - (ik)^{-2}\partial_{y_2}^2\}\phi \\ &\dots (2-1-8)\end{aligned}$$

[0087] Выражение (2-1-8) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (2-1-9).

[0088] Математическое выражение 44

$$\begin{aligned}\left[\frac{1}{4}\{\Delta_4 - 2(ik)^2\}^2 - \partial_{y_1}^2\partial_{y_2}^2 + (ik)^2(\partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2) - (ik)^4\right]\phi &= 0 \\ &\dots (2-1-9)\end{aligned}$$

[0089] Хотя выражение (2-1-9) извлекается при условии установившегося состояния, нетрудно расширять выражение (2-1-9) на неустановившееся состояние. Таким образом, переменные подставляются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-10), с использованием частного дифференциала  $\partial_t$  относительно времени  $t$  и с использованием скорости  $c$  распространения радиоволн.

[0090] Математическое выражение 45

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c}\partial_t$$

$$\dots (2-1-10)$$

[0091] Через процесс, описанный выше, в конечном счете получается уравнение, представленное посредством нижеприведенного выражения (2-1-11).

[0092] Математическое выражение 46

$$\{\Delta_4^2 - \frac{4}{c^2}(\partial_t^2 \partial_x^2 + \partial_t^2 \partial_z^2) - 4\partial_{y_1}^2 \partial_{y_2}^2\} \phi = 0$$

$$\Delta_4 = \partial_x^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

$$\dots (2-1-11)$$

[0093] Выражение (2-1-11), описанное выше, представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет  $\phi$  в выражении (2-1-3) в качестве решения. Посредством применения дифференцирования к ядру выражения (2-1-2),

Математическое выражение 47

$\phi$

из выражения (2-1-2) также удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных, описанному выше. Это уравнение представляет собой четырехмерное псевдволновое уравнение, сконфигурированное посредством пяти переменных  $(t, x, y_1, y_2, z)$ .

[0094] Затем, это уравнение решается посредством преобразования Фурье. Сначала,

Математическое выражение 48

$\phi$

подвергается преобразованию Фурье с мультиплексированием относительно  $t, x, y_1, y_2$ , как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-12).

[0095] Математическое выражение 49

$$\tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \phi(x, y_1, y_2, z, t) dx dy_1 dy_2$$

$$\dots (2-1-12)$$

[0096] Когда дифференцирование относительно  $z$  выражается как  $D_z$ , нижеприведенное выражение (2-1-13) получается из выражений (2-1-11) и (2-1-12).

[0097] Математическое выражение 50

$$\{(D_z^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 + 4k^2(D_z^2 - k_x^2) - 4k_{y_1}^2 k_{y_2}^2\} \tilde{\phi} = 0$$

$$\dots (2-1-13)$$

[0098] Здесь, используется взаимосвязь  $\omega = ck$ . Четыре базовых решения этого уравнения выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-14).

[0099] Математическое выражение 51

$$E_1 = e^{i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$E_2 = e^{-i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$E_3 = e^{i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$E_4 = e^{-i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$\dots (2-1-14)$$

[0100] С учетом таких фактов, что временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , фаза

прибавляется с использованием тракта излучаемых радиоволн, и радиоволны, отражаемые от объекта, отскакивают к измеряемой поверхности (измеряемой плоскости),  $E_1$  представляет собой уникальное значимое решение. Следовательно, получается нижеприведенное выражение (2-1-15).

[0101] Математическое выражение 52

$$\tilde{\varphi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z, k) = a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2) + \sqrt{(k^2 - k_{y_2}^2)^2 - k_x^2}}\}z}$$

• • • (2 - 1 - 1 5)

[0102] Посредством подстановки  $z=0$  в выражение (2-1-15),  $(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-16).

[0103] Математическое выражение 53

$$a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \tilde{\varphi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, 0, k)$$

• • • (2 - 1 - 1 6)

[0104] В конечном счете,

Математическое выражение 54

$\varphi$

получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-17).

[0105] Математическое выражение 55

$$\varphi(x, y_1, y_2, z, k) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \cdot e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2) + \sqrt{(k^2 - k_{y_2}^2)^2 - k_x^2}}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 1 - 1 7)

[0106] Посредством применения операции ограничения ( $y_2 \rightarrow y_1 = y$ ) к выражению (2-1-17) при условии, что  $k$  и  $z$  являются фиксированными, и интегрирования результата относительно  $k$ , функция формирования изображений получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-18).

[0107] Математическое выражение 56

$$\phi(x, y, y, z, k) = \lim_{y_2 \rightarrow y_1 = y} [\phi(x, y, y_2, z, k)]$$

$$= \lim_{y_2 \rightarrow y_1 = y} \left[ \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \cdot e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2) + \sqrt{(k^2 - k_{y_2}^2)^2 - k_x^2}}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \right]$$

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \phi(x, y, y, z, k) dk$$

• • • (2 - 1 - 1 8)

[0108] Как описано выше, появляется возможность аналитически разрешать проблему мультистатического обратного рассеяния с одномерной решеткой. Тем не менее, имеется такое существенное ограничение, что передающие элементы и приемные элементы

размещаться в одномерной решетке. Кроме того, возникают аппаратные сложности, такие как требование для предоставления зазора, чтобы не допускать индуктивного связывания между передающими элементами и приемными элементами и неспособности коммутировать роль передачи и приема, когда используется активное симметрирующее устройство. Кроме того, также возникает такая сложность, что время, требуемое для того, чтобы получать данные, становится большим вследствие трудности в параллелизации измерений.

[0109] II-2. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к обратному рассеянию и одномерной решетке около искривленной границы

Далее описывается теория обратного рассеяния для случая, в котором зона имеет искривленную граничную поверхность.

[0110] Фиг. 6 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема. Фиг. 6 показывает ситуацию, в которой волна, излучаемая из точки  $r_1$ , отражается в точке  $\xi(\xi_1, \xi_2, \dots)$  и возвращается в точку  $r_2$ .

[0111] Например, точка  $r_1$  передачи и точка  $r_2$  приема волны свободно и независимо перемещаются в  $x$ -секции  $D$  при удовлетворении определенному ограничению при условии, что угловая частота  $\omega (=2\pi f)$  является постоянной. Если данные, полученные в это время, выражаются как функция  $G(r_1, r_2, \omega)$ , функция  $G(r_1, r_2, \omega)$ , как предполагается, связана с распределением точек отражения в зоне.

[0112] Здесь,  $G(r_1, r_2, \omega)$  представляет собой сумму отраженных сигналов из всех точек  $\xi$ . Поскольку имеется большое число точек отражения в зоне,  $G(r_1, r_2, \omega)$  может представляться посредством нижеприведенного выражения (2-2-1).

[0113] Математическое выражение 57

$$G(r_1, r_2, \omega) = \iiint_D \varphi(r_1 \rightarrow \xi \rightarrow r_2, \omega) d\xi$$

• • • (2 - 2 - 1)

[0114] Здесь:

Математическое выражение 58

$$\varphi(r_1 \rightarrow \xi \rightarrow r_2, \omega)$$

представляет интенсивность сигнала волны, которая поступает из точки  $r_1$  и возвращается в точку  $r_2$  посредством отражения в точке  $\xi$ .

[0115] Ограничение, налагаемое на точку  $r_1$  передачи и точку  $r_2$  приема волны, состоит в том, что точки  $r_1$  и  $r_2$  всегда имеют идентичную координату  $X$ .

[0116] В дальнейшем в этом документе описывается теоретическая структура проблемы обратного рассеяния с использованием функции  $G(r_1, r_2, \omega)$ . Здесь, частичная зона в трехмерном пространстве выражается как  $D$ , и граница частичной зоны выражается как  $\partial D$ . В этом случае, функция  $G(r_1, r_2, \omega)$  становится решением в зоне  $D$  для дифференциального уравнения, заданного посредством нижеприведенного выражения (2-2-2).

[0117] Математическое выражение 59

$$L\left(\frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}_1}, \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}_2}\right) \bar{G}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, t) = 0$$

• • • (2 - 2 - 2)

[0118] Здесь:

Математическое выражение 60

$$\bar{G}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, t)$$

представляет функцию, полученную посредством преобразования Фурье функции  $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$  относительно  $\omega$ . Значение  $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$  на границе  $\partial D$  является значением, измеренным посредством приемных элементов. Вышеприведенное уравнение решается при этом граничном условии. Из этого результата,  $\rho(\mathbf{r})$  задается так, как представлено посредством нижеприведенного выражения (2-2-3).

[0119] Математическое выражение 61

$$\rho(\mathbf{r}) = \lim_{t \rightarrow 0} \left[ \text{Tr} \left[ \bar{G}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, t) \right] \right] = \bar{G}(\mathbf{r}, \mathbf{r}, 0)$$

• • • (2 - 2 - 3)

[0120] Здесь,  $\text{Tr}$  представляет трассировочную операцию. Эта  $\rho(\mathbf{r})$  представляет собой функцию, связанную с градиентом диэлектрической постоянной, которая должна получаться в зоне  $D$ . В действительности, затруднительно получить дифференциальный оператор  $L(\partial/\partial t, \partial/\partial \mathbf{r}_1, \partial/\partial \mathbf{r}_2)$  возникающий здесь.

[0121] В дальнейшем в этом документе описывается способ для получения этого дифференциального оператора. На произвольной кривой,  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$  не всегда имеют идентичные координаты  $Y$  и  $Z$ . В частности,  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$ , соответственно, выражаются следующим образом:  $\mathbf{r}_1 = (x, y_1, z_1)$  и  $\mathbf{r}_2 = (x, y_2, z_2)$ . Затем функция  $G$  задается следующим образом.

[0122] Математическое выражение 62

$$G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega) = \iiint_D \varphi(\mathbf{r}_1 \rightarrow \xi \rightarrow \mathbf{r}_2, \omega) d\xi$$

• • • (2 - 2 - 4)

[0123] Далее анализируется уравнение, удовлетворяющееся посредством функции  $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$ . Здесь,  $\omega = ck$ . Кроме того,  $c$  представляет скорость распространения, и  $k$  представляет волновое число. Когда  $\lambda$  представляет длину волны, взаимосвязь  $k = 2\pi/\lambda$  является справедливой.

[0124] Фиг. 7 является концептуальной схемой, показывающей координаты точки передачи и точки приема. На фиг. 7, точка передачи расположена в  $P_1(x, y_1, z_1)$ , и точка приема расположена в  $P_2(x, y_2, z_2)$ . Волна, излучаемая из точки  $P_1$  передачи, отражается в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и достигает точки  $P_2$  приема.

[0125] Например,  $z_1$  и  $z_2$  являются произвольными. Точки измерений, которые соответствуют точке  $P_1$  передачи и точке  $P_2$  приема, переходят к профильной кривой  $S$ . Профильная кривая  $S$  может выражаться посредством  $z=f(y)$ . Таким образом,  $z_1=f(y_1)$  и  $z_2=f(y_2)$  являются справедливыми. Расстояние между  $P_1$  и  $P$  выражается как  $\rho_1$ , и расстояние

между  $P_2$  и  $P$  выражается как  $\rho_2$ .

[0126] В вышеописанном случае, функция  $\phi$ , заданная посредством нижеприведенного выражения (2-2-5), вводится в качестве функции распределения поля рассеяния.

[0127] Математическое выражение 63

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_1-\eta)^2 + (z_1-\zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_2-\eta)^2 + (z_2-\zeta)^2}$$

$$\dots (2-2-5)$$

[0128] Здесь,  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  представляет функцию диэлектрической постоянной в точке  $(\xi, \eta, \zeta)$  и соответствует отражательной способности в точке  $(\xi, \eta, \zeta)$ . Точка  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует точке отражения. Следует отметить, что  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  является неизвестным. Кроме того,  $k$  представляет волновое число. Предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Функция в члене подынтегрального выражения для выражения (2-2-5), описанного выше, соответствует:

Математическое выражение 64

$\varphi$

в выражении (2-2-1). Таким образом, нижеприведенное выражение (2-2-6) является справедливым.

[0129] Математическое выражение 65

$$\varphi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$$

$$\dots (2-2-6)$$

[0130] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-2-6) в качестве асимптотического решения на высокой частоте. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/\rho$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается как нижеприведенное выражение (2-2-7).

[0131] Математическое выражение 66

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \partial_x, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z_1} \rightarrow \partial_{z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2} \rightarrow \partial_{z_2}$$

$$\dots (2-2-7)$$

[0132] В качестве результата вычисления, тот факт, что  $\phi$  удовлетворяет нижеприведенному выражению (2-2-8), извлекается.

[0133] Математическое выражение 67

$$\left[ \frac{1}{4} \Delta_5^2 - (ik)^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2)(\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0$$

• • • (2-2-8)

[0134] Хотя выражение (2-2-8) извлекается при условии установившегося состояния, нетрудно расширять выражение (2-2-8) на неустановившееся состояние. Таким образом, переменные подставляются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-9).

[0135] Математическое выражение 68

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c} \partial_t$$

• • • (2-2-9)

[0136] В конечном счете, получается нижеприведенное выражение (2-2-10).

[0137] Математическое выражение 69

$$\left[ \frac{1}{4} \Delta_5^2 - \frac{1}{c^2} \partial_t^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2)(\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0$$

• • • (2-2-10)

[0138] Затем, решение выражения (2-2-10) анализируется при условии, что временной коэффициент  $\phi$  является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Во-первых, нижеприведенное выражение (2-2-11) получается посредством преобразования Фурье с мультиплексированием  $\phi$  относительно  $t$ ,  $x$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0139] Математическое выражение 70

$$\begin{aligned} & \tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega) \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1} y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2} y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, t) dx \end{aligned}$$

• • • (2-2-11)

[0140] Посредством выражения частных дифференциалов относительно  $z_1$  и  $z_2$  в качестве  $D_{z_1}$  и  $D_{z_2}$ , соответственно, получается нижеприведенное выражение (2-2-12).

[0141] Математическое выражение 71

$$\{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 - 4k_x^2 k_x^2 - 4(D_{z_1}^2 - k_{y_1}^2)(D_{z_2}^2 - k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0$$

• • • (2-2-12)

[0142] Далее анализируется решение уравнения, заданного посредством выражения (2-2-12). Тем не менее, имеются две переменные  $z_1$  и  $z_2$ . Таким образом, затруднительно решать уравнение, заданное посредством выражения (2-2-12), если граничные условия не предоставляются для зоны с одномерной степенью свободы в пространстве  $(z_1, z_2)$  относительно фиксированной точки  $(x, y_1, y_2)$  или  $(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$ . Тем не менее, граничные условия, полученные посредством радарного измерения, просто предоставляются в одной точке  $(f(y_1), f(y_2))$  в пространстве  $(z_1, z_2)$ .

[0143] Чтобы разрешать эту проблему, используется согласованность между теорией, используемой в случае, если  $z_1=z$  и  $z_2=z$ , и теорией, описанной в этой главе. Таким образом, решение, извлекаемое из теории, описанной в этой главе, в котором  $z_1$  и  $z_2$  являются независимыми, включает в себя решение, извлекаемое в частном случае, где  $z_1=z$  и  $z_2=z$ . С учетом этого, во-первых, решение выражения (2-2-12) предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-13).

[0144] Математическое выражение 72

$$E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(is_2 z_2) \\ \dots (2-2-13)$$

[0145] Когда  $z_1=z_2=z$ , получается нижеприведенное выражение (2-2-14).

[0146] Математическое выражение 73

$$E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp\{j(s_1 + s_2)z\} \\ \dots (2-2-14)$$

[0147] Посредством подстановки выражения (2-2-14) в выражение (2-2-12), получается нижеприведенное выражение (2-2-15).

[0148] Математическое выражение 74

$$(s_1^2 + s_2^2 + k_x^2 + k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)^2 - 4k_x^2 k_{y_1}^2 - 4(s_1^2 + k_{y_1}^2)(s_2^2 + k_{y_2}^2) = 0 \\ \dots (2-2-15)$$

[0149] Дополнительно используется другое уравнение. В частности, нижеприведенное выражение (ниже 2-2-16) получается из выражения (2-1-15) в предыдущей главе в соответствии с согласованностью, описанной выше.

[0150] Математическое выражение 75

$$s_1 + s_2 = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\ \dots (2-2-16)$$

[0151] Из выражений (2-2-15) и (2-2-16),  $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  и  $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  определяются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-17).

[0152] Математическое выражение 76

$$s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ \dots (2-2-17)$$

[0153] С использованием  $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$  и  $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ , описанных выше, решение уравнения, заданного посредством выражения (2-2-10), извлекается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-18).

[0154] Математическое выражение 77



$$\begin{aligned} & \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) \\ & \quad \cdot e^{i\delta_1(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) z_1} e^{i\delta_2(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) z_2} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (2-2-18) \end{aligned}$$

[0155] II-3. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к прямому рассеянию и одномерной решетке около границы плоскости

Фиг. 8 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема во время прямого рассеяния. Прямое рассеяние отличается от обратного рассеяния (II-2) в том, что координаты Z всех рассеянных точек включаются между координатами Z точки  $\Gamma_1$  передачи и точки  $\Gamma_2$  приема. Данные рассеяния измеряются в качестве результата свободного перемещения точек  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  по  $\partial D_1$  и  $\partial D_2$ , соответственно, при таком ограничении, что  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  должны быть расположены в идентичной координате X. Функция распределения поля рассеяния согласно этой системе задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-1).

[0156] Математическое выражение 78

$$\begin{aligned} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega) &= \iint_D \frac{e^{ik_A} e^{-ik\rho_2}}{\rho_1 \rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta \\ \rho_1 &= \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_1-\eta)^2 + (z_1-\zeta)^2} \\ \rho_2 &= \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_2-\eta)^2 + (z_2-\zeta)^2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (2-3-1) \end{aligned}$$

[0157] Это выражение отличается от выражения (2-2-5), используемого в примере обратного рассеяния, тем, что фазовый коэффициент  $\exp(-ik\rho_2)/\rho_2$  под знаком интеграла является отрицательным. Тем не менее, функция распределения поля рассеяния удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных, заданному посредством нижеприведенного выражения (2-3-2), которое является идентичным выражению (2-2-10), используемому в примере обратного рассеяния.

[0158] Математическое выражение 79

$$\begin{aligned} \left[ \frac{1}{4} \Delta_3^2 - \frac{1}{c^2} \partial_t^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2) (\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0 \\ \cdot \cdot \cdot (2-3-2) \end{aligned}$$

[0159] Затем, решение выражения (2-3-2) анализируется при условии, что временной коэффициент  $\phi$  является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Во-первых, следующее выражение получается посредством преобразования Фурье с мультиплексированием  $\phi$  относительно  $t$ ,  $x$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0160] Математическое выражение 80

$$\begin{aligned} & \tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1}y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2}y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, t) dx \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-3) \end{aligned}$$

[0161] Посредством выражения частных дифференциалов относительно  $z_1$  и  $z_2$  в качестве  $D_{z_1}$  и  $D_{z_2}$ , соответственно, получается нижеприведенное выражение (2-3-4).

[0162] Математическое выражение 81

$$\begin{aligned} & \{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 - 4k^2 k_x^2 - 4(D_{z_1}^2 - k_{y_1}^2)(D_{z_2}^2 - k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0 \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-4) \end{aligned}$$

[0163] Далее анализируется решение уравнения, заданного посредством выражения (2-3-4). Тем не менее, имеются две переменные  $z_1$  и  $z_2$ . Чтобы разрешать эту проблему, используется согласованность между теорией, используемой в случае, если  $z_1=z$  и  $z_2=z$ , и теорией, описанной в этой главе. Таким образом, решение, извлекаемое из теории, описанной в этой главе, в котором  $z_1$  и  $z_2$  являются независимыми, включает в себя решение, извлекаемое в частном случае, где  $z_1=z$  и  $z_2=z$ . С учетом этого, во-первых, решение выражения (2-3-4) предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-5).

[0164] Математическое выражение 82

$$\begin{aligned} & E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(-is_2 z_2) \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-5) \end{aligned}$$

[0165] Нижеприведенное выражение (2-3-6) получается из выражения (2-3-4).

[0166] Математическое выражение 83

$$\begin{aligned} & (s_1^2 + s_2^2 + k_x^2 + k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)^2 - 4k^2 k_x^2 - 4(s_1^2 + k_{y_1}^2)(s_2^2 + k_{y_2}^2) = 0 \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-6) \end{aligned}$$

[0167] Когда  $z_1=z_2=z$ , выражение (2-3-5) выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-7).

[0168] Математическое выражение 84

$$\begin{aligned} & E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp\{i(s_1 - s_2)z\} \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-7) \end{aligned}$$

[0169] Затем нижеприведенное выражение (2-3-8) получается идентично выражению (2-2-16).

[0170] Математическое выражение 85

$$\begin{aligned} & s_1 - s_2 = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-8) \end{aligned}$$

[0171] Из выражений (2-3-6) и (2-3-8),  $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  и  $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  определяются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-9).

[0172] Математическое выражение 86

$$s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (2 - 3 - 9)

[0173] Соответственно, функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-10).

[0174] Математическое выражение 87

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$\cdot e^{is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_1} e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_2} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 3 - 1 0)

[0175] Затем, координата  $Z \partial D_1$  задается как  $z=0$ , и координата  $Z \partial D_2$  задается как  $z=h$ . Когда данные рассеяния, измеренные из граничной поверхности, выражаются как  $\Phi(x, y_1, y_2, k)$ , нижеприведенное выражение (2-3-11) является справедливым.

[0176] Математическое выражение 88

$$\Phi(x, y_1, y_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 - k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$\cdot e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)h} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 3 - 1 1)

[0177] Затем нижеприведенное выражение (2-3-12) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (2-3-11) относительно  $(x, y_1, y_2)$ .

[0178] Математическое выражение 89

$$\iiint e^{ik'_x x + ik'_{y_1} y_1 + ik'_{y_2} y_2} \Phi(x, y_1, y_2, k) dx dy_1 dy_2$$

$$= \iiint e^{ik'_x x + ik'_{y_1} y_1 + ik'_{y_2} y_2}$$

$$\cdot \left\{ \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)h} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \right\}$$

$$\cdot dx dy_1 dy_2$$

$$= a(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k) e^{-is_2(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k)h}$$

• • • (2 - 3 - 1 2)

[0179] Из выражения (2-3-12), описанного выше, функция  $a$  получается так, как

задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-13).

[0180] Математическое выражение 90

$$\alpha(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = e^{is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)h} \Phi(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ \cdot \cdot \cdot (2-3-13)$$

[0181] Посредством подстановки выражения (2-3-13), описанного выше, в выражение (2-3-10), функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-14).

[0182] Математическое выражение 91

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \Phi(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ \cdot e^{is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_1} e^{is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)(h-z_2)} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \cdot \cdot \cdot (2-3-14)$$

[0183] II-4. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к двумерной решетке около границы плоскости

Во-первых, в дальнейшем описывается теория для случая существующей двумерной решетки.

[0184] Фиг. 9 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на плоскости. Как показано на фиг. 9, микроволны, излучаемые из точки  $P_1$ , отражаются в точке  $P$  на цели и принимаются в точке  $P_2$ . Точки  $P_1$  и  $P_2$  перемещаются в произвольные точки на шкале сортировки (двухмерной антенной решетке) на плоскости. В соответствии с этим допущением, имеются  $n^4$  различных микроволновых трактов, проходящих через точку  $P$  на цели. Это большое число трактов вносит существенную долю в повышение качества окончательного изображения. Ниже описывается способ для обработки таких комплексных данных, с тем чтобы получить изображение.

[0185] Например, как показано на фиг. 9, радиоволна, излучаемая из точки  $P_1(x_1, y_1, z)$ , отражается в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и принимается в точке  $P_2(x_2, y_2, z)$ . Когда точка  $P$  предположительно перемещается в полной зоне  $D$ , сигнал, принимаемый в  $P_2$ , выражается посредством следующего выражения.

[0186] Математическое выражение 92

$$\phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{ik_1 \rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik_2 \rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta \\ \rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2} \\ \rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2} \\ \cdot \cdot \cdot (2-4-1)$$

[0187] Здесь предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Функция ядра в члене подынтегрального выражения для

вышеприведенного выражения выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-2).

[0188] Математическое выражение 93

$$\varphi = \frac{e^{ik\rho_1} e^{ik\rho_2}}{\rho_1 \rho_2}$$

• • • (2 - 4 - 2)

[0189] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-4-2) в качестве асимптотического решения при небольших длинах волны. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/\rho$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается посредством выражения (2-4-3).

[0190] Математическое выражение 94

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x_1} \rightarrow \partial_{x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2} \rightarrow \partial_{x_2}, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z} \rightarrow \partial_z$$

• • • (2 - 4 - 3)

[0191] С использованием выражения (2-4-3), дифференцирование каждого порядка функции ядра выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-4).

[0192] Математическое выражение 95

$$\partial_{x_1} \varphi = ik \frac{x_1 - \xi}{\rho_1} \varphi + o(\rho^{-3}) \quad \partial_{x_2} \varphi = ik \frac{x_2 - \xi}{\rho_2} \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_1} \varphi = ik \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \varphi + o(\rho^{-3}) \quad \partial_{y_2} \varphi = ik \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_z \varphi = ik(z - \zeta) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{x_1} \partial_{x_1} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{x_1 - \xi}{\rho_1} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_1} \partial_{y_1} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{x_2} \partial_{x_2} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{x_2 - \xi}{\rho_2} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_2} \partial_{y_2} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_z \partial_z \varphi = (ik)^2 (z - \zeta)^2 \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

• • • (2 - 4 - 4)

[0193] В дальнейшем в этом документе, сложный член  $o(*)$  опускается. В

соответствии с суммой пяти дифференциальных уравнений второго порядка, получается нижеприведенное выражение (2-4-5).

[0194] Математическое выражение 96

$$\begin{aligned}\Delta_5\varphi &= (\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2)\varphi \\ &= (ik)^2 \left\{ 2 + 2 \frac{(z-\zeta)^2}{\rho_1\rho_2} \right\} \varphi\end{aligned}$$

• • • (2-4-5)

[0195] Соответственно, нижеприведенное выражение (2-4-6) получается из выражения (2-4-5).

[0196] Математическое выражение 97

$$\begin{aligned}\{\Delta_5 - 2(ik)^2\}\varphi &= 2(ik)^2 \frac{(z-\xi)^2}{\rho_1\rho_2} \varphi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_1^2 - (x_1-\xi)^2 - (y_1-\eta)^2}{\rho_1\rho_2} \varphi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_2^2 - (x_2-\xi)^2 - (y_2-\eta)^2}{\rho_1\rho_2} \varphi\end{aligned}$$

• • • (2-4-6)

[0197] Посредством действия оператора в правой стороне вышеописанного выражения два раза, получается нижеприведенное выражение (2-4-7).

[0198] Математическое выражение 98

$$\begin{aligned}\{\Delta_5 - 2(ik)^2\}^2\varphi &= 4(ik)^4 \frac{\{\rho_1^2 - (x_1-\xi)^2 - (y_1-\eta)^2\} \{\rho_2^2 - (x_2-\xi)^2 - (y_2-\eta)^2\}}{\rho_1^2\rho_2^2} \varphi \\ &= 4(ik)^4 \{1 - (ik)^{-2}\partial_{x_1}^2 - (ik)^{-2}\partial_{y_1}^2\} \{1 - (ik)^{-2}\partial_{x_2}^2 - (ik)^{-2}\partial_{y_2}^2\} \varphi\end{aligned}$$

• • • (2-4-7)

[0199] Выражение (2-4-7) обобщается для того, чтобы получать нижеприведенное выражение (2-4-8).

[0200] Математическое выражение 99

$$\begin{aligned}\left[ \frac{1}{4} \{\Delta_5 - 2(ik)^2\}^2 - (\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2) \right. \\ \left. + (ik)^2(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2) - (ik)^4 \right] \varphi = 0\end{aligned}$$

• • • (2-4-8)

[0201] Хотя выражение (2-4-8) извлекается при условии установившегося состояния, нетрудно расширять выражение (2-4-8) на неустановившееся состояние. Таким образом, переменные подставляются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-9).

[0202] Математическое выражение 100

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c} \partial_t$$

$$\dots (2-4-9)$$

[0203] Посредством этой подстановки, выражение (2-4-8) преобразуется в нижеприведенное выражение (2-4-10), которое включает в себя время.

[0204] Математическое выражение 101

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

$$\dots (2-4-10)$$

[0205] Выражение (2-4-10), описанное выше, представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет функцию ядра, заданную посредством выражения (2-4-2), в качестве решения, и  $\phi$  также удовлетворяет вышеописанному дифференциальному уравнению в частных производных посредством применения дифференцирования к ядру выражения (2-4-2). Это уравнение представляет собой пятимерное псевдволновое уравнение, сконфигурированное посредством шести переменных ( $t, x_1, y_1, x_2, y_2, z$ ).

[0206] Затем, это уравнение решается посредством преобразования Фурье. Во-первых,  $\phi$  подвергается преобразованию Фурье с мультиплексированием относительно  $t, x_1, y_1, x_2$  и  $y_2$ , как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-11).

[0207] Математическое выражение 102

$$\tilde{\phi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, z, \omega)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1)} e^{i(k_{x_2}x_2 + k_{y_2}y_2)} \phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, t) dx_1 dy_1 dx_2 dy_2$$

$$\dots (2-4-11)$$

[0208] Когда дифференциал относительно  $z$  выражается как  $D_z$ , нижеприведенное выражение (2-4-12) получается из выражений (2-4-10) и (2-4-11).

[0209] Математическое выражение 103

$$\{(D_z^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2)^2 + 4k^2 D_z^2 - 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0$$

$$\dots (2-4-12)$$

[0210] Здесь, используется взаимосвязь  $\omega = ck$ . Четыре базовых решения этого уравнения выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-13).

[0211] Математическое выражение 104

$$\begin{aligned}
 E_1 &= e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}+\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 E_2 &= e^{-i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}-\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 E_3 &= e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}-\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 E_4 &= e^{-i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}-\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z}
 \end{aligned}$$

• • • (2-4-13)

[0212] С учетом таких фактов, что временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , фаза прибавляется с использованием тракта излучаемых радиоволн, и радиоволны, отражаемые от объекта, отскакивают к измеряемой плоскости,  $E_1$  представляет собой уникальное значимое решение. Соответственно, получается нижеприведенное выражение (2-4-14).

[0213] Математическое выражение 105

$$\tilde{\phi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, z, k) = a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}+\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z}$$

• • • (2-4-14)

[0214] Посредством подстановки  $z=0$  в выражение (2-4-14),  $(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k)$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-15).

[0215] Математическое выражение 106

$$a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) = \tilde{\phi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, 0, k)$$

• • • (2-4-15)

[0216] Из вышеозначенного,  $\phi$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-16).

[0217] Математическое выражение 107

$$\begin{aligned}
 &\phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1}x_1+k_{y_1}y_1)} e^{i(k_{x_2}x_2+k_{y_2}y_2)} e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}+\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 &\quad \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2}
 \end{aligned}$$

• • • (2-4-16)

[0218] Затем, посредством применения операции ограничения ( $y_1 \rightarrow u$  и  $y_2 \rightarrow u$ ) к выражению (2-4-16) при условии, что  $k$  и  $z$  являются фиксированными, получается нижеприведенное выражение (2-4-17).

[0219] Математическое выражение 108



$$\begin{aligned}
\Phi(x, y, z, k) &= \phi(x, y, x, y, z, k) \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} [\phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k)] \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1)} e^{-i(k_{x_2} x_2 + k_{y_2} y_2)} e^{iz(\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2})} \right. \\
&\quad \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2} \left. \right] \\
&\dots (2-4-17)
\end{aligned}$$

[0220] Затем, выражение (2-4-17) интегрируется относительно  $k$ , чтобы получить нижеприведенное выражение (2-4-18) в качестве функции формирования изображений.

[0221] Математическое выражение 109

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \Phi(x, y, z, k) dk = \int_0^{\infty} \phi(x, y, x, y, z, k) dk \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \int_0^{\infty} \phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \right] \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \frac{1}{(2\pi)^4} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1)} e^{i(k_{x_2} x_2 + k_{y_2} y_2)} e^{iz(\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2})} \right. \\
&\quad \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2} \left. \right] \\
&\dots (2-4-18)
\end{aligned}$$

[0222] В выражении (2-4-18), интегрирование относительно  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$ ,  $k_{x_2}$  и  $k_{y_2}$  имеет форму преобразования Фурье и является подходящим для обработки, выполняемой посредством модуля вычисления. С другой стороны, член  $\exp(iz\dots)$  интегрирования не имеет форму преобразования Фурье. Таким образом, обычное интегрирование проводится относительно  $k$  при указании, например, значения  $z$ . Альтернативно, чтобы уменьшать время вычисления, выражение (2-4-18) может модифицироваться таким образом, чтобы выражать целое только посредством преобразования Фурье.

[0223] Например, коэффициент  $iz$  в члене  $\exp(iz\dots)$  выражения (2-4-17) выражается посредством нижеприведенного выражения (2-4-19) с использованием новой переменной  $u$ .

[0224] Математическое выражение 110

$$\begin{aligned}
u &= \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} \\
&\dots (2-4-19)
\end{aligned}$$

[0225] Посредством рационализации правой стороны выражения (2-4-19), получается нижеприведенное выражение (2-4-20).

[0226] Математическое выражение 111

$$\begin{aligned}
\frac{k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}{u} &= \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} \\
&\dots (2-4-20)
\end{aligned}$$

[0227] Посредством решения каждого квадратного корня из двух выражений, включающих в себя выражения (2-4-19) и (2-4-20), получается нижеприведенное

выражение (2-4-21).

[0228] Математическое выражение 112

$$2\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} = u + \frac{k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}{u}$$

$$2\sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} = u - \frac{k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}{u}$$

• • • (2 - 4 - 2 1)

[0229] Соответственно,  $k$  выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-22).

[0230] Математическое выражение 113

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{u^2 + \frac{(k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2)^2}{u^2} + 2(k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 + k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)}$$

• • • (2 - 4 - 2 2)

[0231] Затем, нижеприведенное выражение (2-4-23) получается посредством дифференцирования обеих сторон выражения (2-4-19) относительно  $k$  и  $u$ .

[0232] Математическое выражение 114

$$du = kdk \left( \frac{1}{\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}} + \frac{1}{\sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2}} \right)$$

• • • (2 - 4 - 2 3)

[0233] Посредством решения  $dk$  из выражения (2-4-23), получается нижеприведенное выражение (2-4-24).

[0234] Математическое выражение 115

$$dk = \frac{1}{ku} \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} du$$

• • • (2 - 4 - 2 4)

[0235] Наконец в общих словах, выражение (2-4-18) преобразуется так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-25).

[0236] Математическое выражение 116

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \Phi(x, y, z, k) dk = \int_0^{\infty} \phi(x, y, x, y, z, k) dk \\ &= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \int_0^{\infty} \phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\ &= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \frac{1}{(2\pi)^4} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1)} e^{-i(k_{x_2} x_2 + k_{y_2} y_2)} e^{izu} \right. \\ &\quad \left. \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2} dk \right] \end{aligned}$$

• • • (2 - 4 - 2 5)

[0237] Когда этот результат применяется к полудвумерной решетчатой антенне, описанной в общем представлении, размерность интеграла становится более высокой на

величину, соответствующую  $dk_{x2}$ . Соответственно, время вычисления, которое ни в коем случае не представляет собой вычисление практически в реальном времени, требуется для вычислительных возможностей существующего модуля вычисления.

[0238] II-5. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к двумерной решетке около искривленной границы

Фиг. 10 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на искривленной плоскости. Поскольку граничные условия для искривленной плоскости используются, предполагается, что точка передачи и точка приема имеют различные координаты  $Z$ . Соответственно, функция распределения поля рассеяния выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-1).

[0239] Математическое выражение 117

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, \omega) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

• • • (2-5-1)

[0240] Здесь,  $k$  представляет волновое число. Предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Кроме того,  $D$  представляет зону и соответствует  $D_3$  на фиг. 10. Функция ядра в члене подынтегрального выражения для вышеприведенного выражения выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-2).

[0241] Математическое выражение 118

$$\varphi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$$

• • • (2-5-2)

[0242] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-5-2) в качестве решения, с исключением зон в непосредственной близости от точки передачи и точки приема. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/r$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-3).

[0243] Математическое выражение 119

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x_1} \rightarrow \partial_{x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2} \rightarrow \partial_{x_2}, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z_1} \rightarrow \partial_{z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2} \rightarrow \partial_{z_2}$$

• • • (2-5-3)

[0244] В этом случае, тот факт, что функция ядра удовлетворяет уравнению, заданному посредством нижеприведенного выражения (2-5-4), извлекается посредством вычисления, аналогичного вычислению в предыдущей главе.

[0245] Математическое выражение 120

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi = \{(\partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2) - 2(ik)^2\} \varphi = 0$$

• • • (2 - 5 - 4)

[0246] При условии, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ , анализируется решение выражения (2-5-4), описанного выше. Во-первых, функция ядра подвергается преобразованию Фурье с мультиплексированием относительно  $t$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , чтобы получить следующее выражение.

[0247] Математическое выражение 121

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1}y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2}y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{x_1}x_1} dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{x_2}x_2} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, t) dx_2$$

• • • (2 - 5 - 5)

[0248] Аналогично выражению (2-4-12) в предыдущей главе, нижеприведенное выражение (2-5-6) получается из выражения (2-5-4).

[0249] Математическое выражение 122

$$\{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2) + 2k^2\} \tilde{\varphi} = 0$$

• • • (2 - 5 - 6)

[0250] Далее анализируется решение этого уравнения. Тем не менее, имеются две переменные  $z_1$  и  $z_2$ . Таким образом, затруднительно решать уравнение, заданное посредством выражения (2-5-6), если граничные условия не предоставляются для зоны с одномерной степенью свободы в пространстве  $(z_1, z_2)$  относительно фиксированной точки  $(x_1, x_2, y_1, y_2)$  или  $(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2})$ . Тем не менее, граничные условия, полученные посредством радарного измерения, просто предоставляются в одной точке  $\{f(x_1, y_1), f(x_2, y_2)\}$  в пространстве  $(z_1, z_2)$ .

[0251] Чтобы разрешать эту проблему, используется согласованность между теорией, используемой в случае, если  $z_1=z$  и  $z_2=z$ , и теорией, описанной в этой главе. Таким образом, решение, извлекаемое из теории, описанной в этой главе, в котором  $z_1$  и  $z_2$  являются независимыми, включает в себя решение, извлекаемое в частном случае, где  $z_1=z$  и  $z_2=z$ . С учетом этого, во-первых, решение выражения (2-5-6) предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-7).

[0252] Математическое выражение 123

$$E(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(is_2 z_2)$$

• • • (2 - 5 - 7)

[0253] В соответствии с выражениями (2-5-6) и (2-5-7) и согласованностью, описанной выше, получают нижеприведенные выражения (2-5-8) и (2-5-9).

[0254] Математическое выражение 124

$$s_1^2 + s_2^2 + k_{x_1}^2 + k_{x_2}^2 + k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2 - 2k^2 = 0$$

• • • (2 - 5 - 8)

[0255] Математическое выражение 125

$$s_1 + s_2 = \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2}$$

• • • (2 - 5 - 9)

[0256] Из этих уравнений,  $s_1$  и  $s_2$  получаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-10).

[0257] Математическое выражение 126

$$s_1 = \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}$$

$$s_2 = \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2}$$

• • • (2 - 5 - 10)

[0258] С использованием  $s_1(k_x, k_{y1}, k_{y2})$  и  $s_2(k_x, k_{y1}, k_{y2})$ , описанных выше, решение уравнения выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-11).

[0259] Математическое выражение 127

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{x_2}x_2 - k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2})$$

$$\cdot e^{i s_1(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}) z_1} e^{i s_2(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}) z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 5 - 11)

[0260] Кроме того, уравнение на искривленной плоскости S может предполагаться так, как задается, например, посредством нижеприведенного выражения (2-5-12).

[0261] Математическое выражение 128

$$z = f(x, y)$$

• • • (2 - 5 - 12)

[0262] Граничные условия, заданные на искривленной плоскости S, выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-13).

[0263] Математическое выражение 129

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{x_2}x_2 + k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2})$$

$$\cdot e^{i\{s_1(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2})f(x_1, y_1) + s_2(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2})f(x_2, y_2)\}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 5 - 13)

[0264] Уравнение, заданное посредством выражения (2-5-13), используется для того, чтобы определять  $(k_{x1}, k_{x2}, k_{y1}, k_{y2})$ . В дальнейшем в этом документе, используется сокращенное обозначение, заданное посредством нижеприведенного выражения (2-5-14).

[0265] Математическое выражение 130

$$\begin{aligned}
 a(\mathbf{k}) &= a(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}) \\
 s_1(\mathbf{k}) &= s_1(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}) \\
 s_2(\mathbf{k}) &= s_2(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}) \\
 &\dots (2-5-14)
 \end{aligned}$$

[0266] С использованием сокращенного обозначения, заданного посредством выражения (2-5-14), извлекается интегральное уравнение относительно  $a(\mathbf{k})$ , как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-15).

[0267] Математическое выражение 131

$$\begin{aligned}
 &\varphi(x_1, x_2, y_1, y_2, f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{x_2}x_2 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} a(\mathbf{k}) e^{i\{s_1(\mathbf{k})f(x_1, y_1) + s_2(\mathbf{k})f(x_2, y_2)\}} d\mathbf{k}
 \end{aligned}$$

$$\dots (2-5-15)$$

[0268] После того, как  $a(\mathbf{k})$  получается из выражения (2-5-15), описанного выше, функция распределения поля рассеяния может выражаться так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-16).

[0269] Математическое выражение 132

$$\begin{aligned}
 &\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 + k_{x_2}x_2 + k_{y_2}y_2)} a(\mathbf{k}) e^{is_1(\mathbf{k})z_1} e^{is_2(\mathbf{k})z_2} d\mathbf{k}
 \end{aligned}$$

$$\dots (2-5-16)$$

[0270] Посредством применения  $z_1=z_2=z$  к выражению (2-5-16), описанному выше, и выполнения преобразования Фурье относительно  $k$ , функция формирования изображений получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-17).

[0271] Математическое выражение 133

$$\rho(\mathbf{r}) = \lim_{t \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) e^{-ickt} dk \right]$$

$$\dots (2-5-17)$$

[0272] Через вышеописанный процесс, получается окончательная функция  $\rho(\mathbf{r})$  формирования изображений.

[0273] III. Теория S-решетчатого поля рассеяния

III-1. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к границе плоскости и полудвумерной решетке

Здесь, используется конфигурация, показанная на фиг. 3. Кроме того, выражение (2-4-10), связанное с двумерной решеткой, используется в качестве начальной точки для анализа. Нижеприведенное выражение (3-1-1) является идентичным выражению (2-4-10).

[0274] Математическое выражение 134

$$\left\{ \Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2) \right\} \varphi = 0$$

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

• • • (3-1-1)

[0275] Кроме того, преобразование Фурье

Математическое выражение 135

$\varphi$

относительно  $t$ ,  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$  выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-2).

[0276] Математическое выражение 136

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z, k)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} e^{ickt} dt \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, t) dx_1 dy_1 dy_2$$

• • • (3-1-2)

[0277] В нижеприведенном описании, переменная  $x_2$  может выражаться как  $u$ . Нижеприведенное выражение (3-1-3) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (3-1-1) относительно  $t$ ,  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0278] Математическое выражение 137

$$\left\{ (\partial_u^2 + \partial_z^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 + 4k^2 \partial_z^2 + 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(\partial_u^2 - k_{y_2}^2) \right\} \tilde{\varphi} = 0$$

• • • (3-1-3)

[0279] Решение выражения (3-1-3), описанного выше, которое представляет собой двумерное дифференциальное уравнение в частных производных относительно  $u$  и  $z$ , предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-4).

[0280] Математическое выражение 138

$$\tilde{\varphi} \propto e^{s_3 u} e^{s_4 z}$$

• • • (3-1-4)

[0281] Здесь,  $s_3$  и  $s_4$  представляют собой функции относительно  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$ ,  $k_{y_2}$  и  $k$ , заданные посредством нижеприведенного выражения (3-1-5). Другими словами,  $s_3$  и  $s_4$  представляют собой константы, заданные посредством  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$ ,  $k_{y_2}$  и  $k$ .

[0282] Математическое выражение 139

$$s_3 = s_3(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$s_4 = s_4(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

• • • (3-1-5)

[0283] Посредством подстановки выражения (3-1-5) в выражение (3-3-4), получается нижеприведенное выражение (3-1-6).

[0284] Математическое выражение 140

$$\left( s_3^2 + s_4^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 \right)^2 + 4k^2 s_4^2 + 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(s_3^2 - k_{y_2}^2) = 0$$

• • • (3-1-6)

[0285] Тем не менее,  $s_3$  и  $s_4$  не могут определяться только из этого алгебраического уравнения. Затем, выражение (3-1-4) изменяется на нижеприведенное выражение (3-1-7).

[0286] Математическое выражение 141

$$\bar{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, u, k_{y_2}, z, k) = b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 u} e^{s_4 z} \\ \dots (3-1-7)$$

[0287] Посредством обратного преобразования Фурье для выражения (3-1-7) относительно  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  и применения результата к  $u \rightarrow x_2$ , получается нижеприведенное выражение (3-1-8).

[0288] Математическое выражение 142

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \dots (3-1-8)$$

[0289] Посредством применения  $x_2 = x_1 = x$  к выражению (3-1-8), получается нижеприведенное выражение (3-1-9).

[0290] Математическое выражение 143

$$\varphi(x, y_1, x, y_2, z, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x} e^{s_4 z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{(k_{x_1} + s_3)x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2\}} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_4 z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_4 z} \left( \frac{dk_{x_1}}{dk_x} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \dots (3-1-9)$$

[0291] Здесь,  $k_x$  выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-10).

[0292] Математическое выражение 144

$$k_x = k_{x_1} + i s_3 \\ \dots (3-1-10)$$

[0293] Выражение (3-1-9), описанное выше, предположительно согласуется с выражением (2-1-17), поскольку оно согласуется с решением уравнения поля рассеяния для одномерной решетки. Нижеприведенное выражение (3-1-11) является идентичным выражению (2-1-17).

[0294] Математическое выражение 145

$$\varphi(x, y_1, y_2, z, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ \cdot e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2 + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \dots (3-1-11)$$



[0295] Посредством сравнения выражений (3-1-9) и (3-1-11), получается нижеприведенное выражение (3-1-12).

[0296] Математическое выражение 146

$$b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk_{x_1}}{d(k_{x_1} + is_3)} \right) = a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$s_4 = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}$$

• • • (3 - 1 - 1 2)

[0297] Второе уравнение, заданное посредством выражения (3-1-12) возводится во вторую степень для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-1-3).

[0298] Математическое выражение 147

$$s_4^2 + s_3^2 = 2ik_{x_1}s_3 + k_{x_1}^2 - (\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2$$

• • • (3 - 1 - 1 3)

[0299] Посредством подстановки выражения (3-1-13) в выражение (3-1-6), получается нижеприведенное выражение (3-1-14).

[0300] Математическое выражение 148

$$\left\{ 2ik_{x_1}s_3 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 - (\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 \right\}^2$$

$$+ 4k^2 \left\{ -(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 + (k_{x_1} + is_3)^2 \right\}$$

$$+ 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(s_3^2 - k_{y_2}^2) = 0$$

• • • (3 - 1 - 1 4)

[0301] Выражение (3-1-14) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-1-15).

[0302] Математическое выражение 149

$$(k^2 - k_{y_1}^2)s_3^2 + 2\left(ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)s_3 - k_{x_1}^2(k^2 - k_{y_2}^2) = 0$$

• • • (3 - 1 - 1 5)

[0303] Поскольку решение этого уравнения представляет собой кратный корень, уникально получается решение, выражаемое так, как задается посредством выражения (3-1-16).

[0304] Математическое выражение 150

$$s_3 = \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}$$

• • • (3 - 1 - 1 6)

[0305] В соответствии с выражениями (3-1-12) и (3-1-16), полученными через вышеописанное,  $s_3$  и  $s_4$  получаются аналитически. Затем функция распределения поля рассеяния получается из выражения (3-1-8), выражаемого посредством нижеприведенного

выражения (3-1-17).

[0306] Математическое выражение 151

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3x_2} e^{s_4z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3x_2} e^{s_4z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ & s_3 = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} \\ & s_4 = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \\ & \dots (3-1-17) \end{aligned}$$

[0307] Далее анализируется соединение данных  $\Phi(x_1, y_1$  и  $y_2, k)$  измерений с  $(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ . Посредством задания  $k_x = k_x + is_3$  и подстановки  $z=0$  и  $x_2 = x_1 + d$  в выражение (3-1-17), уравнение, заданное посредством выражения (3-1-18), является справедливым. Здесь,  $\Phi(x_1, y_1$  и  $y_2, k)$  представляет данные измерений по точке  $(x_1, y_1, 0)$  передачи, точке  $(x_1 + d, y_2, 0)$  приема и волновому числу  $k$ .

[0308] Математическое выражение 152

$$\begin{aligned} & \Phi(x_1, y_1, y_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3(x_1 - d)} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{(k_{x_1} + is_3)x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2\}} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3d} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3d} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ & \dots (3-1-18) \end{aligned}$$

[0309] В дальнейшем в этом документе, используются  $k_x$  и  $s_3$ , заданные посредством нижеприведенного выражения (3-1-19).

[0310] Математическое выражение 153

$$k_x = k_{x_1} + is_3$$

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (3-1-19)

[0311] Нижеприведенное выражение (3-1-20) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (3-1-18) относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ .

[0312] Математическое выражение 154

$$\tilde{\Phi}(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k'_x x_1 - k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \Phi(x_1, y_1, y_2, k) dx_1 dy_1 dy_2$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k'_x x_1 + k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2\}} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 d} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dx_1 dy_1 dy_2$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(k'_x - k_x) \delta(k'_{y_1} - k_{y_1}) \delta(k'_{y_2} - k_{y_2}) a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 d} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

$$= a(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k) e^{s_3 d}$$

• • • (3-1-20)

[0313] Функция  $a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$  получается из выражения (3-1-20), заданного посредством выражения (3-1-21).

[0314] Математическое выражение 155

$$a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = e^{-s_3 d} \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$= e^{\frac{ik_x d \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

• • • (3-1-21)

[0315] Следовательно, выражение (3-1-17), которое представляет функцию распределения поля рассеяния, получается в полной форме, заданной посредством нижеприведенного выражения (3-1-22).

[0316] Математическое выражение 156

$$\begin{aligned}
& \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_y y_1 + k_z z)} a(k_x + is_3, k_y, k_z, k) \\
& \quad \cdot \left( \frac{d(k_x + is_3)}{dk_x} \right) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} dk_x dk_y dk_z \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_y y_1 + k_z z)} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} e^{\frac{id(k_x + is_3)\sqrt{k^2 - k_y^2}}{\sqrt{k^2 - k_x^2} + \sqrt{k^2 - k_z^2}}} \\
& \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k) \left( \frac{d(k_x + is_3)}{dk_x} \right) dk_x dk_y dk_z \\
& s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_y^2}}{\sqrt{k^2 - k_x^2}} = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_y^2}}{\sqrt{k^2 - k_x^2} + \sqrt{k^2 - k_z^2}} \\
& s_4 = ik_z = i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_x^2} + \sqrt{k^2 - k_y^2})^2 - (k_x + is_3)^2} \\
& \dots (3-1-22)
\end{aligned}$$

[0317] Затем функция формирования изображений получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-23).

[0318] Математическое выражение 157

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y - k_z z)} e^{s_4 z} e^{\frac{idk_x \sqrt{k^2 - k_y^2}}{\sqrt{k^2 - k_x^2} + \sqrt{k^2 - k_z^2}}} \\
& \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k) dk_x dk_y dk_z \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y - k_z z)} e^{ik_z z} e^{\frac{idk_x \sqrt{k^2 - k_y^2}}{\sqrt{k^2 - k_x^2} + \sqrt{k^2 - k_z^2}}} \\
& \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_y dk_z \\
& k_z = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_x^2} + \sqrt{k^2 - k_y^2})^2 - k_x^2} \\
& k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_x^2 + k_y^2) + \frac{(k_x^2 - k_y^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
& \frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_x^2} \sqrt{k^2 - k_y^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
& \dots (3-1-23)
\end{aligned}$$

[0319] Полудвумерная решетка допускает получение информации относительно веществ, включенных между координатами X позиции передачи и позиции приема. В

частности, даже если препятствие с высокой диэлектрической постоянной присутствует впереди, можно передавать радиоволны и принимать волны посредством оборота вокруг препятствия в направлении по оси X. Таким образом, можно получать информацию, которую затруднительно получать в случае одномерной решетки в направлении по оси Y. Соответственно, воссоздание более надлежащего изображения становится возможным.

[0320] Кроме того, по сравнению с одномерной решеткой, полудвумерная решетка допускает включение большего числа передающих элементов и большего числа приемных элементов. Соответственно, можно более эффективно получать информацию.

[0321] *III-2. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к границе плоскости и двумерной решетке*

Фиг. 11 является схемой, показывающей многорядную линейную решетчатую антенну. Многорядная линейная решетчатая антенна, показанная на фиг. 11, включает в себя однорядную передающую решетчатую антенну TA и n-рядные приемные решетчатые антенны RA<sub>1</sub>, RA<sub>2</sub>, RA<sub>3</sub>, ..., и RA<sub>n</sub>. Направление поляризации каждого антенного элемента может задаваться в направлении по оси X или в направлении по оси Y. TA и RA могут меняться местами. Обратное MS-рассеяние, применяемое к полудвумерной решетке в главе III-1, применяется к вышеописанной решетке.

[0322] Хотя предусмотрено множество приемных решетчатых антенн RA<sub>1</sub>, RA<sub>2</sub>, RA<sub>3</sub>, ..., и RA<sub>n</sub>, множество комбинаций (TA, RA<sub>1</sub>), (TA, RA<sub>2</sub>), (TA, RA<sub>3</sub>), ..., и (TA, RA<sub>n</sub>) измеряются независимо друг от друга. Функция распределения поля рассеяния получается посредством линейного суммирования этих элементов данных. Соответственно, функция формирования изображений также получается посредством линейного суммирования. Когда d<sub>j</sub> представляет расстояние между передающей элементной решеткой TA и j-ой приемной элементной решеткой RA<sub>j</sub>, и Φ<sub>j</sub>(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub> и y<sub>2</sub>, k) представляет каждые данные измерений, нижеприведенное выражение (3-2-1) получается из выражения (3-1-23).

[0323] Математическое выражение 158

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{s_4 z} \\
&\cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{i k_z z} \\
&\cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&k_z = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
&k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
&\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
&\dots (3 - 2 - 1)
\end{aligned}$$

[0324] Далее описывается различие между случаем использования существующей двумерной решетки и случаем использования S-решетчатой двумерной решетки, который применяет полудвумерную решетку согласно настоящему раскрытию сущности.

[0325] S-решетчатая двумерная решетка имеет такое ограничение, что ТА и РА представляют собой одномерную решетку. Имеется вероятность того, что сканирующий зонд с использованием этой решетки может получать высококачественное изображение и может сокращать время сканирования при поддержании качества изображений. Альтернативно, сканирование может опускаться.

[0326] С другой стороны, в случае использования существующей двумерной решетки, ограничения не налагаются на компоновку передающих элементов и приемных элементов. Тем не менее, например, в случае решетки  $n$  на  $n$ , имеются  $n^4$  различных порядков комбинаций для передачи и приема, и размерность становится более высокой. Таким образом, когда  $n$  является любым практическим значением (например, 100), масштаб системы увеличивается, и огромные количества времени измерения и времени вычисления становятся необходимыми. Соответственно, существующая двумерная решетка не является практичной для медицинской диагностики и инфраструктурной диагностики.

[0327] Фиг. 12 является концептуальной схемой, показывающей комбинации позиций передачи и позиций приема в мультистатической решетчатой антенне. Фиг. 12 показывает S-решетчатую двумерную решетку в качестве мультистатической решетчатой антенны. S-решетчатая двумерная решетка допускает получение данных измерений во

множестве позиций приема в обоих направлениях по оси X и Y, даже если сканирование не выполняется. Таким образом, S-решетчатая двумерная решетка имеет мультистатические характеристики в обоих направлениях по оси X и Y. Соответственно, можно получать достаточно информации и опускать или уменьшать сканирование.

[0328] Как описано выше, передача и прием могут меняться местами. В этом случае, множество передающих решетчатых антенн передают радиоволны в последовательности. Более конкретно, множество передающих элементов передают радиоволны в последовательности. Даже если позиция передачи и позиция приема меняются местами, предполагается, что величина принимаемого рассеяния является идентичной. Соответственно, даже если передача и прием меняются местами, получается практически идентичный результат. В случае использования множества передающих решетчатых антенн, линейное суммирование может выполняться, как и в случае использования множества приемных решетчатых антенн.

[0329] В качестве другой альтернативы, могут использоваться множество передающих решетчатых антенн и множество приемных решетчатых антенн. Затем передающие решетчатые антенны и приемные решетчатые антенны могут размещаться попеременно.

[0330] Кроме того, сканирование может выполняться в зависимости от S-решетчатой двумерной решетки. В этом случае, более широкий диапазон информации может получаться.

[0331] Как описано выше, функция формирования изображений может извлекаться из объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют, надлежащим образом, множеству комбинаций передающих решетчатых антенн и приемных решетчатых антенн. Например, функция формирования изображений может извлекаться посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния в одну функцию распределения поля рассеяния и выполнения операции ограничения для функции распределения поля рассеяния. Каждая из функций распределения поля рассеяния может представлять собой функцию распределения поля рассеяния, выражаемую так, как задается посредством выражения (3-1-23). Объединение может представлять собой линейное суммирование.

[0332] *III-3. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к искривленной границе*

Нижеприведенное описание приводится относительно теории S-решетчатого поля рассеяния, применяемой к случаю, в котором граница зоны, т.е. граничной поверхности для измерения данных рассеяния, представляет собой искривленную плоскость, кривизна которой не является настолько большой.

[0333] Фиг. 13 является схемой, показывающей полудвумерную решетчатую антенну на искривленной плоскости. Фиг. 13 показывает полудвумерную решетчатую антенну, проецируемую на плоскость X-Y, где  $z=0$ . Когда искривленная плоскость имеет большую кривизну, не разрешается игнорировать наклон решетчатой антенны и

игнорировать изменение расстояния между антенными элементами на плоскости X-Y в зависимости от места. Тем не менее, когда кривизна искривленной плоскости не является настолько большой, расстояние между элементами на плоскости X-Y может рассматриваться как приблизительно постоянное.

[0334] Здесь, теория обратного рассеяния, применяемая к полудвумерной решетке, конструируется на основе теории, описанной в II-5. Функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, заданную посредством нижеприведенного выражения (3-3-1).

[0335] Математическое выражение 159

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

• • • (3-3-1)

[0336] Уравнение, удовлетворяющееся посредством функции распределения поля рассеяния, заданной посредством выражения (3-3-1), представляет собой выражение (2-5-4) и выражается так, как представлено посредством нижеприведенного выражения (3-3-2).

[0337] Математическое выражение 160

$$\left\{ \Delta_6 - 2(ik)^2 \right\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \left\{ (\partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2) - 2(ik)^2 \right\}$$

$$\cdot \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

= 0

• • • (3-3-2)

[0338] Здесь, преобразование Фурье используется так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-3).

[0339] Математическое выражение 161

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z_1, z_2, k)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) dx_1 dy_1 dy_2$$

• • • (3-3-3)

[0340] Из выражений (3-3-2) и (3-3-3), получается нижеприведенное выражение (3-3-4).

[0341] Математическое выражение 162

$$\left\{ \partial_{x_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2 + 2k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 \right\} \tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z_1, z_2, k) = 0$$

• • • (3-3-4)

[0342] В качестве решения уравнения, заданного посредством нижеприведенного выражения (3-3-4), предполагается выражение (3-3-5).

[0343] Математическое выражение 163



$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z_1, z_2, k) &= b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \\ s_3 &= s_3(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ s_4 &= s_4(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ s_5 &= s_5(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ &\dots (3-3-5) \end{aligned}$$

[0344] Посредством подстановки выражения (3-3-5) в выражение (3-3-4), получается нижеприведенное выражение (3-3-6).

[0345] Математическое выражение 164

$$s_3^2 + s_4^2 + s_5^2 + 2k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 = 0$$

... (3-3-6)

[0346] Затем,

Математическое выражение 165

$\varphi$

выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-7).

[0347] Математическое выражение 166

$$\begin{aligned} &\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &\dots (3-3-7) \end{aligned}$$

[0348] В случае  $x_2 \rightarrow x_1$ , выражение (3-3-7) согласуется с выражением (2-2-18). В случае  $x_2 \rightarrow x_1$ , выражение (3-3-7) выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-8).

[0349] Математическое выражение 167

$$\begin{aligned} &\varphi(x_1, y_1, x_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{(k_{x_1} + s_3) x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2\}} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &\dots (3-3-8) \end{aligned}$$

[0350] Кроме того, выражение, идентичное выражению (2-2-18), выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-9).

[0351] Математическое выражение 168

$$\begin{aligned} & \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_1} e^{is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_2} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \dots (3-3-9) \end{aligned}$$

[0352] Поскольку выражение (3-3-8) согласуется с выражением (3-3-9), получается нижеприведенное выражение (3-3-10).

[0353] Математическое выражение 169

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk_{y_1}}{dk_x} \right) &= a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ s_4(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ s_5(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \dots (3-3-10) \end{aligned}$$

[0354] Затем, из выражений (3-3-6), (3-3-9) и (3-3-10), алгебраическое уравнение относительно  $s_3$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-11).

[0355] Математическое выражение 170

$$\begin{aligned} s_3^2 & - \left\{ \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right\}^2 \\ & - \left\{ \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right\}^2 \\ & + 2k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 = 0 \end{aligned}$$

$\dots (3-3-11)$

[0356] Посредством разворачивания и упрощения квадратного члена в выражении (3-3-11), получается нижеприведенное выражение (3-3-12).

[0357] Математическое выражение 171

$$s_3^2 + \frac{(2k^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)(k_{x_1} + is_3)^2}{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2} - k_{x_1}^2 = 0$$

• • • (3 - 3 - 1 2)

[0358] Кроме того, выражение (3-3-12) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-3-13).

[0359] Математическое выражение 172

$$(s_3 \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})(s_3 \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} + ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}) = 0$$

• • • (3 - 3 - 1 3)

[0360] Предусмотрено два решения выражения (3-3-13). Тем не менее, решение выражения (3-3-13), как предполагается, согласуется с решением в случае границы плоскости, описанной в главе III-1. Таким образом, нижеприведенное выражение (3-3-14), как предполагается, выбирается в качестве решения в соответствии с выражением (3-1-16).

[0361] Математическое выражение 173

$$s_3 = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}$$

• • • (3 - 3 - 1 4)

[0362] В общих словах, функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-15).

[0363] Математическое выражение 174

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 - k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 y_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 - k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3 y_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

$$s_3 = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}$$

$$s_4 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_5 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (3 - 3 - 1 5)

[0364] Кроме того, посредством преобразования переменной  $k_{x_1}$  в  $k_x$  в выражении (3-3-15), получается нижеприведенное выражение (3-3-16).

[0365] Математическое выражение 175

$$s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_4 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_5 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (3 - 3 - 1 6)

[0366] Далее анализируется соединение данных  $\Phi(x_1, y_1 \text{ и } y_2, k)$  измерений с  $b(k_{x1}, k_{y1}, k_{y2}, k)$ . Функция, полученная посредством преобразования Фурье данных  $\Phi(x_I, y_I, x_I+d, y_J, t)$ , измеренных в точках  $P_I$  и  $P_J$  на искривленной плоскости, выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-17).

[0367] Математическое выражение 176

$$\Phi(x_I, y_I, y_J, k) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ickt} \varphi(x_I, y_I, x_I + d, y_J, t) dt$$

• • • (3 - 3 - 1 7)

[0368] Форма граничной искривленной плоскости, служащей в качестве измеряемой плоскости, выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-18).

[0369] Математическое выражение 177

$$z = f(x, y)$$

• • • (3 - 3 - 1 8)

[0370] Здесь,  $(x, y)$  представляет координаты на плоскости, на которой  $z=0$ . Координаты  $Z$  в точках  $P_I$  и  $P_J$  выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-19).

[0371] Математическое выражение 178

$$z_I = f(x_I, y_I)$$

$$z_J = f(x_J, y_J)$$

• • • (3 - 3 - 1 9)

[0372] Посредством подстановки  $x_2 = x_1 + d$  в выражение (3-3-15), уравнение, заданное посредством выражения (3-3-20), является справедливым.

[0373] Математическое выражение 179

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_1 + d, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3(x_1+d)} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (3-3-20) \end{aligned}$$

[0374] Выражение (3-3-20), описанное выше, выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-21), с использованием данных  $\Phi$ , полученных посредством измерения, проведенного на границе.

[0375] Математическое выражение 180

$$\begin{aligned} & \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \delta(x_1 - x_I) \delta(y_1 - y_I) \delta(y_2 - y_J) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a_{I,J}(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3(x_1-d)} e^{s_4 z_I} e^{s_5 z_J} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (3-3-21) \end{aligned}$$

[0376] Здесь,  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений по точке  $(x_I, y_I, z_I)$  передачи, точке  $(x_1+d, y_J, z_J)$  приема и волновому числу  $k$ . Нижеприведенное выражение (3-3-22) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (3-3-21).

[0377] Математическое выражение 181

$$\begin{aligned} & \int \int \int e^{i(k_{x_1}' x_1 - k_{y_1}' y_1 + k_{y_2}' y_2)} \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot \delta(x_1 - x_I) \delta(y_1 - y_I) \delta(y_2 - y_J) dx_1 dy_1 dy_2 \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int \int \int e^{i(k_{x_1}' x_1 + k_{y_1}' y_1 + k_{y_2}' y_2)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a_{I,J}(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3(x_1+d)} e^{s_4 z_I} e^{s_5 z_J} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} dx_1 dy_1 dy_2 \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (3-3-22) \end{aligned}$$

[0378] Затем нижеприведенное выражение (3-3-23) получается в качестве результата интегрирования выражения (3-3-22) относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ .

[0379] Математическое выражение 182

$$\begin{aligned}
& \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) e^{i(k_{x_1}' x_I + k_{y_1}' y_I + k_{y_2}' y_J)} \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(k_{x_1} + is_3 - k_{x_1}') \delta(k_{y_1} - k_{y_1}') \delta(k_{y_2} - k_{y_2}') \\
&\quad \cdot a_{I,J}(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 d} e^{s_4 z_I} e^{s_5 z_J} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= a_{I,J}(k_{x_1}', k_{y_1}', k_{y_2}', k) e^{s_3' d} e^{s_4' z_I} e^{s_5' z_J} \\
& s_3' = \frac{-ik_{x_1}' \sqrt{k^2 - k_{y_2}'^2}}{\sqrt{k^2 - k_{x_1}'^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_1}'^2}} \\
& \dots (3 - 3 - 2 3)
\end{aligned}$$

[0380] Результат выражения (3-3-23) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-3-24).

[0381] Математическое выражение 183

$$\begin{aligned}
& a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \\
& s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_x^2}} \\
& \dots (3 - 3 - 2 4)
\end{aligned}$$

[0382] Из суммы всех наборов I и J относительно выражения (3-3-24), получается нижеприведенное выражение (3-3-25).

[0383] Математическое выражение 184

$$\begin{aligned}
& a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
&= \sum_{I,J} a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
&= \sum_{I,J} \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \\
& \dots (3 - 3 - 2 5)
\end{aligned}$$

[0384] Из выражений (3-3-15) и (3-3-25), функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-26).

[0385] Математическое выражение 185

$$\begin{aligned}
& \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
& s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_x^2}} \\
& \dots (3 - 3 - 2 6)
\end{aligned}$$

[0386] Функция формирования изображений получается посредством применения

$x_2=x_1=x$ ,  $y_1=y_2=y$  и  $z_1=z_2=z$  к выражению (3-3-26) и интегрирования выражения относительно  $k$ . После этого улучшение уравнения функции формирования изображений анализируется таким образом, что результат может получаться из преобразования Фурье, что обеспечивает высокоскоростные вычисления. Базисные переменные представляют собой  $k_x$ ,  $k_{y1}$ ,  $k_{y2}$  и  $k_z$ , и другие переменные положительно выражаются с использованием базисных переменных. Функция формирования изображений получается через следующую процедуру.

[0387] Во-первых, нижеприведенное выражение (3-3-27) получается посредством применения  $x_2=x_1=x$ ,  $y_1=y_2=y$  и  $z_1=z_2=z$  к выражению (3-3-26).

[0388] Математическое выражение 186

$$\begin{aligned} & \varphi(x, y, x, y, z, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{s_4 z} e^{s_5 z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ & s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \dots (3-3-27) \end{aligned}$$

[0389] Функция  $\rho$  формирования изображений получается посредством интегрирования относительно  $k$ , заданного посредством нижеприведенного выражения (3-3-28).

[0390] Математическое выражение 187

$$\begin{aligned} & \rho(x, y, z) \\ &= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y1} dk_{y2} dk_z \\ & s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \dots (3-3-28) \end{aligned}$$

[0391] Это вычисление использует нижеприведенное выражение (3-3-29).

[0392] Математическое выражение 188

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}$$

$$\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}}$$

$$s_3 = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}$$

$$s_4 = \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}$$

$$s_5 = \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}$$

• • • (3 - 3 - 2 9)

[0393] Хотя полудвумерная решетка используется в вышеприведенном описании, вместо этого может использоваться двумерная решетка, показанная на фиг. 11. В этом случае, функция формирования изображений может извлекаться посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют, надлежащим образом, множеству комбинаций передающих решетчатых антенн и приемных решетчатых антенн. Например, функция формирования изображений может извлекаться посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния в одну функцию распределения поля рассеяния и выполнения операции ограничения для функции распределения поля рассеяния. Каждая из функций распределения поля рассеяния может представлять собой функцию распределения поля рассеяния, выражаемую посредством выражения (3-3-26), и объединение может представлять собой линейное суммирование.

[0394] Хотя цилиндрическая поверхность показана как искривленная граница зоны на фиг. 13, искривленная граница зоны не обязательно должна представлять собой цилиндрическую поверхность. Вышеописанный процесс может применяться не только к тангенциальной плоскости к цилиндрической поверхности, но также и к тангенциальной плоскости к любой другой искривленной границе.

[0395] *IV. Частотная зависимость диэлектрической постоянной*

*IV-1. Базовая теория*

В случае использования воссоздающих уравнений, полученных в главе III, может учитываться присутствие или отсутствие дисперсии диэлектрической постоянной. В случае если отсутствует дисперсия диэлектрической постоянной, частота  $f$  и волновое число  $k$



имеют простую взаимосвязь, заданную посредством нижеприведенного выражения (4-1-1). Здесь,  $\epsilon_r$  представляет относительную диэлектрическую постоянную, и  $c_0$  представляет скорость электромагнитных волн в вакууме.

[0396] Математическое выражение 189

$$f = \frac{c_0 k}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}}$$

• • • (4-1-1)

[0397] Когда отсутствует дисперсия диэлектрической постоянной, замена переменных с  $f$  на  $k$  является простой. Тем не менее, предположительно учитывается изменение диэлектрической постоянной в зависимости от частоты, например, в вариантах применения для живого организма. В дальнейшем в этом документе, учитывается частотная зависимость диэлектрической постоянной.

[0398] Диэлектрическая постоянная в зоне на частотах от 14 ГГц до 20 ГГц составляет приблизительно 60% от диэлектрической постоянной в зоне на частотах от 1 ГГц до 5 ГГц. Выражение для частотной зависимости дебаевской диэлектрической постоянной задается посредством нижеприведенных выражений (4-1-2) и (4-1-3).

[0399] Математическое выражение 190

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + i\omega\tau}$$

$$\epsilon(0) = \epsilon_s$$

$$\epsilon(\infty) = \epsilon_\infty$$

• • • (4-1-2)

[0400] Математическое выражение 191

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2\tau^2} - i \frac{\omega\tau(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2\tau^2}$$

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2\tau^2} = a + \frac{b}{1 + \alpha\omega^2}$$

• • • (4-1-3)

[0401] Здесь,  $\omega$  представляет угловую частоту,  $\epsilon(\omega)$  представляет комплексную проницаемость при  $\omega$ ,  $i$  представляет мнимую единицу,  $\tau$  представляет время релаксации,  $\epsilon_r(\omega)$  представляет действительную часть комплексной проницаемости при  $\omega$ , и  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют константы. В частности,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют собой параметры, указывающие соответствие между изменением частоты и изменением диэлектрической постоянной в соответствии с дебаевской релаксацией.

[0402] Взаимосвязь скорости радиоволн, частоты и волнового числа выражается так, как задается посредством нижеприведенных выражений (4-1-4) и (4-1-5).

[0403] Математическое выражение 192

$$c(\omega) = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r(\omega)}}$$

$$\omega = c(\omega)k$$

• • • (4-1-4)

[0404] Математическое выражение 193

$$\omega = \frac{c_0 k}{\sqrt{a + \frac{b}{1 + \alpha \omega^2}}}$$

• • • (4-1-5)

[0405] Здесь,  $c(\omega)$  представляет скорость распространения при  $\omega$ , и  $\omega$  и  $f$  имеют взаимосвязь  $\omega = 2\pi f$ . Нижеприведенное выражение (4-1-6) получается из выражения (4-1-5).

[0406] Математическое выражение 194

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4\alpha c_0^2 k^2}}{2\alpha}}$$

• • • (4-1-6)

[0407] Кроме того, нижеприведенное выражение (4-1-7) также получается из выражения (4-1-6).

[0408] Математическое выражение 195

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha \omega^3 - \alpha c_0^2 \omega k^2}$$

• • • (4-1-7)

[0409] *IV-2. Теория S-решетчатого поля рассеяния для границы плоскости и дисперсионной среды*

Здесь, анализируется функция формирования изображений для данных измерений с S-решеткой около границы плоскости и формирования видео в диэлектрической дисперсионной среде. Поскольку временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , интегрирование в выражении (3-2-1) выполняется относительно частоты  $\omega$  вместо  $k$ , когда учитывается присутствие частотной зависимости диэлектрической постоянной. Соответственно, функция формирования изображений получается так, как задается посредством выражений (4-2-1) и (4-2-2).

[0410] Математическое выражение 196

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_{A^2}} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 2 - 1)
\end{aligned}$$

[0411] Математическое выражение 197

$$\begin{aligned}
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 2 - 2)
\end{aligned}$$

[0412] IV-3. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к искривленной границе и дисперсионной среде

Здесь, анализируется функция формирования изображений для данных измерений с S-решеткой около искривленной границы и формирования видео в диэлектрической дисперсионной среде. Поскольку временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , интегрирование в выражении (3-3-28) выполняется относительно частоты  $\omega$  вместо  $k$ , когда учитывается присутствие частотной зависимости диэлектрической постоянной. Соответственно, функция формирования изображений получается так, как задается посредством выражений (4-3-1) и (4-3-2).

[0413] Математическое выражение 198

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_J + k_{y_1} y_{1I} + k_{y_2} y_{2J})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_J + k_{y_1} y_{1I} + k_{y_2} y_{2J})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 3 - 1)
\end{aligned}$$

[0414] Математическое выражение 199

$$\begin{aligned}
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 3 - 2)
\end{aligned}$$

[0415] *V. Конфигурация и операции устройства формирования изображений*

На основе контента, описанного выше, в дальнейшем описываются конфигурация и операции устройства формирования изображений для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн.

[0416] Волны при использовании в данном документе, например, могут

представлять собой радиоволны либо могут представлять собой другие волны, к примеру, микроволны, миллиметровые волны или терагерцевые волны. Волны также могут быть световыми или звуковыми. Объект, который присутствует в зоне, может представлять собой живой организм, изготовленный материал или природный материал. В частности, устройство формирования изображений может использоваться для маммографии, и объект может представлять собой грудь.

[0417] Рассеиватель, включенный в объект, который присутствует в зоне, соответствует участку, который имеет физическую характеристику, отличающуюся от физических характеристик окружающих сред. В частности, физическая характеристика представляет собой физическую характеристику, которая соответствует отражательной способности волн. В случае если радиоволны используются в качестве волн, физическая характеристика может представлять собой диэлектрическую постоянную. Затем рассеиватель, включенный в объект, например, может представлять собой арматурную сталь, содержащуюся в бетоне на основе арматурной стали, либо опухоль, включенную в грудь. Зона, которая должна измеряться, может быть эквивалентной зоне объекта.

[0418] Фиг. 14 является базовой принципиальной схемой устройства формирования изображений согласно настоящему варианту осуществления. Устройство 100 формирования изображений, показанное на фиг. 14, включает в себя ряд 101 передатчиков, ряд 102 приемников и схему 103 обработки информации. Устройство 100 формирования изображений дополнительно может включать в себя дисплей 104.

[0419] Ряд 101 передатчиков представляет собой схему, которая передает волны. В частности, ряд 101 передатчиков включает в себя множество передатчиков 111, выравненных по прямой линии. Каждый передатчик 111 передает волну. Устройство 100 формирования изображений может включать в себя множество рядов 101 передатчиков, размещаемых друг параллельно с другом.

[0420] Ряд 102 приемников представляет собой схему, которая принимает волны. В частности, ряд 102 приемников включает в себя множество приемников 112, выравненных по другой прямой линии, которая является параллельной с прямой линией, вдоль которой выравняются передатчики 111. Каждый приемник 112 принимает волну. Ряд 102 приемников размещается с интервалом от ряда 101 передатчиков. Таким образом, ряд 102 приемников разнесен от ряда 101 передатчиков. Устройство 100 формирования изображений может включать в себя множество рядов 102 приемников, размещаемых друг параллельно с другом.

[0421] Схема 103 обработки информации представляет собой схему, которая выполняет обработку информации. В частности, схема 103 обработки информации формирует изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, в соответствии с данными измерений, полученными посредством ряда 101 передатчиков и ряда 102 приемников. Например, схема 103 обработки информации может выполнять вычислительную обработку, указываемую посредством теории, описанной выше при формировании изображений структуры рассеивателя в соответствии

с данными измерений.

[0422] Схема 103 обработки информации также может представлять собой компьютер или процессор компьютера. Схема 103 обработки информации может выполнять обработку информации посредством считывания программы из запоминающего устройства и выполнения программы. Альтернативно, схема 103 обработки информации может представлять собой специализированную схему, которая формирует изображение структуры рассеивателя в соответствии с данными измерений.

[0423] Чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, схема 103 обработки информации может формировать изображение, которое указывает структуру рассеивателя.

[0424] Затем схема 103 обработки информации может формировать изображение структуры рассеивателя посредством вывода изображения, указывающего структуру рассеивателя, на дисплей 104 и т.п. Альтернативно, схема 103 обработки информации может формировать изображение структуры рассеивателя посредством вывода изображения, указывающего структуру рассеивателя, на принтер (не показан). В качестве другой альтернативы, схема 103 обработки информации может формировать изображение структуры рассеивателя посредством передачи изображения в качестве электронных данных в другое устройство (не показано) через проводную или беспроводную связь.

[0425] Дисплей 104 представляет собой устройство отображения, такое как жидкокристаллический дисплей. Следует отметить, что дисплей 104 представляет собой просто произвольный составляющий элемент и не представляет собой важный составляющий элемент. Дисплей 104 может представлять собой внешнее устройство, которое не включается в конфигурацию устройства 100 формирования изображений.

[0426] Фиг. 15 является блок-схемой последовательности операций способа, показывающей базовые операции устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14. В частности, операции, показанные на фиг. 15, выполняются посредством составляющих элементов устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14, таких как ряд 101 передатчиков, ряд 102 приемников и схема 103 обработки информации.

[0427] Во-первых, передатчики 111 из ряда 101 передатчиков передают волны в зону, которая должна измеряться (S101). Например, передатчики 111 передают волны в последовательности. Приемники 112 из ряда 102 приемников принимают волны из зоны (S102). Например, приемники 112 принимают волны параллельно. Принимаемые волны также могут выражаться как рассеянные волны. Затем схема 103 обработки информации формирует изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования данных измерений, полученных посредством рядов 101 передатчиков и рядов 102 приемников (S103).

[0428] При формировании изображений структуры рассеивателя, схема 103 обработки информации сначала извлекает функцию формирования изображений, которая соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волн, в

соответствии с данными измерений и расстоянием. Данные измерений при использовании в данном документе означают данные измерений, полученные посредством всех или некоторых комбинаций передатчиков 111 и приемников 112. Расстояние при использовании в данном документе означает расстояние между прямой линией, вдоль которой выравниваются передатчики 111, и прямой линией, вдоль которой выравниваются приемники 112. Затем схема 103 обработки информации использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0429] Таким образом, устройство 100 формирования изображений допускает получение достаточного количества информации в качестве данных измерений в соответствии с множеством комбинаций передатчиков 111 из ряда 101 передатчиков и приемников 112 из ряда 102 приемников. Поскольку имеется интервал между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующую передачу волн в зону и соответствующий прием волн из зоны.

[0430] Посредством использования функции формирования изображений, извлекаемой в соответствии с данными измерений относительно волн и расстоянием между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя.

[0431] Кроме того, поскольку передатчики 111 и приемники 112 ограничены размещением на двух прямых линиях, устройство 100 формирования изображений допускает упрощение вычислительной обработки по сравнению со случаем, в котором передатчики 111 и приемники 112 размещаются произвольно. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает недопущение усложнения вычислительной обработки. Таким образом, устройство 100 формирования изображений допускает формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн и допускает повышение пространственного разрешения для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

[0432] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием. Затем схема 103 обработки информации может извлекать функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния.

[0433] Здесь, функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом.

Математическое выражение 200

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{jk\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{jk\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 201

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

[0434] Здесь,  $(x_1, y_1, z)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны, и  $D$  представляет зону. Кроме того,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\epsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0435] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, которая задается при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема имеют идентичную координату  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль границы плоскости зоны, посредством использования передатчиков 111 из ряда 101 передатчиков и приемников 112 из ряда 102 приемников.

[0436] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния.

[0437] Здесь, уравнение, удовлетворяющееся посредством функции распределения поля рассеяния, выражается следующим образом:.

Математическое выражение 202

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

где  $\Delta_5$  задается следующим образом:

Математическое выражение 203

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

[0438] Кроме того,  $c$  представляет скорость распространения волны, и  $t$  представляет временную длительность от передачи волны до приема волны.

[0439] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0440] Например, функция формирования изображений может выражаться следующим образом:

Математическое выражение 204

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk$$



где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0441] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений в соответствии с операцией ограничения, выполняемой для функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0442] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции распределения поля рассеяния.

Математическое выражение 205

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} e^{s_3x_2} e^{s_4z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

[0443] Здесь,  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 206

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

[0444] Кроме того,  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние.

[0445] Кроме того:

Математическое выражение 207

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0446] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0447] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 208

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y + k_{y2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \bar{\Phi}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y + k_{y2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y1} dk_{y2} dk_z
 \end{aligned}$$

[0448] Здесь,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 209

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{y1} + i s_3 \\
 k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - k_x^2} \\
 k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y1}^2 + k_{y2}^2) + \frac{(k_{y1}^2 - k_{y2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
 \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
 s_4 = i k_z &= i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - (k_{y1} + i s_3)^2}
 \end{aligned}$$

[0449] Кроме того,  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 210

$$s_3 = \frac{-i k_{y1} \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}$$

[0450] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние.

[0451] Кроме того:

Математическое выражение 211

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k)$$

представляет данные измерений, полученные посредством преобразования Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0452] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между

рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0453] Например, устройство 100 формирования изображений может включать в себя множество рядов 101 передатчиков в качестве рядов 101 передатчиков, множество рядов 102 приемников в качестве рядов 102 приемников либо как множество рядов 101 передатчиков, так и множество рядов 102 приемников в качестве рядов 101 передатчиков и рядов 102 приемников.

[0454] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений получать достаточно информации в качестве данных измерений в соответствии с множеством комбинаций ряда(ов) 101 передатчиков и ряда(ов) 102 приемников. Это также обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений конструировать мультистатическую взаимосвязь двух направлений, которые являются, соответственно, параллельными и ортогональными к ряду(ам) 101 передатчиков и ряду(ам) 102 приемников. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0455] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений для одного ряда 101 передатчиков и  $n$  рядов 102 приемников, включенных в устройство 100 формирования изображений.

Математическое выражение 212

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^s \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{s_4 z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{i k_z z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

[0456] Кроме того,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 213

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
s_4 &= ik_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + is_3)^2}
\end{aligned}$$

[0457] Кроме того,  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 214

$$s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

[0458] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d_j$  представляет расстояние.

[0459] Кроме того,

Математическое выражение 215

$$\tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0460] Это обеспечивает возможность устройству 100 формированию изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции формирования изображений. В частности, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством выполнения линейного суммирования, которое соответствует расстоянию между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в соответствии с данными измерений, полученными в соответствии с множеством комбинаций ряда 101 передатчиков и ряда 102 приемников.

[0461] Например, в случае если диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 216

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

[0462] Кроме того,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d$ ,  $\omega/dk$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 217

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

[0463] Кроме того,  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 218

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

[0464] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме, и  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией.

[0465] Кроме того,

Математическое выражение 219

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0466] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникнуть в зависимости от частоты волны.

[0467] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием. Затем схема 103 обработки информации может извлекать функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния.

[0468] Здесь, функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 220

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

[0469] Кроме того,  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 221

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

[0470] Кроме того,  $(x_1, y_1, z_1)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z_2)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны, и  $D$  представляет зону. Кроме того,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0471] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, заданную при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема имеют различные координаты  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль тангенциальной плоскости в зоне, имеющей искривленную границу, посредством использования передатчиков 111 из ряда 101 передатчиков и приемников 112 из ряда 102 приемников.

[0472] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния.

[0473] Здесь, уравнение, удовлетворяющееся посредством функции распределения поля рассеяния, выражается следующим образом:

Математическое выражение 222

$$\{\Delta_\varepsilon - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = 0$$

[0474] Кроме того,  $\Delta_6$  задается следующим образом:

Математическое выражение 223

$$\Delta_6 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

[0475] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0476] Например, функция формирования изображений может выражаться следующим образом:

Математическое выражение 224

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0477] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений посредством использования функции распределения поля рассеяния, которая принимает ввод позиции, которая должна подвергаться формированию изображений. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0478] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции распределения поля рассеяния.

Математическое выражение 225

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 - k_y y_1 - k_z z_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, z_I, z_J, k) \\ & \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_J)} e^{-s_3 z_I} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{z_2} \end{aligned}$$

[0479] Здесь,  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 226

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_5 &= \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}
\end{aligned}$$

[0480] Кроме того,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_J, z_J)$ .

[0481] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0482] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 227

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty dk \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

[0483] Здесь,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 228



$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
s_3 &= \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

[0484] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

[0485] Это обеспечивает возможность устройству 100 формированию изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0486] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию формирования изображений посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют, надлежащим образом, множеству комбинаций ряда(ов) 101 передатчиков и ряда(ов) 102 приемников.

[0487] Каждая из функций распределения поля рассеяния выражается следующим образом:

Математическое выражение 229

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

[0488] Кроме того,  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 230

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \end{aligned}$$

[0489] Кроме того,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

[0490] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством объединения функций распределения поля рассеяния, которые отражают данные измерений относительно волн и расстояние между рядом(ами) 101 передатчиков и рядом(ами) 102 приемников.

[0491] Например, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 231

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J1})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J1})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

[0492] Здесь,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 232

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-i k_{y_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

[0493] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме, и  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией.

[0494] Кроме того,  
Математическое выражение 233

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0495] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникать в зависимости от частоты волны.

[0496] Например, функция распределения поля рассеяния может задаваться как функция для ввода позиции передачи волны и позиции приема волны и вывода значения, которое указывает волну в позиции приема. Функция формирования изображений может задаваться на основе позиции передачи и значения, выводимого из функции распределения поля рассеяния, в качестве результата ввода позиции, которая должна подвергаться формированию изображений, в качестве позиции приема в функцию распределения поля рассеяния.

[0497] Затем схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния посредством использования данных измерений в качестве граничных условий и извлекать функцию формирования изображений посредством использования функции распределения поля рассеяния. Здесь, функция распределения поля рассеяния и функция формирования изображений могут отражать расстояние между прямой линией, вдоль которой выровниваются передатчики 111, и прямой линией, вдоль которой выровниваются приемники 112.

[0498] Например, другие составляющие элементы, выражения, переменные и т.д., описанные в настоящем варианте осуществления, являются применимыми надлежащим образом к ряду 101 передатчиков, ряду 102 приемников, схеме 103 обработки информации, функции распределения поля рассеяния, функции формирования изображений и т.д., описанным выше, в отношении базовой конфигурации и базовых операций.

[0499] Функция распределения поля рассеяния, функция формирования изображений и т.д., предоставленные в настоящем варианте осуществления, могут модифицироваться и применяться надлежащим образом. Например, можно использовать математическое выражение, которое представляет контент, практически идентичный контенту, заданному посредством математического выражения, описанного выше, либо использовать любое другое математическое выражение, извлекаемое на основе теории, описанной выше.

[0500] Фиг. 16 является блок-схемой, показывающей конкретную конфигурацию устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14.

[0501] Ряд 101 передатчиков и ряд 102 приемников устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14, могут включаться в мультистатическую решетчатую

антенну 1008. Схема 103 обработки информации устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14, может соответствовать одному или более из множества составляющих элементов, показанных на фиг. 16. В частности, например, схема 103 обработки информации может соответствовать модулю 1005 вычисления для обработки сигналов. Кроме того, дисплей 104, показанный на фиг. 14, может соответствовать устройству 1006 мониторинга сигналов.

[0502] Микроволновые сигналы, используемые в устройстве 100 формирования изображений, представляют собой псевдослучайные сигналы временных рядов (псевдошумовые (PN) коды), которые имеют частотные компоненты от постоянного тока до 20 ГГц. Эти сигналы выводятся из FPGA-платы 1002 для формирования PN-кодов. Более конкретно, эти сигналы поступают в двух типах. Один тип сигналов (сигналы локального осциллятора (LO)) передается через схему задержки (цифровую управляющую плату 1003) в детекторную RF-схему (детекторную RF-волновую плату 1007).

[0503] Другой тип сигналов (радиочастотные (RF) сигналы) передается и излучается в микроволновую UWB-антенну для передачи в мультистатической решетчатой антенне 1008. Рассеянные микроволновые сигналы принимаются посредством UWB-антенны для приема в мультистатической решетчатой антенне 1008 и передаются в детекторную RF-схему (детекторную RF-волновую плату 1007). Здесь, сигналы передачи/приема проходят через избирательный коммутатор антенных элементов (RF-коммутатор 1004 UWB-антенн).

[0504] Задержанные сигналы (LO-сигналы) задерживаются на количество времени, соответствующее  $1/2^n$ , умноженному на временную длительность, за которую значения PN-кодов изменяются, где  $n$  является целым числом, большим 2. Обнаруженные сигналы подвергаются аналого-цифровому преобразованию и сохраняются в качестве промежуточных частотных (IF) сигналов посредством модуля 1005 вычисления для обработки сигналов. Кроме того, информация, указывающая обнаруженные сигналы, может отображаться на устройстве 1006 мониторинга сигналов.

[0505] Временная синхронизация этих последовательностей операций управляется посредством микропроцессора в цифровой управляющей плате 1003 таким образом, чтобы синхронизироваться с сигналами, принимаемыми из дальногомера 1001 (сигналами расстояния или сигналами свободного хода). Например, микропроцессор в цифровой управляющей плате 1003 может передавать, например, коммутирующий селекторный сигнал и триггер развертки с использованием PN-кода.

[0506] Кроме того, модуль 1005 вычисления для обработки сигналов выполняет трехмерное воссоздание посредством использования сигналов, которые подвергаются аналого-цифровому преобразованию и сохраняются, с тем чтобы отображать трехмерное изображение. Модуль 1005 вычисления для обработки сигналов также может выполнять калибровку сигналов. Модуль 1005 вычисления для обработки сигналов также может отображать необработанные формы сигналов. Кроме того, например, модуль 1005 вычисления для обработки сигналов может сохранять трехмерные изображения или другие данные в запоминающем устройстве 1009.

[0507] Конфигурация, показанная на фиг. 16, представляет собой просто пример, и конфигурация устройства 100 формирования изображений не ограничена конфигурацией, показанной на фиг. 16. Часть конфигурации, показанной на фиг. 16, может опускаться или может модифицироваться.

[0508] *Дополнительные замечания*

Хотя некоторые аспекты устройства формирования изображений описываются до выше со ссылкой на вариант осуществления, режимы устройства формирования изображений не ограничены этим вариантом осуществления. Любая модификация, допустимая специалистами в данной области техники, может вноситься в вариант осуществления, и множество составляющих элементов согласно варианту осуществления могут комбинироваться произвольно. Например, обработка, которая выполняется посредством конкретного составляющего элемента согласно варианту осуществления, может выполняться посредством другого составляющего элемента, вместо конкретного составляющего элемента. Кроме того, последовательность множества процессов может изменяться, или множество процессов могут выполняться параллельно.

[0509] Способ формирования изображений, включающий в себя этапы, выполняемые посредством каждого составляющего элемента устройства формирования изображений, может осуществляться посредством любого произвольного устройства или системы. Например, часть или весь способ формирования изображений может осуществляться посредством компьютера, который включает в себя, например, процессор, запоминающее устройство и схему ввода-вывода. В это время, программа для инструктирования компьютеру осуществлять способ формирования изображений может выполняться посредством компьютера, с тем чтобы осуществлять способ формирования изображений.

[0510] Вышеописанная программа может записываться на энергонезависимом машиночитаемом носителе записи.

[0511] Каждый составляющий элемент устройства формирования изображений может быть сконфигурирован посредством специализированных аппаратных средств или посредством аппаратных средств общего назначения, которые выполняют вышеописанную программу и т.п., либо может быть сконфигурирован посредством комбинации означенного. Аппаратные средства общего назначения могут быть сконфигурированы, например, посредством запоминающего устройства, которое записывает программу, и процессора общего назначения, который считывает и выполняет программу из запоминающего устройства. Запоминающее устройство, при использовании в данном документе, например, может представлять собой полупроводниковое запоминающее устройство или жесткий диск, и процессор общего назначения, например, может представлять собой CPU.

[0512] Специализированные аппаратные средства могут быть сконфигурированы, например, посредством запоминающего устройства и специализированного процессора. Например, специализированный процессор может осуществлять способ формирования

изображений, описанный выше со ссылкой на запоминающее устройство для записи данных измерений.

[0513] Каждый составляющий элемент устройства формирования изображений может представлять собой электрическую схему. Эти электрические схемы могут быть сконфигурированы как одна электрическая схема в целом, либо каждая из них может представлять собой различную электрическую схему. Эти электрические схемы могут соответствовать специализированным аппаратным средствам или аппаратным средствам общего назначения, которые выполняют вышеописанную программу и т.п.

*Промышленная применимость*

[0514] Один аспект настоящего раскрытия сущности является полезным в устройстве формирования изображений для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн, и является применимым, например, к геофизическим исследованиям или медицинской диагностике.

*Список номеров ссылок*

[0515] 100 - устройство формирования изображений

101 - ряд передатчиков

102 - ряд приемников

103 - схема обработки информации

104 - дисплей

111 - передатчик

112 - приемник

1001 - дальномер

1002 - FPGA-плата для формирования PN-кодов

1003 - цифровая управляющая плата

1004 - RF-коммутатор UWB-антенн

1005 - модуль вычисления для обработки сигналов

1006 - устройство мониторинга сигналов

1007 - детекторная RF-волновая плата

1008 - мультистатическая решетчатая антенна

1009 - запоминающее устройство

**ИЗМЕНЕННОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**  
**УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И СПОСОБ**  
**ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Область техники, к которой относится изобретение

[0001] Настоящее раскрытие сущности относится к устройству формирования изображений и т.п. для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн.

Уровень техники

[0002] В качестве технологий, связанных с устройством формирования изображений и т.п. для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн, предусмотрены технологии, описанные в патентных документах (PTL) 1-5.

[0003] Например, согласно технологии, описанной в PTL 1, пучки, отправленные из микроволнового отправляющего устройства, падают на объект, который должен проверяться, и амплитуды и фазы рассеянных пучков обнаруживаются посредством микроволнового детектора. Затем распределение диэлектрических постоянных вычисляется из выходных сигналов, выводимых из микроволнового детектора, чтобы отображать томограмму объекта, который должен проверяться.

Список библиографических ссылок

*Патентные документы*

[0004] PTL 1. Публикация не прошедшей экспертизу заявки на патент (Япония) номер S62-66145

PTL 2. Международная публикация номер WO2014/125815

PTL 3. Международная публикация номер WO2015/136936

PTL 4. Международная публикация номер WO2021/020387

PTL 5. Международная публикация номер WO2021/053971

Сущность изобретения

*Техническая задача*

[0005] Тем не менее, непросто формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн. В частности, получение данных относительно рассеянных волн, излучаемых из зоны, в отношении волн, которые падают на зону, когда условие в зоне известно, называется "прямой проблемой" и является простым. С другой стороны, получение условия в зоне, когда данные по рассеянным волнам известны, называется "обратной проблемой" и не является простым.

[0006] Кроме того, множество данных измерений получается в зависимости, например, от различных компоновок передающих элементов и приемных элементов. Предположительно это увеличивает пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя. С другой стороны, различные компоновки передающих элементов и приемных элементов усложняют вычислительную обработку и



увеличивают задержки при обработке. Таким образом, затруднительно увеличивать пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя.

[0007] С учетом этого, настоящее раскрытие сущности предоставляет устройство формирования изображений и т.п., которое допускает формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличение пространственного разрешения для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

#### *Решение задачи*

[0008] Устройство формирования изображений согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности включает в себя ряд передатчиков, включающих в себя множество передатчиков, которые выстраиваются по прямой линии и которые передают волну в зону, которая должна измеряться, ряд приемников, включающих в себя множество приемников и предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, причем множество приемников выстраиваются по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выстраивается множество передатчиков, и принимают волну из зоны, и схему обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выстраивается множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выстраивается множество приемников.

[0009] Следует отметить, что всесторонние или конкретные аспекты могут реализовываться как системы, устройства, способы, интегральные схемы, компьютерные программы или энергонезависимые носители, такие как машиночитаемые CD-ROM, либо могут реализовываться как любая комбинация систем, устройств, способов, интегральных схем, компьютерных программ и носителей записи.

#### *Преимущества изобретения*

[0010] Согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности, появляется возможность формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличивать пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

#### *Краткое описание чертежей*

[0011] Фиг. 1 является схемой, показывающей мультистатические антенны согласно справочному примеру.

Фиг. 2 является схемой, показывающей пример S-решетчатой мультистатической антенны согласно варианту осуществления.

Фиг. 3 является схемой, показывающей пример координат, связанных с S-решеткой согласно варианту осуществления.

Фиг. 4 является наружным чертежом S-решетки согласно варианту осуществления.

Фиг. 5 является концептуальной схемой, показывающей одномерную мультистатическую решетчатую антенну.

Фиг. 6 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема.

Фиг. 7 является концептуальной схемой, показывающей координаты точки передачи и точки приема.

Фиг. 8 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема в случае прямого рассеяния.

Фиг. 9 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на плоскости.

Фиг. 10 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на искривленной плоскости.

Фиг. 11 является схемой, показывающей многорядную линейную решетчатую антенну.

Фиг. 12 является концептуальной схемой, показывающей комбинации позиций передачи и позиции приема мультистатической решетчатой антенны.

Фиг. 13 является схемой, показывающей полудвумерную решетчатую антенну на искривленной плоскости.

Фиг. 14 является блок-схемой, показывающей базовую конфигурацию устройства формирования изображений согласно варианту осуществления.

Фиг. 15 является блок-схемой последовательности операций способа, показывающей базовые операции устройства формирования изображений согласно варианту осуществления.

Фиг. 16 является блок-схемой, показывающей конкретную конфигурацию устройства формирования изображений согласно варианту осуществления.

Подробное описание вариантов осуществления

[0012] Устройство формирования изображений согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности включает в себя ряд передатчиков, включающих в себя множество передатчиков, которые выстраиваются по прямой линии и которые передают волну в зону, которая должна измеряться, ряд приемников, включающих в себя множество приемников и предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, причем множество приемников выстраивается по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выстраивается множество передатчиков, и принимают волну из зоны, и схему обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования

изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравнивается множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравнивается множество приемников.

[0013] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений получать достаточно информации в качестве данных измерений в соответствии с различными комбинациями множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников. Поскольку имеется разнесение между рядом передатчиков и рядом приемников, устройство формирования изображений допускает соответствующую передачу волны в зону и соответствующий прием волны из зоны. Затем устройство формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя посредством использования функции формирования изображений, извлекаемой в соответствии с данными измерений относительно волны и расстоянием между рядом передатчиков и рядом приемников.

[0014] Кроме того, поскольку передатчики и приемники ограничены размещением на двух прямых линиях, устройство формирования изображений допускает упрощение вычислительной обработки по сравнению со случаем, в котором передатчики и приемники размещаются произвольно. Соответственно, устройство формирования изображений допускает недопущение усложнения вычислительной обработки. Таким образом, устройство формирования изображений допускает формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличение пространственного разрешения для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

[0015] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 1

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 2

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0016] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, заданную при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема имеют идентичную координату  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Следовательно, устройство формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль границы плоскости зоны, посредством использования множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников.

[0017] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, и уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 3

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

где  $\Delta_5$  задается следующим образом:

Математическое выражение 4

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

где  $c$  представляет скорость распространения волны, и  $t$  представляет временную длительность от передачи волны до приема волны.

[0018] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0019] Например, функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 5

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0020] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений в соответствии с операцией ограничения для функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0021] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 6

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} e^{s_3x_2} e^{s_4z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 7

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

где  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 8

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0022] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0023] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 9

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 10

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 11

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 12

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0024] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции

формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0025] Например, устройство формирования изображений может включать в себя множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков, множество рядов приемников в качестве ряда приемников либо множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда передатчиков и ряда приемников.

[0026] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений получать достаточно информации в качестве данных измерений в соответствии с множеством комбинаций рядов передатчиков и рядов приемников. Это также обеспечивает возможность устройству формирования изображений конструировать мультистатическую взаимосвязь двух направлений, которые являются, соответственно, параллельными и ортогональными к ряду(ам) передатчиков и ряду(ам) приемников. Соответственно, устройство формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0027] Например, для одного ряда передатчиков и  $n$  рядов приемников, которые включаются в качестве ряда передатчиков и ряда приемников в устройство формирования изображений, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 13

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 - x \\ y_2 \rightarrow y_1 - y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_y y + k_z z)} e^{s_4 z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_y y + k_z z)} e^{i k_z z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 14

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 15

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d_j$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 16

$$\check{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0028] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции формирования изображений. В частности, устройство формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством выполнения линейного суммирования, соответствующего расстоянию между рядом передатчиков и рядом приемников, для данных измерений, полученных в соответствии с множеством комбинаций рядов передатчиков и рядов приемников.

[0029] Например, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 17



$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 18

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(\alpha + b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 19

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 20

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0030] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникать в зависимости от частоты волны.

[0031] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 21

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 22

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z_1)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z_2)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0032] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, которая задается при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема могут иметь различные координаты  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль тангенциальной плоскости зоны, имеющей искривленную границу, посредством использования множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников.

[0033] Например, схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, и уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 23

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = 0$$

где  $\Delta_6$  задается следующим образом:

Математическое выражение 24

$$\Delta_6 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

[0034] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0035] Например, функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 25

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0036] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений посредством использования функции распределения поля рассеяния, которая принимает ввод позиции, которая должна подвергаться формированию изображений. Соответственно, устройство формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0037] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 26

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 - k_y y_1 - k_z z_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_J)} e^{-s_3 z_I} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{z_2} \end{aligned}$$

где  $k_x, s_3, s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 27

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}
\end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_I, z_I)$ .

[0038] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0039] Например, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 28

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 - k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 29

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_J+d, y_J, z_J)$ .

[0040] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0041] Например, схема обработки информации извлекает функцию формирования изображений посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют множеству комбинаций, связанных с рядом передатчиков и рядом приемников, и каждая из множества функций распределения поля рассеяния соответствует функции распределения поля рассеяния и выражается следующим образом:

Математическое выражение 30

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 31

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

[0042] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые отражают данные измерений относительно волны и расстояние между рядом передатчиков и рядом приемников.

[0043] Например, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 32

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 33

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$

представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 34

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0044] Это обеспечивает возможность устройству формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникать в зависимости от частоты волны.

[0045] Способ формирования изображений согласно одному аспекту настоящего раскрытия сущности включает в себя инструктирование множеству передатчиков, включенных в ряд передатчиков и выравненных по прямой линии, передавать волну в зону, которая должна измеряться, инструктирование множеству приемников, включенных в ряд приемников, предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, принимать волну из зоны, причем множество приемников выравняется по другой прямой линии, которая является параллельной с прямой линией, вдоль которой выравняется множество передатчиков, и извлечение функции формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использование функции формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравняется множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравняется множество приемников.

[0046] Этот способ обеспечивает получение достаточного количества информации в качестве данных измерений в соответствии с различными комбинациями множества передатчиков в ряду передатчиков и множества приемников в ряду приемников. Поскольку имеется разнесение между рядом передатчиков и рядом приемников, можно надлежащим образом передавать волну в зону и надлежащим образом принимать волну из зоны. После этого можно надлежащим образом формировать изображение структуры рассеивателя посредством использования функции формирования изображений, которая извлекается в соответствии с данными измерений относительно волны и расстоянием между рядом передатчиков и рядом приемников.

[0047] Кроме того, поскольку передатчики и приемники ограничены размещением на двух прямых линиях, можно упрощать вычислительную обработку по сравнению со случаем, в котором передатчики и приемники размещаются произвольно. Соответственно, появляется возможность не допускать усложнения вычислительной обработки. Таким образом, можно формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект,



который присутствует в зоне, посредством использования волны, и увеличивать пространственное разрешение для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

[0048] В дальнейшем в этом документе, описывается вариант осуществления со ссылкой на чертежи. Следует отметить, что вариант осуществления, описанный ниже, иллюстрирует один обобщенный или конкретный пример. Числовые значения, формы, материалы, составляющие элементы, позиции в компоновке составляющих элементов, форма соединения составляющих элементов, этапов, последовательность этапов и т.д. в нижеприведенном варианте осуществления представляют собой просто один пример и не имеют намерение ограничивать объем настоящего раскрытия сущности.

[0049] В нижеприведенном описании, в частности, технологии и т.п., описанные в PTL 2-5, приведенных выше, могут упоминаться в качестве существующих технологий. Хотя радиоволны, такие как микроволны, главным образом предполагаются в качестве волн в нижеприведенном описании, волны не ограничены радиоволнами, такими как микроволны. Формирование изображений на основе рассеяния может выражаться как рассеивающая томография. Таким образом, устройство формирования изображений и способ формирования изображений, заданные в нижеприведенном описании, также могут выражаться как рассеивающее томографическое устройство и рассеивающий томографический способ, соответственно

[0050] *Вариант осуществления*

Устройство формирования изображений согласно настоящему варианту осуществления формирует изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волны. В дальнейшем в этом документе, подробно описывается устройство формирования изображений согласно настоящему варианту осуществления, включающее в себя технологии и теории, служащие в качестве основы для устройства формирования изображений.

[0051] *I. Общее представление*

Настоящее раскрытие сущности описывает технологию формирования микроволновых изображений на основе теории суперрешетчатого (S-решетчатого) поля рассеяния.

[0052] Фиг. 1 является схемой, показывающей мультистатические (MS) антенны согласно справочному примеру. Каждая мультистатическая антенна включает в себя множество передающих антенных элементов T и множество приемных антенных элементов R, которые размещаются попеременно в ряд. Передающие антенные элементы T и приемные антенные элементы R также могут называться просто "передающими элементами" и "приемными элементами", соответственно.

[0053] Каждый антенный элемент имеет размер в половину длины волны ( $\lambda/2$ ). Таким образом, разрешение в направлении по оси Y составляет половину длины волны ( $\lambda/2$ ). Это не удовлетворяет критерию дискретизации Найквиста, и в силу этого возникает явление, называемое "наложением спектров". Таким образом, есть возможность сдвигать

антенную решетку на  $\lambda/4$  в направлении по оси  $Y$  и сканировать антенную решетку в направлении по оси  $X$ . Альтернативно, также есть возможность использовать способ для связывания двух независимых систем решетчатой антенны в пакет с начала и сканирования этих решетчатых антенных систем вместе.

[0054] Тем не менее, решетчатая антенна этого типа может получать только очень небольшое число данных относительно своей длины в направлении по оси  $Y$ .

[0055] Например, число элементов данных, полученных посредством мультистатических антенн, показанных на фиг. 1, составляет в сумме 18 пар данных, в том числе каждые девять пар, полученных в каждой из позиций I и II мультистатических антенн. Кроме того, число данных, которые могут получаться, когда электромагнитно наведенное связывание исключается между каждой смежной парой передающих и приемных элементов, составляет в сумме только восемь пар данных, в том числе каждые четыре пары, полученные в каждой из позиций I и II. Даже в любой возможной компоновке антенных элементов, затруднительно реализовывать одну решетчатую антенную систему, которая удовлетворяет теореме дискретизации Найквиста.

[0056] Фиг. 2 является схемой, показывающей пример S-решетчатой мультистатической антенны согласно настоящему варианту осуществления. S-решетчатая мультистатическая антенна может называться просто "S-решеткой". В этом примере, S-решетчатая мультистатическая решетчатая антенна включает в себя два ряда решетчатых антенн, включающих в себя передающую решетчатую антенну TA и приемную решетчатую антенну RA. S-решетчатая мультистатическая решетчатая антенна допускает получение 36 пар данных во время передачи и приема.

[0057] Тем не менее, к настоящему моменту на практике отсутствуют технологии анализа на основе обратного рассеяния для получения корректного видео целевого объекта из вышеуказанных данных. Конструирование теории для надлежащего объединения фаз на основе расстояния между передающими и приемными решетчатыми антеннами является чрезвычайно сложной задачей.

[0058] Теория S-решетчатого поля рассеяния согласно настоящему раскрытию сущности разрешает эту сложность и реализует виртуальную S-решетку высокой плотности, которая удовлетворяет критерию дискретизации Найквиста, как показано в нижней секции на фиг. 2. Таким образом, согласно теории S-решетчатого поля рассеяния, два ряда решетчатых антенн, включающих в себя передающую решетчатую антенну TA и приемную решетчатую антенну RA, теоретически преобразуются в один ряд передающих и приемных решетчатых антенн. Соответственно, разрешение в  $\lambda/4$  достигается в направлении по оси  $Y$ . Кроме того, произвольное разрешение достигается в направлении по оси  $X$  посредством сканирования в направлении по оси  $X$ .

[0059] Теория S-решетчатого поля рассеяния согласно настоящему раскрытию сущности решительно отличается в следующем аспекте от существующих теорий поля рассеяния, связанных с двумерными решетчатыми антеннами.

[0060] Согласно существующему способу, двумерная решетчатая антенна

сканируется в направлении по оси  $X$ , чтобы удовлетворять условиям дискретизации. В этом случае, размерность кратного интеграла в алгоритме обратного анализа для рассеяния составляет на одну размерность выше размерности кратного интеграла в  $S$ -решетке. Таким образом, требуемое время анализа становится  $n$  раз или более, где  $n$  является числом выборок в направлении по оси  $X$  и составляет в диапазоне, например, 128-256. Следовательно, затруднительно вводить существующие способы анализа поля рассеяния, связанные с двумерными решетчатыми антеннами, в практическое применение через возможности существующих модулей вычисления.

[0061] Например, согласно существующему способу, связанному с двумя размерностями, сигнал передается из произвольного элемента в двумерной планарной сеточной решетчатой антенне и принимается посредством другого произвольного элемента в двумерной решетчатой антенне. Соответственно, получаются  $n^4$  наборов данных, где  $n$  является числом элементов на одной стороне тетрагональной решетчатой сетки. Каждый набор данных представляет собой данные временных рядов с полосой пропускания в 10 ГГц или выше. Алгоритм использования таких двумерных мультистатических данных для того, чтобы переконфигурировать видео целевого объекта, уже оправдан посредством теории воссоздания.

[0062] Тем не менее, как описано выше, формирование изображений с использованием двумерной решетчатой антенны не всегда является реалистичным вследствие сложности устройств и трудности при достижении допустимого разрешения. Также возникают сложности с точки зрения разрешения при условии, что сканирование не выполняется в направлении по оси  $X$ . Напротив, теория  $S$ -решетчатого поля рассеяния значительно детализируется, как описано ниже, и является чрезвычайно высокорезолюционной, поскольку алгоритм обратного анализа для рассеяния также получается посредством небольшой модификации существующего одномерного алгоритма.

[0063] Фиг. 3 является схемой, показывающей пример координат в  $S$ -решетке согласно настоящему варианту осуществления.  $S$ -решетка представляет собой полудвумерную решетчатую антенну, сконфигурированную посредством двух линейных решетчатых антенн, включающих в себя однорядную передающую решетчатую антенну  $TA$  и однорядную приемную решетчатую антенну  $RA$ , как показано на фиг. 3.

[0064] В частности, передающая решетчатая антенна  $TA$  включает в себя  $n$  передающих антенных элементов  $T$ . Приемная решетчатая антенна  $RA$  включает в себя  $n$  приемных антенных элементов  $R$ . Координата  $X$  передающей решетчатой антенны  $TA$  выражается как  $x_1$ , координата  $X$  приемной решетчатой антенны  $RA$  выражается как  $x_2$ , и расстояние в направлении по оси  $X$  между передающей решетчатой антенной  $TA$  и приемной решетчатой антенной  $RA$  выражается как  $d$ . Эта конфигурация допускает получение  $n^2$  наборов данных временных рядов, причем каждый из них представляет собой произвольную комбинацию  $n$  передающих элементов и  $n$  приемных элементов в каждой точке  $x$  в направлении сканирования.

[0065] Фиг. 4 является наружным чертежом S-решетки согласно настоящему варианту осуществления. Передающая решетчатая антенна ТА, которая включает в себя передающие антенные элементы Т, и приемная решетчатая антенна РА, которая включает в себя приемные антенные элементы R, сконфигурированы на большом расстоянии друг от друга. Таким образом, передающие антенные элементы Т и приемные антенные элементы R размещаются в двух полуразмерностях.

[0066] Если теория воссоздания для существующих двумерных решетчатых антенн применяется к этой компоновке полудвумерных решетчатых антенн, значительное количество времени требуется, поскольку размерность становится на одну размерность выше. Таким образом, коммерциализация по-прежнему является трудной. Предусматривается способ вычисления с превосходной эффективностью, такой как воссоздание с использованием аналитического решения в случае линейной решетчатой антенны, в которой множество передающих антенных элементов Т и множество приемных антенных элементов R размещаются в одном ряду. Такой высокоэффективный способ вычислений является эффективным для коммерциализации полудвумерной решетчатой антенны.

[0067] Неожиданно, авторы изобретения настоящего раскрытия сущности только недавно выявили аналитическое решение для воссоздания в случае полудвумерной решетки. Таким образом, выявлен способ, выступающий в качестве моста между теорией для одномерных решеток и теорией для двумерных решеток, и воссоздающее уравнение, используемое в случае полудвумерных решеток, получено аналитически. Эта теория (теория S-решетчатого поля рассеяния) обеспечивает конструирование практической теории обратного рассеяния в случае линейной антенны, которая включает в себя пространственно разделенные передающие и приемные решетчатые антенны ТА и РА. В дальнейшем в этом документе подробно описывается контент этой теории и применение теории.

[0068] *II. Подготовка из существующей теории*

*II-1. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к одномерной решетке около границы плоскости*

Способ, используемый для того, чтобы формировать изображение целевого объекта посредством устройства формирования изображений с использованием одномерной решетчатой антенны, является чрезвычайно простым и служит просто для того, чтобы решать волновое уравнение, заданное посредством нижеприведенного выражения (2-1-1).

[0069] Математическое выражение 35

$$\begin{aligned}
 (\Delta + k^2)\varphi &= 0 \\
 \Delta &= \partial_x^2 + \partial_y^2 + \partial_z^2 \\
 &\dots (2-1-1)
 \end{aligned}$$

[0070] Здесь:

Математическое выражение 36

$\varphi$

представляет неизвестную функцию,  $k$  представляет волновое число,  $\Delta$  представляет оператор Лапласа, и  $\partial$  представляет частный дифференциал каждой переменной с суффиксом.

[0071] Этот способ называется "моностатическим". Согласно этому способу, парные элементы, каждый из которых получается посредством интегрирования передающего элемента и приемного элемента, размещаются вдоль оси  $Y$ . Если имеются  $n$  парных элементов для передачи и приема, могут получаться  $n$  наборов данных. Тем не менее, точность, полученная посредством этого способа, по существу, в два раза больше размера каждого антенного элемента для передачи и приема. Следовательно, затруднительно получать изображение высокого разрешения.

[0072] Фиг. 5 является концептуальной схемой, показывающей одномерную мультистатическую решетчатую антенну. В случае если произвольные два элемента выбираются в качестве передающего элемента и приемного элемента из числа  $n$  элементов, как показано на фиг. 5, пространственное разрешение становится двукратным. Кроме того, одиночные игры могут приниматься с высоким отношением "сигнал-шум" в диапазоне расстояний от небольшого расстояния до большого расстояния. Это значительно повышает качество окончательного изображения. Исходя из того, что, как и следовало ожидать, объем данных увеличивается до  $n$  раз, время, требуемое для воссоздания, также сокращается резко согласно теории, описанной ниже.

[0073] Здесь, анализируется ситуация, в которой радиоволна, излучаемая из точки  $P_1(x, y_1, z)$ , отражается в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и принимается в точке  $P_2(x, y_2, z)$ , как показано на фиг. 5. В случае если точка  $P$  предположительно перемещается в полной зоне  $D$ , сигнал, принимаемый в точке  $P_2$ , представляется посредством нижеприведенного выражения (2-1-2).

[0074] Математическое выражение 37

$$\varphi(x, y_1, y_2, z) = \iint_D \frac{e^{jk\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{jk\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\dots (2-1-2)$$

[0075] Здесь,  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  представляет функцию диэлектрической постоянной в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и соответствует отражательной способности в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$ . Точка  $P(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует точке отражения. Следует отметить, что  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  является неизвестным. Также предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Функция ядра в члене подынтегрального выражения вышеприведенного уравнения представляется как  $\phi$  в нижеприведенном выражении (2-1-3).

[0076] Математическое выражение 38

$$\phi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2}$$

• • • (2-1-3)

[0077] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-1-3) в качестве асимптотического решения. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/\rho$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается посредством выражения (2-1-4).

[0078] Математическое выражение 39

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \partial_x, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z} \rightarrow \partial_z$$

• • • (2-1-4)

[0079] Здесь, анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-1-3) в качестве асимптотического решения при небольших длинах волны (на высокой частоте или когда  $k$  является большим). Это решение дифференциального уравнения в частных производных может рассматриваться в качестве почти точного решения при формировании изображений с использованием микроволн. Во-первых, результат дифференцирования каждого порядка  $\phi$  представляется посредством нижеприведенного выражения (2-1-5).

[0080] Математическое выражение 40

$$\begin{aligned} \partial_x \phi &= ik(x-\xi) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \phi + o(\rho^{-3}) & \partial_{y_1} \phi &= ik \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_{y_2} \phi &= ik \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \phi + o(\rho^{-3}) & \partial_z \phi &= ik(z-\zeta) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_x \partial_x \phi &= (ik)^2 (x-\xi)^2 \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_z \partial_z \phi &= (ik)^2 (z-\zeta)^2 \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_{y_1} \partial_{y_1} \phi &= (ik)^2 \left( \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \\ \partial_{y_2} \partial_{y_2} \phi &= (ik)^2 \left( \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \right)^2 \phi + o(\rho^{-3}) \end{aligned}$$

• • • (2-1-5)

[0081] В дальнейшем в этом документе, сложный член  $o(*)$  опускается. В соответствии с суммой четырех дифференциальных уравнений второго порядка, получается нижеприведенное выражение (2-1-6).

[0082] Математическое выражение 41

$$\begin{aligned}\Delta_4\phi &= (\partial_x^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2)\phi \\ &= (ik)^2 \left\{ 2 + 2 \frac{(x-\xi)^2 + (z-\zeta)^2}{\rho_1\rho_2} \right\} \phi \\ &\dots (2-1-6)\end{aligned}$$

[0083] Соответственно, нижеприведенное выражение (2-1-7) получается из выражения (2-1-6).

[0084] Математическое выражение 42

$$\begin{aligned}\{\Delta_4 - 2(ik)^2\}\phi &= 2(ik)^2 \frac{\rho_1^2 - (y_1 - \eta)^2}{\rho_1\rho_2} \phi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_2^2 - (y_2 - \eta)^2}{\rho_1\rho_2} \phi \\ &\dots (2-1-7)\end{aligned}$$

[0085] Посредством действия оператора в правой стороне выражения (2-1-7) два раза, получается нижеприведенное выражение (2-1-8).

[0086] Математическое выражение 43

$$\begin{aligned}\{\Delta_4 - 2(ik)^2\}^2\phi &= 4(ik)^4 \frac{\{\rho_1^2 - (y_1 - \eta)^2\}\{\rho_2^2 - (y_2 - \eta)^2\}}{\rho_1^2\rho_2^2} \phi \\ &= 4(ik)^4 \{1 - (ik)^{-2}\partial_{y_1}^2\}\{1 - (ik)^{-2}\partial_{y_2}^2\}\phi \\ &\dots (2-1-8)\end{aligned}$$

[0087] Выражение (2-1-8) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (2-1-9).

[0088] Математическое выражение 44

$$\begin{aligned}\left[\frac{1}{4}\{\Delta_4 - 2(ik)^2\}^2 - \partial_{y_1}^2\partial_{y_2}^2 + (ik)^2(\partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2) - (ik)^4\right]\phi &= 0 \\ &\dots (2-1-9)\end{aligned}$$

[0089] Хотя выражение (2-1-9) извлекается при условии установившегося состояния, нетрудно расширять выражение (2-1-9) на неустановившееся состояние. Таким образом, переменные подставляются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-10), с использованием частного дифференциала  $\partial_t$  относительно времени  $t$  и с использованием скорости с распространения радиоволн.

[0090] Математическое выражение 45

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c}\partial_t$$

$$\dots (2-1-10)$$

[0091] Через процесс, описанный выше, в конечном счете получается уравнение, представленное посредством нижеприведенного выражения (2-1-11).

[0092] Математическое выражение 46

$$\{\Delta_4^2 - \frac{4}{c^2}(\partial_t^2 \partial_x^2 + \partial_t^2 \partial_z^2) - 4\partial_{y_1}^2 \partial_{y_2}^2\} \phi = 0$$

$$\Delta_4 = \partial_x^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

• • • (2 - 1 - 1 1)

[0093] Выражение (2-1-11), описанное выше, представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет  $\phi$  в выражении (2-1-3) в качестве решения. Посредством применения дифференцирования к ядру выражения (2-1-2),

Математическое выражение 47

$\phi$

из выражения (2-1-2) также удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных, описанному выше. Это уравнение представляет собой четырехмерное псевдволновое уравнение, сконфигурированное посредством пяти переменных (t, x, y<sub>1</sub>, y<sub>2</sub>, z).

[0094] Затем, это уравнение решается посредством преобразования Фурье. Сначала,

Математическое выражение 48

$\phi$

подвергается преобразованию Фурье с мультиплексированием относительно t, x, y<sub>1</sub>, y<sub>2</sub>, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-12).

[0095] Математическое выражение 49

$$\tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \phi(x, y_1, y_2, z, t) dx dy_1 dy_2$$

• • • (2 - 1 - 1 2)

[0096] Когда дифференцирование относительно z выражается как D<sub>z</sub>, нижеприведенное выражение (2-1-13) получается из выражений (2-1-11) и (2-1-12).

[0097] Математическое выражение 50

$$\{(D_z^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 + 4k^2(D_z^2 - k_x^2) - 4k_{y_1}^2 k_{y_2}^2\} \tilde{\phi} = 0$$

• • • (2 - 1 - 1 3)

[0098] Здесь, используется взаимосвязь  $\omega = ck$ . Четыре базовых решения этого уравнения выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-14).

[0099] Математическое выражение 51

$$E_1 = e^{i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$E_2 = e^{-i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$E_3 = e^{i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

$$E_4 = e^{-i\{\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z}$$

• • • (2 - 1 - 1 4)

[0100] С учетом таких фактов, что временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , фаза



прибавляется с использованием тракта излучаемых радиоволн, и радиоволны, отражаемые от объекта, отскакивают к измеряемой поверхности (измеряемой плоскости),  $E_1$  представляет собой уникальное значимое решение. Следовательно, получается нижеприведенное выражение (2-1-15).

[0101] Математическое выражение 52

$$\tilde{\varphi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z, k) = a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2) + \sqrt{(k^2 - k_{y_2}^2)^2 - k_x^2}}\}z}$$

• • • (2 - 1 - 1 5)

[0102] Посредством подстановки  $z=0$  в выражение (2-1-15),  $(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-16).

[0103] Математическое выражение 53

$$a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \tilde{\varphi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, 0, k)$$

• • • (2 - 1 - 1 6)

[0104] В конечном счете,

Математическое выражение 54

$\varphi$

получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-17).

[0105] Математическое выражение 55

$$\begin{aligned} \varphi(x, y_1, y_2, z, k) &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ &\quad \cdot e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2) + \sqrt{(k^2 - k_{y_2}^2)^2 - k_x^2}}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

• • • (2 - 1 - 1 7)

[0106] Посредством применения операции ограничения ( $y_2 \rightarrow y_1 = y$ ) к выражению (2-1-17) при условии, что  $k$  и  $z$  являются фиксированными, и интегрирования результата относительно  $k$ , функция формирования изображений получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-1-18).

[0107] Математическое выражение 56

$$\begin{aligned} \phi(x, y, y, z, k) &= \lim_{y_2 \rightarrow y_1 = y} [\phi(x, y, y_2, z, k)] \\ &= \lim_{y_2 \rightarrow y_1 = y} \left[ \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right. \\ &\quad \left. \cdot e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2) + \sqrt{(k^2 - k_{y_2}^2)^2 - k_x^2}}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \right] \\ \rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \phi(x, y, y, z, k) dk \\ &\quad \cdot \cdot \cdot (2 - 1 - 1 8) \end{aligned}$$

[0108] Как описано выше, появляется возможность аналитически разрешать проблему мультистатического обратного рассеяния с одномерной решеткой. Тем не менее, имеется такое существенное ограничение, что передающие элементы и приемные элементы

размещаться в одномерной решетке. Кроме того, возникают аппаратные сложности, такие как требование для предоставления зазора, чтобы не допускать индуктивного связывания между передающими элементами и приемными элементами и неспособности коммутировать роль передачи и приема, когда используется активное симметрирующее устройство. Кроме того, также возникает такая сложность, что время, требуемое для того, чтобы получать данные, становится большим вследствие трудности в параллелизации измерений.

[0109] II-2. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к обратному рассеянию и одномерной решетке около искривленной границы

Далее описывается теория обратного рассеяния для случая, в котором зона имеет искривленную граничную поверхность.

[0110] Фиг. 6 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема. Фиг. 6 показывает ситуацию, в которой волна, излучаемая из точки  $r_1$ , отражается в точке  $\xi(\xi_1, \xi_2, \dots)$  и возвращается в точку  $r_2$ .

[0111] Например, точка  $r_1$  передачи и точка  $r_2$  приема волны свободно и независимо перемещаются в  $x$ -секции  $D$  при удовлетворении определенному ограничению при условии, что угловая частота  $\omega (=2\pi f)$  является постоянной. Если данные, полученные в это время, выражаются как функция  $G(r_1, r_2, \omega)$ , функция  $G(r_1, r_2, \omega)$ , как предполагается, связана с распределением точек отражения в зоне.

[0112] Здесь,  $G(r_1, r_2, \omega)$  представляет собой сумму отраженных сигналов из всех точек  $\xi$ . Поскольку имеется большое число точек отражения в зоне,  $G(r_1, r_2, \omega)$  может представляться посредством нижеприведенного выражения (2-2-1).

[0113] Математическое выражение 57

$$G(r_1, r_2, \omega) = \iiint_D \varphi(r_1 \rightarrow \xi \rightarrow r_2, \omega) d\xi$$

• • • (2 - 2 - 1)

[0114] Здесь:

Математическое выражение 58

$$\varphi(r_1 \rightarrow \xi \rightarrow r_2, \omega)$$

представляет интенсивность сигнала волны, которая поступает из точки  $r_1$  и возвращается в точку  $r_2$  посредством отражения в точке  $\xi$ .

[0115] Ограничение, налагаемое на точку  $r_1$  передачи и точку  $r_2$  приема волны, состоит в том, что точки  $r_1$  и  $r_2$  всегда имеют идентичную координату  $x$ .

[0116] В дальнейшем в этом документе описывается теоретическая структура проблемы обратного рассеяния с использованием функции  $G(r_1, r_2, \omega)$ . Здесь, частичная зона в трехмерном пространстве выражается как  $D$ , и граница частичной зоны выражается как  $\partial D$ . В этом случае, функция  $G(r_1, r_2, \omega)$  становится решением в зоне  $D$  для дифференциального уравнения, заданного посредством нижеприведенного выражения (2-2-2).

[0117] Математическое выражение 59

$$L\left(\frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}_1}, \frac{\partial}{\partial \mathbf{r}_2}\right) \bar{G}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, t) = 0$$

• • • (2 - 2 - 2)

[0118] Здесь:

Математическое выражение 60

$$\bar{G}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, t)$$

представляет функцию, полученную посредством преобразования Фурье функции  $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$  относительно  $\omega$ . Значение  $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$  на границе  $\partial D$  является значением, измеренным посредством приемных элементов. Вышеприведенное уравнение решается при этом граничном условии. Из этого результата,  $\rho(\mathbf{r})$  задается так, как представлено посредством нижеприведенного выражения (2-2-3).

[0119] Математическое выражение 61

$$\rho(\mathbf{r}) = \lim_{t \rightarrow 0} \left[ \text{Tr} \left[ \bar{G}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, t) \right] \right] = \bar{G}(\mathbf{r}, \mathbf{r}, 0)$$

• • • (2 - 2 - 3)

[0120] Здесь,  $\text{Tr}$  представляет трассировочную операцию. Эта  $\rho(\mathbf{r})$  представляет собой функцию, связанную с градиентом диэлектрической постоянной, которая должна получаться в зоне  $D$ . В действительности, затруднительно получить дифференциальный оператор  $L(\partial/\partial t, \partial/\partial \mathbf{r}_1, \partial/\partial \mathbf{r}_2)$  возникающий здесь.

[0121] В дальнейшем в этом документе описывается способ для получения этого дифференциального оператора. На произвольной кривой,  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$  не всегда имеют идентичные координаты  $Y$  и  $Z$ . В частности,  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$ , соответственно, выражаются следующим образом:  $\mathbf{r}_1 = (x, y_1, z_1)$  и  $\mathbf{r}_2 = (x, y_2, z_2)$ . Затем функция  $G$  задается следующим образом.

[0122] Математическое выражение 62

$$G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega) = \iiint_D \varphi(\mathbf{r}_1 \rightarrow \xi \rightarrow \mathbf{r}_2, \omega) d\xi$$

• • • (2 - 2 - 4)

[0123] Далее анализируется уравнение, удовлетворяющееся посредством функции  $G(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \omega)$ . Здесь,  $\omega = ck$ . Кроме того,  $c$  представляет скорость распространения, и  $k$  представляет волновое число. Когда  $\lambda$  представляет длину волны, взаимосвязь  $k = 2\pi/\lambda$  является справедливой.

[0124] Фиг. 7 является концептуальной схемой, показывающей координаты точки передачи и точки приема. На фиг. 7, точка передачи расположена в  $P_1(x, y_1, z_1)$ , и точка приема расположена в  $P_2(x, y_2, z_2)$ . Волна, излучаемая из точки  $P_1$  передачи, отражается в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и достигает точки  $P_2$  приема.

[0125] Например,  $z_1$  и  $z_2$  являются произвольными. Точки измерений, которые соответствуют точке  $P_1$  передачи и точке  $P_2$  приема, переходят к профильной кривой  $S$ . Профильная кривая  $S$  может выражаться посредством  $z=f(y)$ . Таким образом,  $z_1=f(y_1)$  и  $z_2=f(y_2)$  являются справедливыми. Расстояние между  $P_1$  и  $P$  выражается как  $\rho_1$ , и расстояние

между  $P_2$  и  $P$  выражается как  $\rho_2$ .

[0126] В вышеописанном случае, функция  $\phi$ , заданная посредством нижеприведенного выражения (2-2-5), вводится в качестве функции распределения поля рассеяния.

[0127] Математическое выражение 63

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_1-\eta)^2 + (z_1-\zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_2-\eta)^2 + (z_2-\zeta)^2}$$

$$\dots (2-2-5)$$

[0128] Здесь,  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  представляет функцию диэлектрической постоянной в точке  $(\xi, \eta, \zeta)$  и соответствует отражательной способности в точке  $(\xi, \eta, \zeta)$ . Точка  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует точке отражения. Следует отметить, что  $\varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$  является неизвестным. Кроме того,  $k$  представляет волновое число. Предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Функция в члене подынтегрального выражения для выражения (2-2-5), описанного выше, соответствует:

Математическое выражение 64

$\varphi$

в выражении (2-2-1). Таким образом, нижеприведенное выражение (2-2-6) является справедливым.

[0129] Математическое выражение 65

$$\varphi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$$

$$\dots (2-2-6)$$

[0130] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-2-6) в качестве асимптотического решения на высокой частоте. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/\rho$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается как нижеприведенное выражение (2-2-7).

[0131] Математическое выражение 66

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x} \rightarrow \partial_x, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z_1} \rightarrow \partial_{z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2} \rightarrow \partial_{z_2}$$

$$\dots (2-2-7)$$

[0132] В качестве результата вычисления, тот факт, что  $\phi$  удовлетворяет нижеприведенному выражению (2-2-8), извлекается.

[0133] Математическое выражение 67

$$\left[ \frac{1}{4} \Delta_5^2 - (ik)^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2)(\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0$$

• • • (2-2-8)

[0134] Хотя выражение (2-2-8) извлекается при условии установившегося состояния, нетрудно расширять выражение (2-2-8) на неустановившееся состояние. Таким образом, переменные подставляются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-9).

[0135] Математическое выражение 68

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c} \partial_t$$

• • • (2-2-9)

[0136] В конечном счете, получается нижеприведенное выражение (2-2-10).

[0137] Математическое выражение 69

$$\left[ \frac{1}{4} \Delta_5^2 - \frac{1}{c^2} \partial_t^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2)(\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0$$

• • • (2-2-10)

[0138] Затем, решение выражения (2-2-10) анализируется при условии, что временной коэффициент  $\phi$  является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Во-первых, нижеприведенное выражение (2-2-11) получается посредством преобразования Фурье с мультиплексированием  $\phi$  относительно  $t$ ,  $x$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0139] Математическое выражение 70

$$\begin{aligned} & \tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega) \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} dx \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1} y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2} y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, t) dx \end{aligned}$$

• • • (2-2-11)

[0140] Посредством выражения частных дифференциалов относительно  $z_1$  и  $z_2$  в качестве  $D_{z_1}$  и  $D_{z_2}$ , соответственно, получается нижеприведенное выражение (2-2-12).

[0141] Математическое выражение 71

$$\{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 - 4k_x^2 k_x^2 - 4(D_{z_1}^2 - k_{y_1}^2)(D_{z_2}^2 - k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0$$

• • • (2-2-12)

[0142] Далее анализируется решение уравнения, заданного посредством выражения (2-2-12). Тем не менее, имеются две переменные  $z_1$  и  $z_2$ . Таким образом, затруднительно решать уравнение, заданное посредством выражения (2-2-12), если граничные условия не предоставляются для зоны с одномерной степенью свободы в пространстве  $(z_1, z_2)$  относительно фиксированной точки  $(x, y_1, y_2)$  или  $(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$ . Тем не менее, граничные условия, полученные посредством радарного измерения, просто предоставляются в одной точке  $(f(y_1), f(y_2))$  в пространстве  $(z_1, z_2)$ .

[0143] Чтобы разрешать эту проблему, используется согласованность между теорией, используемой в случае, если  $z_1=z$  и  $z_2=z$ , и теорией, описанной в этой главе. Таким образом, решение, извлекаемое из теории, описанной в этой главе, в котором  $z_1$  и  $z_2$  являются независимыми, включает в себя решение, извлекаемое в частном случае, где  $z_1=z$  и  $z_2=z$ . С учетом этого, во-первых, решение выражения (2-2-12) предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-13).

[0144] Математическое выражение 72

$$E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(is_2 z_2) \\ \dots (2-2-13)$$

[0145] Когда  $z_1=z_2=z$ , получается нижеприведенное выражение (2-2-14).

[0146] Математическое выражение 73

$$E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp\{j(s_1 + s_2)z\} \\ \dots (2-2-14)$$

[0147] Посредством подстановки выражения (2-2-14) в выражение (2-2-12), получается нижеприведенное выражение (2-2-15).

[0148] Математическое выражение 74

$$(s_1^2 + s_2^2 + k_x^2 + k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)^2 - 4k_x^2 k_{y_1}^2 - 4(s_1^2 + k_{y_1}^2)(s_2^2 + k_{y_2}^2) = 0 \\ \dots (2-2-15)$$

[0149] Дополнительно используется другое уравнение. В частности, нижеприведенное выражение (ниже 2-2-16) получается из выражения (2-1-15) в предыдущей главе в соответствии с согласованностью, описанной выше.

[0150] Математическое выражение 75

$$s_1 + s_2 = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\ \dots (2-2-16)$$

[0151] Из выражений (2-2-15) и (2-2-16),  $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  и  $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  определяются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-17).

[0152] Математическое выражение 76

$$s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ \dots (2-2-17)$$

[0153] С использованием  $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$  и  $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ , описанных выше, решение уравнения, заданного посредством выражения (2-2-10), извлекается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-2-18).

[0154] Математическое выражение 77

$$\begin{aligned} & \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} a(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) \\ & \quad \cdot e^{i\delta_1(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) z_1} e^{i\delta_2(k_x, k_{y1}, k_{y2}, k) z_2} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (2-2-18) \end{aligned}$$

[0155] II-3. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к прямому рассеянию и одномерной решетке около границы плоскости

Фиг. 8 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема во время прямого рассеяния. Прямое рассеяние отличается от обратного рассеяния (II-2) в том, что координаты  $Z$  всех рассеянных точек включаются между координатами  $Z$  точки  $\Gamma_1$  передачи и точки  $\Gamma_2$  приема. Данные рассеяния измеряются в качестве результата свободного перемещения точек  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  по  $\partial D_1$  и  $\partial D_2$ , соответственно, при таком ограничении, что  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  должны быть расположены в идентичной координате  $X$ . Функция распределения поля рассеяния согласно этой системе задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-1).

[0156] Математическое выражение 78

$$\begin{aligned} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, \omega) &= \iint_D \frac{e^{ik_A} e^{-ik\rho_2}}{\rho_1 \rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta \\ \rho_1 &= \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_1-\eta)^2 + (z_1-\zeta)^2} \\ \rho_2 &= \sqrt{(x-\xi)^2 + (y_2-\eta)^2 + (z_2-\zeta)^2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (2-3-1) \end{aligned}$$

[0157] Это выражение отличается от выражения (2-2-5), используемого в примере обратного рассеяния, тем, что фазовый коэффициент  $\exp(-ik\rho_2)/\rho_2$  под знаком интеграла является отрицательным. Тем не менее, функция распределения поля рассеяния удовлетворяет дифференциальному уравнению в частных производных, заданному посредством нижеприведенного выражения (2-3-2), которое является идентичным выражению (2-2-10), используемому в примере обратного рассеяния.

[0158] Математическое выражение 79

$$\begin{aligned} \left[ \frac{1}{4} \Delta_3^2 - \frac{1}{c^2} \partial_t^2 \partial_x^2 - (\partial_{y_1}^2 + \partial_{z_1}^2) (\partial_{y_2}^2 + \partial_{z_2}^2) \right] \phi = 0 \\ \cdot \cdot \cdot (2-3-2) \end{aligned}$$

[0159] Затем, решение выражения (2-3-2) анализируется при условии, что временной коэффициент  $\phi$  является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Во-первых, следующее выражение получается посредством преобразования Фурье с мультиплексированием  $\phi$  относительно  $t$ ,  $x$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0160] Математическое выражение 80

$$\begin{aligned} & \tilde{\phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1}y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2}y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_x x} \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, t) dx \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-3) \end{aligned}$$

[0161] Посредством выражения частных дифференциалов относительно  $z_1$  и  $z_2$  в качестве  $D_{z_1}$  и  $D_{z_2}$ , соответственно, получается нижеприведенное выражение (2-3-4).

[0162] Математическое выражение 81

$$\begin{aligned} & \{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_x^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 - 4k^2 k_x^2 - 4(D_{z_1}^2 - k_{y_1}^2)(D_{z_2}^2 - k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0 \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-4) \end{aligned}$$

[0163] Далее анализируется решение уравнения, заданного посредством выражения (2-3-4). Тем не менее, имеются две переменные  $z_1$  и  $z_2$ . Чтобы разрешать эту проблему, используется согласованность между теорией, используемой в случае, если  $z_1=z$  и  $z_2=z$ , и теорией, описанной в этой главе. Таким образом, решение, извлекаемое из теории, описанной в этой главе, в котором  $z_1$  и  $z_2$  являются независимыми, включает в себя решение, извлекаемое в частном случае, где  $z_1=z$  и  $z_2=z$ . С учетом этого, во-первых, решение выражения (2-3-4) предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-5).

[0164] Математическое выражение 82

$$\begin{aligned} & E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(-is_2 z_2) \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-5) \end{aligned}$$

[0165] Нижеприведенное выражение (2-3-6) получается из выражения (2-3-4).

[0166] Математическое выражение 83

$$\begin{aligned} & (s_1^2 + s_2^2 + k_x^2 + k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2)^2 - 4k^2 k_x^2 - 4(s_1^2 + k_{y_1}^2)(s_2^2 + k_{y_2}^2) = 0 \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-6) \end{aligned}$$

[0167] Когда  $z_1=z_2=z$ , выражение (2-3-5) выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-7).

[0168] Математическое выражение 84

$$\begin{aligned} & E(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp\{i(s_1 - s_2)z\} \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-7) \end{aligned}$$

[0169] Затем нижеприведенное выражение (2-3-8) получается идентично выражению (2-2-16).

[0170] Математическое выражение 85

$$\begin{aligned} & s_1 - s_2 = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\ & \cdot \cdot \cdot (2-3-8) \end{aligned}$$

[0171] Из выражений (2-3-6) и (2-3-8),  $s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  и  $s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2})$  определяются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-9).



[0172] Математическое выражение 86

$$s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (2 - 3 - 9)

[0173] Соответственно, функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-10).

[0174] Математическое выражение 87

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$\cdot e^{is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_1} e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_2} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 3 - 1 0)

[0175] Затем, координата  $Z \partial D_1$  задается как  $z=0$ , и координата  $Z \partial D_2$  задается как  $z=h$ . Когда данные рассеяния, измеренные из граничной поверхности, выражаются как  $\Phi(x, y_1, y_2, k)$ , нижеприведенное выражение (2-3-11) является справедливым.

[0176] Математическое выражение 88

$$\Phi(x, y_1, y_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 - k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$\cdot e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)h} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (2 - 3 - 1 1)

[0177] Затем нижеприведенное выражение (2-3-12) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (2-3-11) относительно  $(x, y_1, y_2)$ .

[0178] Математическое выражение 89

$$\iiint e^{ik'_x x + ik'_{y_1} y_1 + ik'_{y_2} y_2} \Phi(x, y_1, y_2, k) dx dy_1 dy_2$$

$$= \iiint e^{ik'_x x + ik'_{y_1} y_1 + ik'_{y_2} y_2}$$

$$\cdot \left\{ \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{-is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)h} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \right\}$$

$$\cdot dx dy_1 dy_2$$

$$= a(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k) e^{-is_2(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k)h}$$

• • • (2 - 3 - 1 2)

[0179] Из выражения (2-3-12), описанного выше, функция  $a$  получается так, как

задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-13).

[0180] Математическое выражение 90

$$\alpha(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = e^{is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)h} \Phi(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ \cdot \cdot \cdot (2-3-13)$$

[0181] Посредством подстановки выражения (2-3-13), описанного выше, в выражение (2-3-10), функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-3-14).

[0182] Математическое выражение 91

$$\phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \Phi(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ \cdot e^{is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_1} e^{is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)(h-z_2)} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \cdot \cdot \cdot (2-3-14)$$

[0183] II-4. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к двумерной решетке около границы плоскости

Во-первых, в дальнейшем описывается теория для случая существующей двумерной решетки.

[0184] Фиг. 9 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на плоскости. Как показано на фиг. 9, микроволны, излучаемые из точки  $P_1$ , отражаются в точке  $P$  на цели и принимаются в точке  $P_2$ . Точки  $P_1$  и  $P_2$  перемещаются в произвольные точки на шкале сортировки (двухмерной антенной решетке) на плоскости. В соответствии с этим допущением, имеются  $n^4$  различных микроволновых трактов, проходящих через точку  $P$  на цели. Это большое число трактов вносит существенную долю в повышение качества окончательного изображения. Ниже описывается способ для обработки таких комплексных данных, с тем чтобы получить изображение.

[0185] Например, как показано на фиг. 9, радиоволна, излучаемая из точки  $P_1(x_1, y_1, z)$ , отражается в точке  $P(\xi, \eta, \zeta)$  и принимается в точке  $P_2(x_2, y_2, z)$ . Когда точка  $P$  предположительно перемещается в полной зоне  $D$ , сигнал, принимаемый в  $P_2$ , выражается посредством следующего выражения.

[0186] Математическое выражение 92

$$\phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{ik_1 \rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik_2 \rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta \\ \rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2} \\ \rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2} \\ \cdot \cdot \cdot (2-4-1)$$

[0187] Здесь предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Функция ядра в члене подынтегрального выражения для

вышеприведенного выражения выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-2).

[0188] Математическое выражение 93

$$\varphi = \frac{e^{ik\rho_1} e^{ik\rho_2}}{\rho_1 \rho_2}$$

• • • (2 - 4 - 2)

[0189] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-4-2) в качестве асимптотического решения при небольших длинах волны. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/\rho$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается посредством выражения (2-4-3).

[0190] Математическое выражение 94

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x_1} \rightarrow \partial_{x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2} \rightarrow \partial_{x_2}, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z} \rightarrow \partial_z$$

• • • (2 - 4 - 3)

[0191] С использованием выражения (2-4-3), дифференцирование каждого порядка функции ядра выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-4).

[0192] Математическое выражение 95

$$\partial_{x_1} \varphi = ik \frac{x_1 - \xi}{\rho_1} \varphi + o(\rho^{-3}) \quad \partial_{x_2} \varphi = ik \frac{x_2 - \xi}{\rho_2} \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_1} \varphi = ik \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \varphi + o(\rho^{-3}) \quad \partial_{y_2} \varphi = ik \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_z \varphi = ik(z - \zeta) \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{x_1} \partial_{x_1} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{x_1 - \xi}{\rho_1} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_1} \partial_{y_1} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{y_1 - \eta}{\rho_1} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{x_2} \partial_{x_2} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{x_2 - \xi}{\rho_2} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_{y_2} \partial_{y_2} \varphi = (ik)^2 \left( \frac{y_2 - \eta}{\rho_2} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

$$\partial_z \partial_z \varphi = (ik)^2 (z - \zeta)^2 \left( \frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right)^2 \varphi + o(\rho^{-3})$$

• • • (2 - 4 - 4)

[0193] В дальнейшем в этом документе, сложный член  $o(*)$  опускается. В

соответствии с суммой пяти дифференциальных уравнений второго порядка, получается нижеприведенное выражение (2-4-5).

[0194] Математическое выражение 96

$$\begin{aligned}\Delta_5 \varphi &= (\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2) \varphi \\ &= (ik)^2 \left\{ 2 + 2 \frac{(z - \zeta)^2}{\rho_1 \rho_2} \right\} \varphi\end{aligned}$$

• • • (2 - 4 - 5)

[0195] Соответственно, нижеприведенное выражение (2-4-6) получается из выражения (2-4-5).

[0196] Математическое выражение 97

$$\begin{aligned}\{\Delta_5 - 2(ik)^2\} \varphi &= 2(ik)^2 \frac{(z - \xi)^2}{\rho_1 \rho_2} \varphi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_1^2 - (x_1 - \xi)^2 - (y_1 - \eta)^2}{\rho_1 \rho_2} \varphi \\ &= 2(ik)^2 \frac{\rho_2^2 - (x_2 - \xi)^2 - (y_2 - \eta)^2}{\rho_1 \rho_2} \varphi\end{aligned}$$

• • • (2 - 4 - 6)

[0197] Посредством действия оператора в правой стороне вышеописанного выражения два раза, получается нижеприведенное выражение (2-4-7).

[0198] Математическое выражение 98

$$\begin{aligned}\{\Delta_5 - 2(ik)^2\}^2 \varphi &= 4(ik)^4 \frac{\{\rho_1^2 - (x_1 - \xi)^2 - (y_1 - \eta)^2\} \{\rho_2^2 - (x_2 - \xi)^2 - (y_2 - \eta)^2\}}{\rho_1^2 \rho_2^2} \varphi \\ &= 4(ik)^4 \{1 - (ik)^{-2} \partial_{x_1}^2 - (ik)^{-2} \partial_{y_1}^2\} \{1 - (ik)^{-2} \partial_{x_2}^2 - (ik)^{-2} \partial_{y_2}^2\} \varphi\end{aligned}$$

• • • (2 - 4 - 7)

[0199] Выражение (2-4-7) обобщается для того, чтобы получать нижеприведенное выражение (2-4-8).

[0200] Математическое выражение 99

$$\begin{aligned}\left[ \frac{1}{4} \{\Delta_5 - 2(ik)^2\}^2 - (\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2) \right. \\ \left. + (ik)^2 (\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2) - (ik)^4 \right] \varphi = 0\end{aligned}$$

• • • (2 - 4 - 8)

[0201] Хотя выражение (2-4-8) извлекается при условии установившегося состояния, нетрудно расширять выражение (2-4-8) на неустановившееся состояние. Таким образом, переменные подставляются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-9).

[0202] Математическое выражение 100

$$-ik \rightarrow \frac{1}{c} \partial_t$$

$$\dots (2-4-9)$$

[0203] Посредством этой подстановки, выражение (2-4-8) преобразуется в нижеприведенное выражение (2-4-10), которое включает в себя время.

[0204] Математическое выражение 101

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

$$\dots (2-4-10)$$

[0205] Выражение (2-4-10), описанное выше, представляет собой дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет функцию ядра, заданную посредством выражения (2-4-2), в качестве решения, и  $\phi$  также удовлетворяет вышеописанному дифференциальному уравнению в частных производных посредством применения дифференцирования к ядру выражения (2-4-2). Это уравнение представляет собой пятимерное псевдволновое уравнение, сконфигурированное посредством шести переменных ( $t, x_1, y_1, x_2, y_2, z$ ).

[0206] Затем, это уравнение решается посредством преобразования Фурье. Во-первых,  $\phi$  подвергается преобразованию Фурье с мультиплексированием относительно  $t, x_1, y_1, x_2$  и  $y_2$ , как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-11).

[0207] Математическое выражение 102

$$\tilde{\phi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, z, \omega)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1)} e^{i(k_{x_2}x_2 + k_{y_2}y_2)} \phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, t) dx_1 dy_1 dx_2 dy_2$$

$$\dots (2-4-11)$$

[0208] Когда дифференциал относительно  $z$  выражается как  $D_z$ , нижеприведенное выражение (2-4-12) получается из выражений (2-4-10) и (2-4-11).

[0209] Математическое выражение 103

$$\{(D_z^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2)^2 + 4k^2 D_z^2 - 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2)\} \tilde{\phi} = 0$$

$$\dots (2-4-12)$$

[0210] Здесь, используется взаимосвязь  $\omega = ck$ . Четыре базовых решения этого уравнения выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-13).

[0211] Математическое выражение 104

$$\begin{aligned}
 E_1 &= e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}+\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 E_2 &= e^{-i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}-\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 E_3 &= e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}-\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 E_4 &= e^{-i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}-\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z}
 \end{aligned}$$

• • • (2-4-13)

[0212] С учетом таких фактов, что временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , фаза прибавляется с использованием тракта излучаемых радиоволн, и радиоволны, отражаемые от объекта, отскакивают к измеряемой плоскости,  $E_1$  представляет собой уникальное значимое решение. Соответственно, получается нижеприведенное выражение (2-4-14).

[0213] Математическое выражение 105

$$\tilde{\phi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, z, k) = a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}+\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z}$$

• • • (2-4-14)

[0214] Посредством подстановки  $z=0$  в выражение (2-4-14),  $(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k)$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-15).

[0215] Математическое выражение 106

$$a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) = \tilde{\phi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, 0, k)$$

• • • (2-4-15)

[0216] Из вышеозначенного,  $\phi$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-16).

[0217] Математическое выражение 107

$$\begin{aligned}
 &\phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1}x_1+k_{y_1}y_1)} e^{i(k_{x_2}x_2+k_{y_2}y_2)} e^{i\{\sqrt{k^2-k_{x_1}^2-k_{y_1}^2}+\sqrt{k^2-k_{x_2}^2-k_{y_2}^2}\}z} \\
 &\quad \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2}
 \end{aligned}$$

• • • (2-4-16)

[0218] Затем, посредством применения операции ограничения ( $y_1 \rightarrow u$  и  $y_2 \rightarrow u$ ) к выражению (2-4-16) при условии, что  $k$  и  $z$  являются фиксированными, получается нижеприведенное выражение (2-4-17).

[0219] Математическое выражение 108

$$\begin{aligned}
\Phi(x, y, z, k) &= \phi(x, y, x, y, z, k) \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} [\phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k)] \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1)} e^{-i(k_{x_2} x_2 + k_{y_2} y_2)} e^{iz(\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2})} \right. \\
&\quad \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2} \left. \right] \\
&\dots (2-4-17)
\end{aligned}$$

[0220] Затем, выражение (2-4-17) интегрируется относительно  $k$ , чтобы получить нижеприведенное выражение (2-4-18) в качестве функции формирования изображений.

[0221] Математическое выражение 109

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \Phi(x, y, z, k) dk = \int_0^{\infty} \phi(x, y, x, y, z, k) dk \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \int_0^{\infty} \phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \right] \\
&= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \frac{1}{(2\pi)^4} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1)} e^{i(k_{x_2} x_2 + k_{y_2} y_2)} e^{iz(\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2})} \right. \\
&\quad \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2} \left. \right] \\
&\dots (2-4-18)
\end{aligned}$$

[0222] В выражении (2-4-18), интегрирование относительно  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$ ,  $k_{x_2}$  и  $k_{y_2}$  имеет форму преобразования Фурье и является подходящим для обработки, выполняемой посредством модуля вычисления. С другой стороны, член  $\exp(iz\dots)$  интегрирования не имеет форму преобразования Фурье. Таким образом, обычное интегрирование проводится относительно  $k$  при указании, например, значения  $z$ . Альтернативно, чтобы уменьшать время вычисления, выражение (2-4-18) может модифицироваться таким образом, чтобы выражать целое только посредством преобразования Фурье.

[0223] Например, коэффициент  $iz$  в члене  $\exp(iz\dots)$  выражения (2-4-17) выражается посредством нижеприведенного выражения (2-4-19) с использованием новой переменной  $u$ .

[0224] Математическое выражение 110

$$\begin{aligned}
u &= \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} \\
&\dots (2-4-19)
\end{aligned}$$

[0225] Посредством рационализации правой стороны выражения (2-4-19), получается нижеприведенное выражение (2-4-20).

[0226] Математическое выражение 111

$$\begin{aligned}
\frac{k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}{u} &= \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} - \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} \\
&\dots (2-4-20)
\end{aligned}$$

[0227] Посредством решения каждого квадратного корня из двух выражений, включающих в себя выражения (2-4-19) и (2-4-20), получается нижеприведенное

выражение (2-4-21).

[0228] Математическое выражение 112

$$2\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} = u + \frac{k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}{u}$$

$$2\sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} = u - \frac{k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}{u}$$

• • • (2 - 4 - 2 1)

[0229] Соответственно,  $k$  выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-22).

[0230] Математическое выражение 113

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{u^2 + \frac{(k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2)^2}{u^2} + 2(k_{x_2}^2 + k_{y_2}^2 + k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)}$$

• • • (2 - 4 - 2 2)

[0231] Затем, нижеприведенное выражение (2-4-23) получается посредством дифференцирования обеих сторон выражения (2-4-19) относительно  $k$  и  $u$ .

[0232] Математическое выражение 114

$$du = kdk \left( \frac{1}{\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}} + \frac{1}{\sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2}} \right)$$

• • • (2 - 4 - 2 3)

[0233] Посредством решения  $dk$  из выражения (2-4-23), получается нижеприведенное выражение (2-4-24).

[0234] Математическое выражение 115

$$dk = \frac{1}{ku} \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2} du$$

• • • (2 - 4 - 2 4)

[0235] Наконец в общих словах, выражение (2-4-18) преобразуется так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-4-25).

[0236] Математическое выражение 116

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \Phi(x, y, z, k) dk = \int_0^{\infty} \phi(x, y, x, y, z, k) dk \\ &= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \int_0^{\infty} \phi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\ &= \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \left[ \frac{1}{(2\pi)^4} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1)} e^{-i(k_{x_2} x_2 + k_{y_2} y_2)} e^{izu} \right. \\ &\quad \left. \cdot a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, k) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2} dk \right] \end{aligned}$$

• • • (2 - 4 - 2 5)

[0237] Когда этот результат применяется к полудвумерной решетчатой антенне, описанной в общем представлении, размерность интеграла становится более высокой на



величину, соответствующую  $dk_{x2}$ . Соответственно, время вычисления, которое ни в коем случае не представляет собой вычисление практически в реальном времени, требуется для вычислительных возможностей существующего модуля вычисления.

[0238] II-5. Теория обратного MS-рассеяния, применяемая к двумерной решетке около искривленной границы

Фиг. 10 является концептуальной схемой, показывающей взаимосвязь между точкой передачи и точкой приема на искривленной плоскости. Поскольку граничные условия для искривленной плоскости используются, предполагается, что точка передачи и точка приема имеют различные координаты  $Z$ . Соответственно, функция распределения поля рассеяния выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-1).

[0239] Математическое выражение 117

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, \omega) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

• • • (2-5-1)

[0240] Здесь,  $k$  представляет волновое число. Предполагается, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ . Кроме того,  $D$  представляет зону и соответствует  $D_3$  на фиг. 10. Функция ядра в члене подынтегрального выражения для вышеприведенного выражения выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-2).

[0241] Математическое выражение 118

$$\varphi = \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta)$$

• • • (2-5-2)

[0242] Далее анализируется дифференциальное уравнение в частных производных, которое имеет выражение (2-5-2) в качестве решения, с исключением зон в непосредственной близости от точки передачи и точки приема. Таким образом, вычисление выполняется при игнорировании члена высшего порядка относительно  $1/r$ , полученного в качестве результата дифференцирования. Здесь, сокращенное обозначение для дифференцирования задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-3).

[0243] Математическое выражение 119

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \partial_t, \frac{\partial}{\partial x_1} \rightarrow \partial_{x_1}, \frac{\partial}{\partial x_2} \rightarrow \partial_{x_2}, \frac{\partial}{\partial y_1} \rightarrow \partial_{y_1}, \frac{\partial}{\partial y_2} \rightarrow \partial_{y_2}, \frac{\partial}{\partial z_1} \rightarrow \partial_{z_1}, \frac{\partial}{\partial z_2} \rightarrow \partial_{z_2}$$

• • • (2-5-3)

[0244] В этом случае, тот факт, что функция ядра удовлетворяет уравнению, заданному посредством нижеприведенного выражения (2-5-4), извлекается посредством вычисления, аналогичного вычислению в предыдущей главе.

[0245] Математическое выражение 120

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi = \{(\partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2) - 2(ik)^2\} \varphi = 0$$

• • • (2 - 5 - 4)

[0246] При условии, что временной коэффициент является пропорциональным  $\exp(-i\omega t)$ , анализируется решение выражения (2-5-4), описанного выше. Во-первых, функция ядра подвергается преобразованию Фурье с мультиплексированием относительно  $t$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , чтобы получить следующее выражение.

[0247] Математическое выражение 121

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}, z_1, z_2, \omega)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} dt \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_1}y_1} dy_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{y_2}y_2} dy_2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{x_1}x_1} dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik_{x_2}x_2} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, t) dx_2$$

• • • (2 - 5 - 5)

[0248] Аналогично выражению (2-4-12) в предыдущей главе, нижеприведенное выражение (2-5-6) получается из выражения (2-5-4).

[0249] Математическое выражение 122

$$\{(D_{z_1}^2 + D_{z_2}^2 - k_{x_1}^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2) + 2k^2\} \tilde{\varphi} = 0$$

• • • (2 - 5 - 6)

[0250] Далее анализируется решение этого уравнения. Тем не менее, имеются две переменные  $z_1$  и  $z_2$ . Таким образом, затруднительно решать уравнение, заданное посредством выражения (2-5-6), если граничные условия не предоставляются для зоны с одномерной степенью свободы в пространстве  $(z_1, z_2)$  относительно фиксированной точки  $(x_1, x_2, y_1, y_2)$  или  $(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2})$ . Тем не менее, граничные условия, полученные посредством радарного измерения, просто предоставляются в одной точке  $\{f(x_1, y_1), f(x_2, y_2)\}$  в пространстве  $(z_1, z_2)$ .

[0251] Чтобы разрешать эту проблему, используется согласованность между теорией, используемой в случае, если  $z_1=z$  и  $z_2=z$ , и теорией, описанной в этой главе. Таким образом, решение, извлекаемое из теории, описанной в этой главе, в котором  $z_1$  и  $z_2$  являются независимыми, включает в себя решение, извлекаемое в частном случае, где  $z_1=z$  и  $z_2=z$ . С учетом этого, во-первых, решение выражения (2-5-6) предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-7).

[0252] Математическое выражение 123

$$E(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}, z_1, z_2) = \exp(is_1 z_1) \exp(is_2 z_2)$$

• • • (2 - 5 - 7)

[0253] В соответствии с выражениями (2-5-6) и (2-5-7) и согласованностью, описанной выше, получают нижеприведенные выражения (2-5-8) и (2-5-9).

[0254] Математическое выражение 124

$$s_1^2 + s_2^2 + k_{x_1}^2 + k_{x_2}^2 + k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2 - 2k^2 = 0$$

• • • (2 - 5 - 8)

[0255] Математическое выражение 125

$$s_1 + s_2 = \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2}$$

$$\dots (2-5-9)$$

[0256] Из этих уравнений,  $s_1$  и  $s_2$  получаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-10).

[0257] Математическое выражение 126

$$s_1 = \sqrt{k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2}$$

$$s_2 = \sqrt{k^2 - k_{x_2}^2 - k_{y_2}^2}$$

$$\dots (2-5-10)$$

[0258] С использованием  $s_1(k_x, k_{y1}, k_{y2})$  и  $s_2(k_x, k_{y1}, k_{y2})$ , описанных выше, решение уравнения выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-11).

[0259] Математическое выражение 127

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{x_2}x_2 - k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2})$$

$$\cdot e^{i s_1(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}) z_1} e^{i s_2(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}) z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2}$$

$$\dots (2-5-11)$$

[0260] Кроме того, уравнение на искривленной плоскости S может предполагаться так, как задается, например, посредством нижеприведенного выражения (2-5-12).

[0261] Математическое выражение 128

$$z = f(x, y)$$

$$\dots (2-5-12)$$

[0262] Граничные условия, заданные на искривленной плоскости S, выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-13).

[0263] Математическое выражение 129

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{x_2}x_2 + k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2})$$

$$\cdot e^{i \{ s_1(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}) f(x_1, y_1) + s_2(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{x_2}, k_{y_2}) f(x_2, y_2) \}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{x_2} dk_{y_2}$$

$$\dots (2-5-13)$$

[0264] Уравнение, заданное посредством выражения (2-5-13), используется для того, чтобы определять  $(k_{x1}, k_{x2}, k_{y1}, k_{y2})$ . В дальнейшем в этом документе, используется сокращенное обозначение, заданное посредством нижеприведенного выражения (2-5-14).

[0265] Математическое выражение 130

$$\begin{aligned}
 a(\mathbf{k}) &= a(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}) \\
 s_1(\mathbf{k}) &= s_1(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}) \\
 s_2(\mathbf{k}) &= s_2(k_{x_1}, k_{x_2}, k_{y_1}, k_{y_2}) \\
 &\dots (2-5-14)
 \end{aligned}$$

[0266] С использованием сокращенного обозначения, заданного посредством выражения (2-5-14), извлекается интегральное уравнение относительно  $a(\mathbf{k})$ , как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-15).

[0267] Математическое выражение 131

$$\begin{aligned}
 &\varphi(x_1, x_2, y_1, y_2, f(x_1, y_1), f(x_2, y_2), k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{x_2}x_2 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} a(\mathbf{k}) e^{i\{s_1(\mathbf{k})f(x_1, y_1) + s_2(\mathbf{k})f(x_2, y_2)\}} d\mathbf{k}
 \end{aligned}$$

$$\dots (2-5-15)$$

[0268] После того, как  $a(\mathbf{k})$  получается из выражения (2-5-15), описанного выше, функция распределения поля рассеяния может выражаться так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-16).

[0269] Математическое выражение 132

$$\begin{aligned}
 &\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^4} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 + k_{x_2}x_2 + k_{y_2}y_2)} a(\mathbf{k}) e^{is_1(\mathbf{k})z_1} e^{is_2(\mathbf{k})z_2} d\mathbf{k}
 \end{aligned}$$

$$\dots (2-5-16)$$

[0270] Посредством применения  $z_1=z_2=z$  к выражению (2-5-16), описанному выше, и выполнения преобразования Фурье относительно  $k$ , функция формирования изображений получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (2-5-17).

[0271] Математическое выражение 133

$$\rho(\mathbf{r}) = \lim_{t \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) e^{-ickt} dk \right]$$

$$\dots (2-5-17)$$

[0272] Через вышеописанный процесс, получается окончательная функция  $\rho(\mathbf{r})$  формирования изображений.

[0273] III. Теория S-решетчатого поля рассеяния

III-1. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к границе плоскости и полудвумерной решетке

Здесь, используется конфигурация, показанная на фиг. 3. Кроме того, выражение (2-4-10), связанное с двумерной решеткой, используется в качестве начальной точки для анализа. Нижеприведенное выражение (3-1-1) является идентичным выражению (2-4-10).

[0274] Математическое выражение 134

$$\left\{ \Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2) \right\} \varphi = 0$$

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

• • • (3-1-1)

[0275] Кроме того, преобразование Фурье

Математическое выражение 135

$\varphi$

относительно  $t$ ,  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$  выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-2).

[0276] Математическое выражение 136

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z, k)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} e^{ickt} dt \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, t) dx_1 dy_1 dy_2$$

• • • (3-1-2)

[0277] В нижеприведенном описании, переменная  $x_2$  может выражаться как  $u$ . Нижеприведенное выражение (3-1-3) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (3-1-1) относительно  $t$ ,  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0278] Математическое выражение 137

$$\left\{ (\partial_u^2 + \partial_z^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2 + 4k^2 \partial_z^2 + 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(\partial_u^2 - k_{y_2}^2) \right\} \tilde{\varphi} = 0$$

• • • (3-1-3)

[0279] Решение выражения (3-1-3), описанного выше, которое представляет собой двумерное дифференциальное уравнение в частных производных относительно  $u$  и  $z$ , предположительно задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-4).

[0280] Математическое выражение 138

$$\tilde{\varphi} \propto e^{s_3 u} e^{s_4 z}$$

• • • (3-1-4)

[0281] Здесь,  $s_3$  и  $s_4$  представляют собой функции относительно  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$ ,  $k_{y_2}$  и  $k$ , заданные посредством нижеприведенного выражения (3-1-5). Другими словами,  $s_3$  и  $s_4$  представляют собой константы, заданные посредством  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$ ,  $k_{y_2}$  и  $k$ .

[0282] Математическое выражение 139

$$s_3 = s_3(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$s_4 = s_4(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

• • • (3-1-5)

[0283] Посредством подстановки выражения (3-1-5) в выражение (3-3-4), получается нижеприведенное выражение (3-1-6).

[0284] Математическое выражение 140

$$\left( s_3^2 + s_4^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 \right)^2 + 4k^2 s_4^2 + 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(s_3^2 - k_{y_2}^2) = 0$$

• • • (3-1-6)

[0285] Тем не менее,  $s_3$  и  $s_4$  не могут определяться только из этого алгебраического уравнения. Затем, выражение (3-1-4) изменяется на нижеприведенное выражение (3-1-7).

[0286] Математическое выражение 141

$$\bar{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, u, k_{y_2}, z, k) = b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 u} e^{s_4 z} \\ \dots (3-1-7)$$

[0287] Посредством обратного преобразования Фурье для выражения (3-1-7) относительно  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  и применения результата к  $u \rightarrow x_2$ , получается нижеприведенное выражение (3-1-8).

[0288] Математическое выражение 142

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \dots (3-1-8)$$

[0289] Посредством применения  $x_2 = x_1 = x$  к выражению (3-1-8), получается нижеприведенное выражение (3-1-9).

[0290] Математическое выражение 143

$$\varphi(x, y_1, x, y_2, z, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x} e^{s_4 z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{(k_{x_1} + s_3)x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2\}} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_4 z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_4 z} \left( \frac{dk_{x_1}}{dk_x} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \dots (3-1-9)$$

[0291] Здесь,  $k_x$  выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-10).

[0292] Математическое выражение 144

$$k_x = k_{x_1} + i s_3 \\ \dots (3-1-10)$$

[0293] Выражение (3-1-9), описанное выше, предположительно согласуется с выражением (2-1-17), поскольку оно согласуется с решением уравнения поля рассеяния для одномерной решетки. Нижеприведенное выражение (3-1-11) является идентичным выражению (2-1-17).

[0294] Математическое выражение 145

$$\varphi(x, y_1, y_2, z, k) \\ = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ \cdot e^{i\{\sqrt{(k^2 - k_{y_1}^2 + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}\}z} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ \dots (3-1-11)$$

[0295] Посредством сравнения выражений (3-1-9) и (3-1-11), получается нижеприведенное выражение (3-1-12).

[0296] Математическое выражение 146

$$b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk_{x_1}}{d(k_{x_1} + is_3)} \right) = a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$s_4 = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}$$

• • • (3 - 1 - 1 2)

[0297] Второе уравнение, заданное посредством выражения (3-1-12) возводится во вторую степень для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-1-13).

[0298] Математическое выражение 147

$$s_4^2 + s_3^2 = 2ik_{x_1}s_3 + k_{x_1}^2 - (\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2$$

• • • (3 - 1 - 1 3)

[0299] Посредством подстановки выражения (3-1-13) в выражение (3-1-6), получается нижеприведенное выражение (3-1-14).

[0300] Математическое выражение 148

$$\left\{ 2ik_{x_1}s_3 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 - (\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 \right\}^2$$

$$+ 4k^2 \left\{ -(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 + (k_{x_1} + is_3)^2 \right\}$$

$$+ 4(k_{x_1}^2 + k_{y_1}^2)(s_3^2 - k_{y_2}^2) = 0$$

• • • (3 - 1 - 1 4)

[0301] Выражение (3-1-14) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-1-15).

[0302] Математическое выражение 149

$$(k^2 - k_{y_1}^2)s_3^2 + 2\left(ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)s_3 - k_{x_1}^2(k^2 - k_{y_2}^2) = 0$$

• • • (3 - 1 - 1 5)

[0303] Поскольку решение этого уравнения представляет собой кратный корень, уникально получается решение, выражаемое так, как задается посредством выражения (3-1-16).

[0304] Математическое выражение 150

$$s_3 = \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}$$

• • • (3 - 1 - 1 6)

[0305] В соответствии с выражениями (3-1-12) и (3-1-16), полученными через вышеописанное,  $s_3$  и  $s_4$  получаются аналитически. Затем функция распределения поля рассеяния получается из выражения (3-1-8), выражаемого посредством нижеприведенного

выражения (3-1-17).

[0306] Математическое выражение 151

$$\begin{aligned}
 & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3x_2} e^{s_4z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
 & \quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3x_2} e^{s_4z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 & s_3 = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} \\
 & s_4 = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \\
 & \dots (3-1-17)
 \end{aligned}$$

[0307] Далее анализируется соединение данных  $\Phi(x_1, y_1$  и  $y_2, k)$  измерений с  $(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$ . Посредством задания  $k_x = k_x + is_3$  и подстановки  $z=0$  и  $x_2 = x_1 + d$  в выражение (3-1-17), уравнение, заданное посредством выражения (3-1-18), является справедливым. Здесь,  $\Phi(x_1, y_1$  и  $y_2, k)$  представляет данные измерений по точке  $(x_1, y_1, 0)$  передачи, точке  $(x_1 + d, y_2, 0)$  приема и волновому числу  $k$ .

[0308] Математическое выражение 152

$$\begin{aligned}
 & \Phi(x_1, y_1, y_2, k) \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
 & \quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3(x_1 - d)} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{(k_{x_1} + is_3)x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2\}} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
 & \quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3d} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3d} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 & \dots (3-1-18)
 \end{aligned}$$

[0309] В дальнейшем в этом документе, используются  $k_x$  и  $s_3$ , заданные посредством нижеприведенного выражения (3-1-19).

[0310] Математическое выражение 153



$$k_x = k_{x_1} + is_3$$

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (3-1-19)

[0311] Нижеприведенное выражение (3-1-20) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (3-1-18) относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ .

[0312] Математическое выражение 154

$$\tilde{\Phi}(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k'_x x_1 - k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \Phi(x_1, y_1, y_2, k) dx_1 dy_1 dy_2$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k'_x x_1 + k'_{y_1} y_1 + k'_{y_2} y_2)} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2\}} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 d} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dx_1 dy_1 dy_2$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(k'_x - k_x) \delta(k'_{y_1} - k_{y_1}) \delta(k'_{y_2} - k_{y_2}) a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 d} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}$$

$$= a(k'_x, k'_{y_1}, k'_{y_2}, k) e^{s_3 d}$$

• • • (3-1-20)

[0313] Функция  $a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$  получается из выражения (3-1-20), заданного посредством выражения (3-1-21).

[0314] Математическое выражение 155

$$a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = e^{-s_3 d} \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$= e^{\frac{ik_x d \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

• • • (3-1-21)

[0315] Следовательно, выражение (3-1-17), которое представляет функцию распределения поля рассеяния, получается в полной форме, заданной посредством нижеприведенного выражения (3-1-22).

[0316] Математическое выражение 156

$$\begin{aligned}
& \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
&\quad \cdot \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) e^{s_3x_2} e^{s_4z} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} e^{s_3x_2} e^{s_4z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= ik_z = i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \\
&\quad \dots (3 - 1 - 2 \ 2)
\end{aligned}$$

[0317] Затем функция формирования изображений получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-1-23).

[0318] Математическое выражение 157

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}}^{\infty} \lim \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y - k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{idk_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{ik_z z} e^{\frac{idk_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
&\quad \dots (3 - 1 - 2 \ 3)
\end{aligned}$$

[0319] Полудвумерная решетка допускает получение информации относительно веществ, включенных между координатами X позиции передачи и позиции приема. В

частности, даже если препятствие с высокой диэлектрической постоянной присутствует впереди, можно передавать радиоволны и принимать волны посредством оборота вокруг препятствия в направлении по оси X. Таким образом, можно получать информацию, которую затруднительно получать в случае одномерной решетки в направлении по оси Y. Соответственно, воссоздание более надлежащего изображения становится возможным.

[0320] Кроме того, по сравнению с одномерной решеткой, полудвумерная решетка допускает включение большего числа передающих элементов и большего числа приемных элементов. Соответственно, можно более эффективно получать информацию.

[0321] *III-2. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к границе плоскости и двумерной решетке*

Фиг. 11 является схемой, показывающей многорядную линейную решетчатую антенну. Многорядная линейная решетчатая антенна, показанная на фиг. 11, включает в себя однорядную передающую решетчатую антенну TA и n-рядные приемные решетчатые антенны RA<sub>1</sub>, RA<sub>2</sub>, RA<sub>3</sub>, ..., и RA<sub>n</sub>. Направление поляризации каждого антенного элемента может задаваться в направлении по оси X или в направлении по оси Y. TA и RA могут меняться местами. Обратное MS-рассеяние, применяемое к полудвумерной решетке в главе III-1, применяется к вышеописанной решетке.

[0322] Хотя предусмотрено множество приемных решетчатых антенн RA<sub>1</sub>, RA<sub>2</sub>, RA<sub>3</sub>, ..., и RA<sub>n</sub>, множество комбинаций (TA, RA<sub>1</sub>), (TA, RA<sub>2</sub>), (TA, RA<sub>3</sub>), ..., и (TA, RA<sub>n</sub>) измеряются независимо друг от друга. Функция распределения поля рассеяния получается посредством линейного суммирования этих элементов данных. Соответственно, функция формирования изображений также получается посредством линейного суммирования. Когда d<sub>j</sub> представляет расстояние между передающей элементной решеткой TA и j-ой приемной элементной решеткой RA<sub>j</sub>, и Φ<sub>j</sub>(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub> и y<sub>2</sub>, k) представляет каждые данные измерений, нижеприведенное выражение (3-2-1) получается из выражения (3-1-23).

[0323] Математическое выражение 158

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^z \lim_{\substack{x_2 \rightarrow y_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{s_1 z} \\
&\cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{i k_z z} \\
&\cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&k_z = \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
&k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
&\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
&\dots (3 - 2 - 1)
\end{aligned}$$

[0324] Далее описывается различие между случаем использования существующей двумерной решетки и случаем использования S-решетчатой двумерной решетки, который применяет полудвумерную решетку согласно настоящему раскрытию сущности.

[0325] S-решетчатая двумерная решетка имеет такое ограничение, что ТА и РА представляют собой одномерную решетку. Имеется вероятность того, что сканирующий зонд с использованием этой решетки может получать высококачественное изображение и может сокращать время сканирования при поддержании качества изображений. Альтернативно, сканирование может опускаться.

[0326] С другой стороны, в случае использования существующей двумерной решетки, ограничения не налагаются на компоновку передающих элементов и приемных элементов. Тем не менее, например, в случае решетки  $n$  на  $n$ , имеются  $n^4$  различных порядков комбинаций для передачи и приема, и размерность становится более высокой. Таким образом, когда  $n$  является любым практическим значением (например, 100), масштаб системы увеличивается, и огромные количества времени измерения и времени вычисления становятся необходимыми. Соответственно, существующая двумерная решетка не является практичной для медицинской диагностики и инфраструктурной диагностики.

[0327] Фиг. 12 является концептуальной схемой, показывающей комбинации позиций передачи и позиций приема в мультистатической решетчатой антенне. Фиг. 12 показывает S-решетчатую двумерную решетку в качестве мультистатической решетчатой

антенны. S-решетчатая двумерная решетка допускает получение данных измерений во множестве позиций приема в обоих направлениях по оси X и Y, даже если сканирование не выполняется. Таким образом, S-решетчатая двумерная решетка имеет мультистатические характеристики в обоих направлениях по оси X и Y. Соответственно, можно получать достаточно информации и опускать или уменьшать сканирование.

[0328] Как описано выше, передача и прием могут меняться местами. В этом случае, множество передающих решетчатых антенн передают радиоволны в последовательности. Более конкретно, множество передающих элементов передают радиоволны в последовательности. Даже если позиция передачи и позиция приема меняются местами, предполагается, что величина принимаемого рассеяния является идентичной. Соответственно, даже если передача и прием меняются местами, получается практически идентичный результат. В случае использования множества передающих решетчатых антенн, линейное суммирование может выполняться, как и в случае использования множества приемных решетчатых антенн.

[0329] В качестве другой альтернативы, могут использоваться множество передающих решетчатых антенн и множество приемных решетчатых антенн. Затем передающие решетчатые антенны и приемные решетчатые антенны могут размещаться попеременно.

[0330] Кроме того, сканирование может выполняться в зависимости от S-решетчатой двумерной решетки. В этом случае, более широкий диапазон информации может получаться.

[0331] Как описано выше, функция формирования изображений может извлекаться из объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют, надлежащим образом, множеству комбинаций передающих решетчатых антенн и приемных решетчатых антенн. Например, функция формирования изображений может извлекаться посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния в одну функцию распределения поля рассеяния и выполнения операции ограничения для функции распределения поля рассеяния. Каждая из функций распределения поля рассеяния может представлять собой функцию распределения поля рассеяния, выражаемую так, как задается посредством выражения (3-1-23). Объединение может представлять собой линейное суммирование.

[0332] *III-3. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к искривленной границе*

Нижеприведенное описание приводится относительно теории S-решетчатого поля рассеяния, применяемой к случаю, в котором граница зоны, т.е. граничной поверхности для измерения данных рассеяния, представляет собой искривленную плоскость, кривизна которой не является настолько большой.

[0333] Фиг. 13 является схемой, показывающей полудвумерную решетчатую антенну на искривленной плоскости. Фиг. 13 показывает полудвумерную решетчатую антенну, проецируемую на плоскость X-Y, где  $z=0$ . Когда искривленная плоскость имеет

большую кривизну, не разрешается игнорировать наклон решетчатой антенны и игнорировать изменение расстояния между антенными элементами на плоскости X-Y в зависимости от места. Тем не менее, когда кривизна искривленной плоскости не является настолько большой, расстояние между элементами на плоскости X-Y может рассматриваться как приблизительно постоянное.

[0334] Здесь, теория обратного рассеяния, применяемая к полудвумерной решетке, конструируется на основе теории, описанной в II-5. Функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, заданную посредством нижеприведенного выражения (3-3-1).

[0335] Математическое выражение 159

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

$$\dots (3-3-1)$$

[0336] Уравнение, удовлетворяющееся посредством функции распределения поля рассеяния, заданной посредством выражения (3-3-1), представляет собой выражение (2-5-4) и выражается так, как представлено посредством нижеприведенного выражения (3-3-2).

[0337] Математическое выражение 160

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \{(\partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2) - 2(ik)^2\}$$

$$\cdot \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= 0$$

$$\dots (3-3-2)$$

[0338] Здесь, преобразование Фурье используется так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-3).

[0339] Математическое выражение 161

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z_1, z_2, k)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) dx_1 dy_1 dy_2$$

$$\dots (3-3-3)$$

[0340] Из выражений (3-3-2) и (3-3-3), получается нижеприведенное выражение (3-3-4).

[0341] Математическое выражение 162

$$\{\partial_{x_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2 + 2k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2\} \tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z_1, z_2, k) = 0$$

$$\dots (3-3-4)$$

[0342] В качестве решения уравнения, заданного посредством нижеприведенного выражения (3-3-4), предполагается выражение (3-3-5).

[0343] Математическое выражение 163

$$\tilde{\varphi}(k_{x_1}, k_{y_1}, x_2, k_{y_2}, z_1, z_2, k) = b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2}$$

$$s_3 = s_3(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$s_4 = s_4(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

$$s_5 = s_5(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

• • • (3 - 3 - 5)

[0344] Посредством подстановки выражения (3-3-5) в выражение (3-3-4), получается нижеприведенное выражение (3-3-6).

[0345] Математическое выражение 164

$$s_3^2 + s_4^2 + s_5^2 + 2k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 = 0$$

• • • (3 - 3 - 6)

[0346] Затем,

Математическое выражение 165

$\varphi$

выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-7).

[0347] Математическое выражение 166

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (3 - 3 - 7)

[0348] В случае  $x_2 \rightarrow x_1$ , выражение (3-3-7) согласуется с выражением (2-2-18). В случае  $x_2 \rightarrow x_1$ , выражение (3-3-7) выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-8).

[0349] Математическое выражение 167

$$\varphi(x_1, y_1, x_1, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\{(k_{x_1} + s_3) x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2\}} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2}$$

• • • (3 - 3 - 8)

[0350] Кроме того, выражение, идентичное выражению (2-2-18), выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-9).

[0351] Математическое выражение 168

$$\begin{aligned} & \phi(x, y_1, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_1} e^{is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)z_2} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ s_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \dots (3-3-9) \end{aligned}$$

[0352] Поскольку выражение (3-3-8) согласуется с выражением (3-3-9), получается нижеприведенное выражение (3-3-10).

[0353] Математическое выражение 169

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk_{y_1}}{dk_x} \right) &= a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ s_4(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= is_1(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ s_5(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) &= is_2(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \dots (3-3-10) \end{aligned}$$

[0354] Затем, из выражений (3-3-6), (3-3-9) и (3-3-10), алгебраическое уравнение относительно  $s_3$  получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-11).

[0355] Математическое выражение 170

$$\begin{aligned} s_3^2 & - \left\{ \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right\}^2 \\ & - \left\{ \frac{\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right\}^2 \\ & + 2k^2 - k_{x_1}^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2 = 0 \end{aligned}$$

$\dots (3-3-11)$

[0356] Посредством разворачивания и упрощения квадратного члена в выражении (3-3-11), получается нижеприведенное выражение (3-3-12).

[0357] Математическое выражение 171



$$s_3^2 + \frac{(2k^2 - k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)(k_{x_1} + is_3)^2}{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2} - k_{x_1}^2 = 0$$

• • • (3 - 3 - 1 2)

[0358] Кроме того, выражение (3-3-12) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-3-13).

[0359] Математическое выражение 172

$$(s_3 \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})(s_3 \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} + ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}) = 0$$

• • • (3 - 3 - 1 3)

[0360] Предусмотрено два решения выражения (3-3-13). Тем не менее, решение выражения (3-3-13), как предполагается, согласуется с решением в случае границы плоскости, описанной в главе III-1. Таким образом, нижеприведенное выражение (3-3-14), как предполагается, выбирается в качестве решения в соответствии с выражением (3-1-16).

[0361] Математическое выражение 173

$$s_3 = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}$$

• • • (3 - 3 - 1 4)

[0362] В общих словах, функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-15).

[0363] Математическое выражение 174

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 - k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} b(k_{x_1}, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 y_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 - k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3 y_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

$$s_3 = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}$$

$$s_4 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_5 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (3 - 3 - 1 5)

[0364] Кроме того, посредством преобразования переменной  $k_{x_1}$  в  $k_x$  в выражении (3-3-15), получается нижеприведенное выражение (3-3-16).

[0365] Математическое выражение 175

$$s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_4 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_5 = \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

• • • (3 - 3 - 1 6)

[0366] Далее анализируется соединение данных  $\Phi(x_1, y_1 \text{ и } y_2, k)$  измерений с  $b(k_{x1}, k_{y1}, k_{y2}, k)$ . Функция, полученная посредством преобразования Фурье данных  $\Phi(x_I, y_I, x_I+d, y_J, t)$ , измеренных в точках  $P_I$  и  $P_J$  на искривленной плоскости, выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-17).

[0367] Математическое выражение 176

$$\Phi(x_I, y_I, y_J, k) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-ickt} \varphi(x_I, y_I, x_I + d, y_J, t) dt$$

• • • (3 - 3 - 1 7)

[0368] Форма граничной искривленной плоскости, служащей в качестве измеряемой плоскости, выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-18).

[0369] Математическое выражение 177

$$z = f(x, y)$$

• • • (3 - 3 - 1 8)

[0370] Здесь,  $(x, y)$  представляет координаты на плоскости, на которой  $z=0$ . Координаты  $Z$  в точках  $P_I$  и  $P_J$  выражаются так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-19).

[0371] Математическое выражение 178

$$z_I = f(x_I, y_I)$$

$$z_J = f(x_J, y_J)$$

• • • (3 - 3 - 1 9)

[0372] Посредством подстановки  $x_2 = x_1 + d$  в выражение (3-3-15), уравнение, заданное посредством выражения (3-3-20), является справедливым.

[0373] Математическое выражение 179

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_1 + d, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3(x_1 + d)} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (3 - 3 - 2 0) \end{aligned}$$

[0374] Выражение (3-3-20), описанное выше, выражается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-21), с использованием данных  $\Phi$ , полученных посредством измерения, проведенного на границе.

[0375] Математическое выражение 180

$$\begin{aligned} & \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \delta(x_1 - x_I) \delta(y_1 - y_I) \delta(y_2 - y_J) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a_{I,J}(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3(x_1 - d)} e^{s_4 z_I} e^{s_5 z_J} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (3 - 3 - 2 1) \end{aligned}$$

[0376] Здесь,  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений по точке  $(x_I, y_I, z_I)$  передачи, точке  $(x_1 + d, y_J, z_J)$  приема и волновому числу  $k$ . Нижеприведенное выражение (3-3-22) получается посредством преобразования Фурье для обеих сторон выражения (3-3-21).

[0377] Математическое выражение 181

$$\begin{aligned} & \int \int \int e^{i(k_{x_1}' x_1 - k_{y_1}' y_1 + k_{y_2}' y_2)} \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot \delta(x_1 - x_I) \delta(y_1 - y_I) \delta(y_2 - y_J) dx_1 dy_1 dy_2 \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int \int \int e^{i(k_{x_1}' x_1 + k_{y_1}' y_1 + k_{y_2}' y_2)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} a_{I,J}(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\ & \quad \cdot e^{s_3(x_1 + d)} e^{s_4 z_I} e^{s_5 z_J} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} dx_1 dy_1 dy_2 \\ & \quad \cdot \cdot \cdot (3 - 3 - 2 2) \end{aligned}$$

[0378] Затем нижеприведенное выражение (3-3-23) получается в качестве результата интегрирования выражения (3-3-22) относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ .

[0379] Математическое выражение 182

$$\begin{aligned}
& \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) e^{i(k_{x_1}' x_I + k_{y_1}' y_I + k_{y_2}' y_J)} \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(k_{x_1} + is_3 - k_{x_1}') \delta(k_{y_1} - k_{y_1}') \delta(k_{y_2} - k_{y_2}') \\
&\quad \cdot a_{I,J}(k_{x_1} + is_3, k_{y_1}, k_{y_2}, k) e^{s_3 d} e^{s_4 z_I} e^{s_5 z_J} \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= a_{I,J}(k_{x_1}', k_{y_1}', k_{y_2}', k) e^{s_3' d} e^{s_4' z_I} e^{s_5' z_J} \\
& s_3' = \frac{-ik_{x_1}' \sqrt{k^2 - k_{y_2}'^2}}{\sqrt{k^2 - k_{x_1}'^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_1}'^2}} \\
& \dots (3 - 3 - 2 3)
\end{aligned}$$

[0380] Результат выражения (3-3-23) обобщается для того, чтобы получить нижеприведенное выражение (3-3-24).

[0381] Математическое выражение 183

$$\begin{aligned}
& a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) = \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \\
& s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_x^2}} \\
& \dots (3 - 3 - 2 4)
\end{aligned}$$

[0382] Из суммы всех наборов I и J относительно выражения (3-3-24), получается нижеприведенное выражение (3-3-25).

[0383] Математическое выражение 184

$$\begin{aligned}
& a(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
&= \sum_{I,J} a_{I,J}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \\
&= \sum_{I,J} \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \\
& \dots (3 - 3 - 2 5)
\end{aligned}$$

[0384] Из выражений (3-3-15) и (3-3-25), функция распределения поля рассеяния получается так, как задается посредством нижеприведенного выражения (3-3-26).

[0385] Математическое выражение 185

$$\begin{aligned}
& \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \\
& s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_x^2}} \\
& \dots (3 - 3 - 2 6)
\end{aligned}$$

[0386] Функция формирования изображений получается посредством применения

$x_2=x_1=x$ ,  $y_1=y_2=y$  и  $z_1=z_2=z$  к выражению (3-3-26) и интегрирования выражения относительно  $k$ . После этого улучшение уравнения функции формирования изображений анализируется таким образом, что результат может получаться из преобразования Фурье, что обеспечивает высокоскоростные вычисления. Базисные переменные представляют собой  $k_x$ ,  $k_{y1}$ ,  $k_{y2}$  и  $k_z$ , и другие переменные положительно выражаются с использованием базисных переменных. Функция формирования изображений получается через следующую процедуру.

[0387] Во-первых, нижеприведенное выражение (3-3-27) получается посредством применения  $x_2=x_1=x$ ,  $y_1=y_2=y$  и  $z_1=z_2=z$  к выражению (3-3-26).

[0388] Математическое выражение 186

$$\begin{aligned} & \varphi(x, y, x, y, z, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{s_4 z} e^{s_5 z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ & s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \dots (3-3-27) \end{aligned}$$

[0389] Функция  $\rho$  формирования изображений получается посредством интегрирования относительно  $k$ , заданного посредством нижеприведенного выражения (3-3-28).

[0390] Математическое выражение 187

$$\begin{aligned} & \rho(x, y, z) \\ &= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y1} dk_{y2} dk_z \\ & s_3 = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \dots (3-3-28) \end{aligned}$$

[0391] Это вычисление использует нижеприведенное выражение (3-3-29).

[0392] Математическое выражение 188

$$k = \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}$$

$$\frac{dk}{dk_z} = \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}}$$

$$s_3 = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}$$

$$s_4 = \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}$$

$$s_5 = \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}$$

• • • (3 - 3 - 2 9)

[0393] Хотя полудвумерная решетка используется в вышеприведенном описании, вместо этого может использоваться двумерная решетка, показанная на фиг. 11. В этом случае, функция формирования изображений может извлекаться посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют, надлежащим образом, множеству комбинаций передающих решетчатых антенн и приемных решетчатых антенн. Например, функция формирования изображений может извлекаться посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния в одну функцию распределения поля рассеяния и выполнения операции ограничения для функции распределения поля рассеяния. Каждая из функций распределения поля рассеяния может представлять собой функцию распределения поля рассеяния, выражаемую посредством выражения (3-3-26), и объединение может представлять собой линейное суммирование.

[0394] Хотя цилиндрическая поверхность показана как искривленная граница зоны на фиг. 13, искривленная граница зоны не обязательно должна представлять собой цилиндрическую поверхность. Вышеописанный процесс может применяться не только к тангенциальной плоскости к цилиндрической поверхности, но также и к тангенциальной плоскости к любой другой искривленной границе.

[0395] *IV. Частотная зависимость диэлектрической постоянной*

*IV-1. Базовая теория*

В случае использования воссоздающих уравнений, полученных в главе III, может учитываться присутствие или отсутствие дисперсии диэлектрической постоянной. В случае если отсутствует дисперсия диэлектрической постоянной, частота  $f$  и волновое число  $k$

имеют простую взаимосвязь, заданную посредством нижеприведенного выражения (4-1-1). Здесь,  $\epsilon_r$  представляет относительную диэлектрическую постоянную, и  $c_0$  представляет скорость электромагнитных волн в вакууме.

[0396] Математическое выражение 189

$$f = \frac{c_0 k}{2\pi \sqrt{\epsilon_r}}$$

• • • (4-1-1)

[0397] Когда отсутствует дисперсия диэлектрической постоянной, замена переменных с  $f$  на  $k$  является простой. Тем не менее, предположительно учитывается изменение диэлектрической постоянной в зависимости от частоты, например, в вариантах применения для живого организма. В дальнейшем в этом документе, учитывается частотная зависимость диэлектрической постоянной.

[0398] Диэлектрическая постоянная в зоне на частотах от 14 ГГц до 20 ГГц составляет приблизительно 60% от диэлектрической постоянной в зоне на частотах от 1 ГГц до 5 ГГц. Выражение для частотной зависимости дебаевской диэлектрической постоянной задается посредством нижеприведенных выражений (4-1-2) и (4-1-3).

[0399] Математическое выражение 190

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + i\omega\tau}$$

$$\epsilon(0) = \epsilon_s$$

$$\epsilon(\infty) = \epsilon_\infty$$

• • • (4-1-2)

[0400] Математическое выражение 191

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2\tau^2} - i \frac{\omega\tau(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2\tau^2}$$

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{(\epsilon_s - \epsilon_\infty)}{1 + \omega^2\tau^2} = a + \frac{b}{1 + \alpha\omega^2}$$

• • • (4-1-3)

[0401] Здесь,  $\omega$  представляет угловую частоту,  $\epsilon(\omega)$  представляет комплексную проницаемость при  $\omega$ ,  $i$  представляет мнимую единицу,  $\tau$  представляет время релаксации,  $\epsilon_r(\omega)$  представляет действительную часть комплексной проницаемости при  $\omega$ , и  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют константы. В частности,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют собой параметры, указывающие соответствие между изменением частоты и изменением диэлектрической постоянной в соответствии с дебаевской релаксацией.

[0402] Взаимосвязь скорости радиоволн, частоты и волнового числа выражается так, как задается посредством нижеприведенных выражений (4-1-4) и (4-1-5).

[0403] Математическое выражение 192

$$c(\omega) = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon_r(\omega)}}$$

$$\omega = c(\omega)k$$

• • • (4-1-4)

[0404] Математическое выражение 193

$$\omega = \frac{c_0 k}{\sqrt{a + \frac{b}{1 + \alpha \omega^2}}}$$

• • • (4-1-5)

[0405] Здесь,  $c(\omega)$  представляет скорость распространения при  $\omega$ , и  $\omega$  и  $f$  имеют взаимосвязь  $\omega = 2\pi f$ . Нижеприведенное выражение (4-1-6) получается из выражения (4-1-5).

[0406] Математическое выражение 194

$$\omega = \sqrt{\frac{-(a+b-c_0^2 \alpha k^2) + \sqrt{(a+b-c_0^2 \alpha k^2)^2 + 4\alpha c_0^2 k^2}}{2\alpha}}$$

• • • (4-1-6)

[0407] Кроме того, нижеприведенное выражение (4-1-7) также получается из выражения (4-1-6).

[0408] Математическое выражение 195

$$\frac{d\omega}{dk} = \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha \omega^3 - \alpha c_0^2 \omega k^2}$$

• • • (4-1-7)

[0409] *IV-2. Теория S-решетчатого поля рассеяния для границы плоскости и дисперсионной среды*

Здесь, анализируется функция формирования изображений для данных измерений с S-решеткой около границы плоскости и формирования видео в диэлектрической дисперсионной среде. Поскольку временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , интегрирование в выражении (3-2-1) выполняется относительно частоты  $\omega$  вместо  $k$ , когда учитывается присутствие частотной зависимости диэлектрической постоянной. Соответственно, функция формирования изображений получается так, как задается посредством выражений (4-2-1) и (4-2-2).

[0410] Математическое выражение 196



$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_{0z}} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 2 - 1)
\end{aligned}$$

[0411] Математическое выражение 197

$$\begin{aligned}
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 2 - 2)
\end{aligned}$$

[0412] IV-3. Теория S-решетчатого поля рассеяния, применяемая к искривленной границе и дисперсионной среде

Здесь, анализируется функция формирования изображений для данных измерений с S-решеткой около искривленной границы и формирования видео в диэлектрической дисперсионной среде. Поскольку временной коэффициент составляет  $e^{-i\omega t}$ , интегрирование в выражении (3-3-28) выполняется относительно частоты  $\omega$  вместо  $k$ , когда учитывается присутствие частотной зависимости диэлектрической постоянной. Соответственно, функция формирования изображений получается так, как задается посредством выражений (4-3-1) и (4-3-2).

[0413] Математическое выражение 198

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{I2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{I2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 3 - 1)
\end{aligned}$$

[0414] Математическое выражение 199

$$\begin{aligned}
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
&\quad \cdot \cdot \cdot (4 - 3 - 2)
\end{aligned}$$

[0415] *V. Конфигурация и операции устройства формирования изображений*

На основе контента, описанного выше, в дальнейшем описываются конфигурация и операции устройства формирования изображений для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн.

[0416] Волны при использовании в данном документе, например, могут

представлять собой радиоволны либо могут представлять собой другие волны, к примеру, микроволны, миллиметровые волны или терагерцевые волны. Волны также могут быть световыми или звуковыми. Объект, который присутствует в зоне, может представлять собой живой организм, изготовленный материал или природный материал. В частности, устройство формирования изображений может использоваться для маммографии, и объект может представлять собой грудь.

[0417] Рассеиватель, включенный в объект, который присутствует в зоне, соответствует участку, который имеет физическую характеристику, отличающуюся от физических характеристик окружающих сред. В частности, физическая характеристика представляет собой физическую характеристику, которая соответствует отражательной способности волн. В случае если радиоволны используются в качестве волн, физическая характеристика может представлять собой диэлектрическую постоянную. Затем рассеиватель, включенный в объект, например, может представлять собой арматурную сталь, содержащуюся в бетоне на основе арматурной стали, либо опухоль, включенную в грудь. Зона, которая должна измеряться, может быть эквивалентной зоне объекта.

[0418] Фиг. 14 является базовой принципиальной схемой устройства формирования изображений согласно настоящему варианту осуществления. Устройство 100 формирования изображений, показанное на фиг. 14, включает в себя ряд 101 передатчиков, ряд 102 приемников и схему 103 обработки информации. Устройство 100 формирования изображений дополнительно может включать в себя дисплей 104.

[0419] Ряд 101 передатчиков представляет собой схему, которая передает волны. В частности, ряд 101 передатчиков включает в себя множество передатчиков 111, выравненных по прямой линии. Каждый передатчик 111 передает волну. Устройство 100 формирования изображений может включать в себя множество рядов 101 передатчиков, размещаемых друг параллельно с другом.

[0420] Ряд 102 приемников представляет собой схему, которая принимает волны. В частности, ряд 102 приемников включает в себя множество приемников 112, выравненных по другой прямой линии, которая является параллельной с прямой линией, вдоль которой выравняются передатчики 111. Каждый приемник 112 принимает волну. Ряд 102 приемников размещается с интервалом от ряда 101 передатчиков. Таким образом, ряд 102 приемников разнесен от ряда 101 передатчиков. Устройство 100 формирования изображений может включать в себя множество рядов 102 приемников, размещаемых друг параллельно с другом.

[0421] Схема 103 обработки информации представляет собой схему, которая выполняет обработку информации. В частности, схема 103 обработки информации формирует изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, в соответствии с данными измерений, полученными посредством ряда 101 передатчиков и ряда 102 приемников. Например, схема 103 обработки информации может выполнять вычислительную обработку, указываемую посредством теории, описанной выше при формировании изображений структуры рассеивателя в соответствии

с данными измерений.

[0422] Схема 103 обработки информации также может представлять собой компьютер или процессор компьютера. Схема 103 обработки информации может выполнять обработку информации посредством считывания программы из запоминающего устройства и выполнения программы. Альтернативно, схема 103 обработки информации может представлять собой специализированную схему, которая формирует изображение структуры рассеивателя в соответствии с данными измерений.

[0423] Чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, схема 103 обработки информации может формировать изображение, которое указывает структуру рассеивателя.

[0424] Затем схема 103 обработки информации может формировать изображение структуры рассеивателя посредством вывода изображения, указывающего структуру рассеивателя, на дисплей 104 и т.п. Альтернативно, схема 103 обработки информации может формировать изображение структуры рассеивателя посредством вывода изображения, указывающего структуру рассеивателя, на принтер (не показан). В качестве другой альтернативы, схема 103 обработки информации может формировать изображение структуры рассеивателя посредством передачи изображения в качестве электронных данных в другое устройство (не показано) через проводную или беспроводную связь.

[0425] Дисплей 104 представляет собой устройство отображения, такое как жидкокристаллический дисплей. Следует отметить, что дисплей 104 представляет собой просто произвольный составляющий элемент и не представляет собой важный составляющий элемент. Дисплей 104 может представлять собой внешнее устройство, которое не включается в конфигурацию устройства 100 формирования изображений.

[0426] Фиг. 15 является блок-схемой последовательности операций способа, показывающей базовые операции устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14. В частности, операции, показанные на фиг. 15, выполняются посредством составляющих элементов устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14, таких как ряд 101 передатчиков, ряд 102 приемников и схема 103 обработки информации.

[0427] Во-первых, передатчики 111 из ряда 101 передатчиков передают волны в зону, которая должна измеряться (S101). Например, передатчики 111 передают волны в последовательности. Приемники 112 из ряда 102 приемников принимают волны из зоны (S102). Например, приемники 112 принимают волны параллельно. Принимаемые волны также могут выражаться как рассеянные волны. Затем схема 103 обработки информации формирует изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования данных измерений, полученных посредством рядов 101 передатчиков и рядов 102 приемников (S103).

[0428] При формировании изображений структуры рассеивателя, схема 103 обработки информации сначала извлекает функцию формирования изображений, которая соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волн, в

соответствии с данными измерений и расстоянием. Данные измерений при использовании в данном документе означают данные измерений, полученные посредством всех или некоторых комбинаций передатчиков 111 и приемников 112. Расстояние при использовании в данном документе означает расстояние между прямой линией, вдоль которой выравниваются передатчики 111, и прямой линией, вдоль которой выравниваются приемники 112. Затем схема 103 обработки информации использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0429] Таким образом, устройство 100 формирования изображений допускает получение достаточного количества информации в качестве данных измерений в соответствии с множеством комбинаций передатчиков 111 из ряда 101 передатчиков и приемников 112 из ряда 102 приемников. Поскольку имеется интервал между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующую передачу волн в зону и соответствующий прием волн из зоны.

[0430] Посредством использования функции формирования изображений, извлекаемой в соответствии с данными измерений относительно волн и расстоянием между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя.

[0431] Кроме того, поскольку передатчики 111 и приемники 112 ограничены размещением на двух прямых линиях, устройство 100 формирования изображений допускает упрощение вычислительной обработки по сравнению со случаем, в котором передатчики 111 и приемники 112 размещаются произвольно. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает недопущение усложнения вычислительной обработки. Таким образом, устройство 100 формирования изображений допускает формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн и допускает повышение пространственного разрешения для формирования изображений структуры рассеивателя при недопущении усложнения вычислительной обработки.

[0432] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием. Затем схема 103 обработки информации может извлекать функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния.

[0433] Здесь, функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом.

Математическое выражение 200

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{jk\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{jk\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 201

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

[0434] Здесь,  $(x_1, y_1, z)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны, и  $D$  представляет зону. Кроме того,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\epsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0435] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, которая задается при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема имеют идентичную координату  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль границы плоскости зоны, посредством использования передатчиков 111 из ряда 101 передатчиков и приемников 112 из ряда 102 приемников.

[0436] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния.

[0437] Здесь, уравнение, удовлетворяющееся посредством функции распределения поля рассеяния, выражается следующим образом:.

Математическое выражение 202

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

где  $\Delta_5$  задается следующим образом:

Математическое выражение 203

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

[0438] Кроме того,  $c$  представляет скорость распространения волны, и  $t$  представляет временную длительность от передачи волны до приема волны.

[0439] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0440] Например, функция формирования изображений может выражаться следующим образом:

Математическое выражение 204

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0441] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений в соответствии с операцией ограничения, выполняемой для функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0442] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции распределения поля рассеяния.

Математическое выражение 205

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} e^{s_3x_2} e^{s_4z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

[0443] Здесь,  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 206

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

[0444] Кроме того,  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние.

[0445] Кроме того:

Математическое выражение 207

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0446] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0447] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 208

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i s_4 z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

[0448] Здесь,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 209

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
 k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
 k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
 \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
 s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
 \end{aligned}$$

[0449] Кроме того,  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 210

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

[0450] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние.

[0451] Кроме того:

Математическое выражение 211

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, полученные посредством преобразования Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0452] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между



рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0453] Например, устройство 100 формирования изображений может включать в себя множество рядов 101 передатчиков в качестве рядов 101 передатчиков, множество рядов 102 приемников в качестве рядов 102 приемников либо как множество рядов 101 передатчиков, так и множество рядов 102 приемников в качестве рядов 101 передатчиков и рядов 102 приемников.

[0454] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений получать достаточно информации в качестве данных измерений в соответствии с множеством комбинаций ряда(ов) 101 передатчиков и ряда(ов) 102 приемников. Это также обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений конструировать мультистатическую взаимосвязь двух направлений, которые являются, соответственно, параллельными и ортогональными к ряду(ам) 101 передатчиков и ряду(ам) 102 приемников. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0455] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений для одного ряда 101 передатчиков и  $n$  рядов 102 приемников, включенных в устройство 100 формирования изображений.

Математическое выражение 212

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^s \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{s_4 z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y + k_z z)} e^{i k_z z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

[0456] Кроме того,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 213

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

[0457] Кроме того,  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 214

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

[0458] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d_j$  представляет расстояние.

[0459] Кроме того,

Математическое выражение 215

$$\tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0460] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции формирования изображений. В частности, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством выполнения линейного суммирования, которое соответствует расстоянию между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в соответствии с данными измерений, полученными в соответствии с множеством комбинаций ряда 101 передатчиков и ряда 102 приемников.

[0461] Например, в случае если диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 216

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
&\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

[0462] Кроме того,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d$ ,  $\omega/dk$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 217

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2}
\end{aligned}$$

[0463] Кроме того,  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 218

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

[0464] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме, и  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией.

[0465] Кроме того,

Математическое выражение 219

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье

относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $z_1$ .

[0466] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникнуть в зависимости от частоты волны.

[0467] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием. Затем схема 103 обработки информации может извлекать функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния.

[0468] Здесь, функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 220

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

[0469] Кроме того,  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 221

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

[0470] Кроме того,  $(x_1, y_1, z_1)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z_2)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны, и  $D$  представляет зону. Кроме того,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

[0471] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию распределения поля рассеяния, заданную при таком предварительном условии, что позиция передачи и позиция приема имеют различные координаты  $Z$ , и извлекать функцию формирования изображений в соответствии с извлеченной функцией распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает соответствующее извлечение функции распределения поля рассеяния и функции формирования изображений в соответствии с данными измерений, полученными вдоль тангенциальной плоскости в зоне, имеющей искривленную границу, посредством использования передатчиков 111 из ряда 101 передатчиков и приемников 112 из ряда 102 приемников.

[0472] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния.

[0473] Здесь, уравнение, удовлетворяющееся посредством функции распределения поля рассеяния, выражается следующим образом:

Математическое выражение 222

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = 0$$

[0474] Кроме того,  $\Delta_6$  задается следующим образом:

Математическое выражение 223

$$\Delta_6 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

[0475] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений аналитически извлекать решение уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, в качестве функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает эффективное извлечение соответствующей функции распределения поля рассеяния.

[0476] Например, функция формирования изображений может выражаться следующим образом:

Математическое выражение 224

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

[0477] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений посредством использования функции распределения поля рассеяния, которая принимает ввод позиции, которая должна подвергаться формированию изображений. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает формирование изображений условия рассеяния в зоне и соответствующее формирование изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне.

[0478] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции распределения поля рассеяния.

Математическое выражение 225

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 - k_{y_1} y_1 - k_{z_2} z_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \cdot e^{i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{z_2} z_2)} e^{-s_3 z_1} e^{-s_4 z_1} e^{-s_5 z_2} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{z_2} \end{aligned}$$

[0479] Здесь,  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 226

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_5 &= \frac{i\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}
\end{aligned}$$

[0480] Кроме того,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_J, z_J)$ .

[0481] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции распределения поля рассеяния. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции распределения поля рассеяния, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0482] Например, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 227

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty dk \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I,J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_I + k_{y2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

[0483] Здесь,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 228

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
s_3 &= \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

[0484] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

[0485] Это обеспечивает возможность устройству 100 формированию изображений надлежащим образом отражать данные измерений относительно волн и расстояние между рядом 101 передатчиков и рядом 102 приемников в функции формирования изображений. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает извлечение функции формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния.

[0486] Например, схема 103 обработки информации может извлекать функцию формирования изображений посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют, надлежащим образом, множеству комбинаций ряда(ов) 101 передатчиков и ряда(ов) 102 приемников.

[0487] Каждая из функций распределения поля рассеяния выражается следующим образом:

Математическое выражение 229

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

[0488] Кроме того,  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 230

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \end{aligned}$$

[0489] Кроме того,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

[0490] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая надлежащим образом представляет условие рассеяния, посредством объединения функций распределения поля рассеяния, которые отражают данные измерений относительно волн и расстояние между рядом(ами) 101 передатчиков и рядом(ами) 102 приемников.

[0491] Например, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема 103 обработки информации может извлекать следующее в качестве функции формирования изображений.

Математическое выражение 231



$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J1})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_{I1} + k_{y_2} y_{J1})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

[0492] Здесь,  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 232

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-ik_{y_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

[0493] Кроме того,  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме, и  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией.

[0494] Кроме того,  
Математическое выражение 233

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_y, k_z, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

[0495] Это обеспечивает возможность устройству 100 формирования изображений извлекать функцию формирования изображений, которая отражает параметры, связанные с дебаевской релаксацией. Соответственно, устройство 100 формирования изображений допускает недопущение ухудшения точности, которое может возникать в зависимости от частоты волны.

[0496] Например, функция распределения поля рассеяния может задаваться как функция для ввода позиции передачи волны и позиции приема волны и вывода значения, которое указывает волну в позиции приема. Функция формирования изображений может задаваться на основе позиции передачи и значения, выводимого из функции распределения поля рассеяния, в качестве результата ввода позиции, которая должна подвергаться формированию изображений, в качестве позиции приема в функцию распределения поля рассеяния.

[0497] Затем схема 103 обработки информации может извлекать функцию распределения поля рассеяния посредством использования данных измерений в качестве граничных условий и извлекать функцию формирования изображений посредством использования функции распределения поля рассеяния. Здесь, функция распределения поля рассеяния и функция формирования изображений могут отражать расстояние между прямой линией, вдоль которой выравниваются передатчики 111, и прямой линией, вдоль которой выравниваются приемники 112.

[0498] Например, другие составляющие элементы, выражения, переменные и т.д., описанные в настоящем варианте осуществления, являются применимыми надлежащим образом к ряду 101 передатчиков, ряду 102 приемников, схеме 103 обработки информации, функции распределения поля рассеяния, функции формирования изображений и т.д., описанным выше, в отношении базовой конфигурации и базовых операций.

[0499] Функция распределения поля рассеяния, функция формирования изображений и т.д., предоставленные в настоящем варианте осуществления, могут модифицироваться и применяться надлежащим образом. Например, можно использовать математическое выражение, которое представляет контент, практически идентичный контенту, заданному посредством математического выражения, описанного выше, либо использовать любое другое математическое выражение, извлекаемое на основе теории, описанной выше.

[0500] Фиг. 16 является блок-схемой, показывающей конкретную конфигурацию устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14.

[0501] Ряд 101 передатчиков и ряд 102 приемников устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14, могут включаться в мультистатическую решетчатую

антенну 1008. Схема 103 обработки информации устройства 100 формирования изображений, показанного на фиг. 14, может соответствовать одному или более из множества составляющих элементов, показанных на фиг. 16. В частности, например, схема 103 обработки информации может соответствовать модулю 1005 вычисления для обработки сигналов. Кроме того, дисплей 104, показанный на фиг. 14, может соответствовать устройству 1006 мониторинга сигналов.

[0502] Микроволновые сигналы, используемые в устройстве 100 формирования изображений, представляют собой псевдослучайные сигналы временных рядов (псевдошумовые (PN) коды), которые имеют частотные компоненты от постоянного тока до 20 ГГц. Эти сигналы выводятся из FPGA-платы 1002 для формирования PN-кодов. Более конкретно, эти сигналы поступают в двух типах. Один тип сигналов (сигналы локального осциллятора (LO)) передается через схему задержки (цифровую управляющую плату 1003) в детекторную RF-схему (детекторную RF-волновую плату 1007).

[0503] Другой тип сигналов (радиочастотные (RF) сигналы) передается и излучается в микроволновую UWB-антенну для передачи в мультистатической решетчатой антенне 1008. Рассеянные микроволновые сигналы принимаются посредством UWB-антенны для приема в мультистатической решетчатой антенне 1008 и передаются в детекторную RF-схему (детекторную RF-волновую плату 1007). Здесь, сигналы передачи/приема проходят через избирательный коммутатор антенных элементов (RF-коммутатор 1004 UWB-антенн).

[0504] Задержанные сигналы (LO-сигналы) задерживаются на количество времени, соответствующее  $1/2^n$ , умноженному на временную длительность, за которую значения PN-кодов изменяются, где  $n$  является целым числом, большим 2. Обнаруженные сигналы подвергаются аналого-цифровому преобразованию и сохраняются в качестве промежуточных частотных (IF) сигналов посредством модуля 1005 вычисления для обработки сигналов. Кроме того, информация, указывающая обнаруженные сигналы, может отображаться на устройстве 1006 мониторинга сигналов.

[0505] Временная синхронизация этих последовательностей операций управляется посредством микропроцессора в цифровой управляющей плате 1003 таким образом, чтобы синхронизироваться с сигналами, принимаемыми из дальногомера 1001 (сигналами расстояния или сигналами свободного хода). Например, микропроцессор в цифровой управляющей плате 1003 может передавать, например, коммутирующий селекторный сигнал и триггер развертки с использованием PN-кода.

[0506] Кроме того, модуль 1005 вычисления для обработки сигналов выполняет трехмерное воссоздание посредством использования сигналов, которые подвергаются аналого-цифровому преобразованию и сохраняются, с тем чтобы отображать трехмерное изображение. Модуль 1005 вычисления для обработки сигналов также может выполнять калибровку сигналов. Модуль 1005 вычисления для обработки сигналов также может отображать необработанные формы сигналов. Кроме того, например, модуль 1005 вычисления для обработки сигналов может сохранять трехмерные изображения или другие данные в запоминающем устройстве 1009.

[0507] Конфигурация, показанная на фиг. 16, представляет собой просто пример, и конфигурация устройства 100 формирования изображений не ограничена конфигурацией, показанной на фиг. 16. Часть конфигурации, показанной на фиг. 16, может опускаться или может модифицироваться.

[0508] *Дополнительные замечания*

Хотя некоторые аспекты устройства формирования изображений описываются до выше со ссылкой на вариант осуществления, режимы устройства формирования изображений не ограничены этим вариантом осуществления. Любая модификация, допустимая специалистами в данной области техники, может вноситься в вариант осуществления, и множество составляющих элементов согласно варианту осуществления могут комбинироваться произвольно. Например, обработка, которая выполняется посредством конкретного составляющего элемента согласно варианту осуществления, может выполняться посредством другого составляющего элемента, вместо конкретного составляющего элемента. Кроме того, последовательность множества процессов может изменяться, или множество процессов могут выполняться параллельно.

[0509] Способ формирования изображений, включающий в себя этапы, выполняемые посредством каждого составляющего элемента устройства формирования изображений, может осуществляться посредством любого произвольного устройства или системы. Например, часть или весь способ формирования изображений может осуществляться посредством компьютера, который включает в себя, например, процессор, запоминающее устройство и схему ввода-вывода. В это время, программа для инструктирования компьютеру осуществлять способ формирования изображений может выполняться посредством компьютера, с тем чтобы осуществлять способ формирования изображений.

[0510] Вышеописанная программа может записываться на энергонезависимом машиночитаемом носителе записи.

[0511] Каждый составляющий элемент устройства формирования изображений может быть сконфигурирован посредством специализированных аппаратных средств или посредством аппаратных средств общего назначения, которые выполняют вышеописанную программу и т.п., либо может быть сконфигурирован посредством комбинации означенного. Аппаратные средства общего назначения могут быть сконфигурированы, например, посредством запоминающего устройства, которое записывает программу, и процессора общего назначения, который считывает и выполняет программу из запоминающего устройства. Запоминающее устройство, при использовании в данном документе, например, может представлять собой полупроводниковое запоминающее устройство или жесткий диск, и процессор общего назначения, например, может представлять собой CPU.

[0512] Специализированные аппаратные средства могут быть сконфигурированы, например, посредством запоминающего устройства и специализированного процессора. Например, специализированный процессор может осуществлять способ формирования

изображений, описанный выше со ссылкой на запоминающее устройство для записи данных измерений.

[0513] Каждый составляющий элемент устройства формирования изображений может представлять собой электрическую схему. Эти электрические схемы могут быть сконфигурированы как одна электрическая схема в целом, либо каждая из них может представлять собой различную электрическую схему. Эти электрические схемы могут соответствовать специализированным аппаратным средствам или аппаратным средствам общего назначения, которые выполняют вышеописанную программу и т.п.

*Промышленная применимость*

[0514] Один аспект настоящего раскрытия сущности является полезным в устройстве формирования изображений для формирования изображений структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, посредством использования волн, и является применимым, например, к геофизическим исследованиям или медицинской диагностике.

*Список номеров ссылок*

[0515] 100 - устройство формирования изображений

101 - ряд передатчиков

102 - ряд приемников

103 - схема обработки информации

104 - дисплей

111 - передатчик

112 - приемник

1001 - дальномер

1002 - FPGA-плата для формирования PN-кодов

1003 - цифровая управляющая плата

1004 - RF-коммутатор UWB-антенн

1005 - модуль вычисления для обработки сигналов

1006 - устройство мониторинга сигналов

1007 - детекторная RF-волновая плата

1008 - мультистатическая решетчатая антенна

1009 - запоминающее устройство

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство формирования изображений, содержащее:

- ряд передатчиков, включающих в себя множество передатчиков, которые выравняются по прямой линии и которые передают волну в зону, которая должна измеряться;

- ряд приемников, включающих в себя множество приемников и предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, причем множество приемников выравняются по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выравняется множество передатчиков, и принимают волну из зоны; и

- схему обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получают посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравняется множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравняется множество приемников.

2. Устройство формирования изображений по п. 1,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и

- функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 1

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 2

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

3. Устройство формирования изображений по п. 2,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции

распределения поля рассеяния, и

- уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 3

$$\{\Delta_s^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \varphi = 0$$

где  $\Delta_s$  задается следующим образом:

Математическое выражение 4

$$\Delta_s = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

где  $c$  представляет скорость распространения волны, и  $t$  представляет временную длительность от передачи волны до приема волны.

4. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 5

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

5. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 6

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3) \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 7

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

где  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 8

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

6. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 9

$$\begin{aligned} \rho(x, y, z) &= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ &\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ &\quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 10

$$\begin{aligned} k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\ k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\ k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\ \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\ s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2} \end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 11

$$s_3 = \frac{-i k_{y_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 12

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье



относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

7. Устройство формирования изображений по п. 1, содержащее:

- множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков;
- множество рядов приемников в качестве ряда приемников; или
- множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда передатчиков и ряда приемников.

8. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3, содержащее:

- множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков;
- множество рядов приемников в качестве ряда приемников; или
- множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда передатчиков и ряда приемников.

9. Устройство формирования изображений по п. 8,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 13

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 14

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

где  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 15

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

10. Устройство формирования изображений по п. 8,

- в котором, для одного ряда передатчиков и  $n$  рядов приемников, которые включаются в качестве ряда передатчиков и ряда приемников в устройство формирования изображений, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 16

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 - x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 17

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
 k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
 k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
 \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_x \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
 s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
 \end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 18

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $u_1$  и  $u_2$ ,  $d_j$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 19

$$\tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $u_1$  и  $u_2$ .

11. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки

информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 20

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i d k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 21

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
 k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
 k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
 \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
 \frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a + b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
 s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2}
 \end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 22

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 23

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $z_1$ .

12. Устройство формирования изображений по п. 1,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и

- функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 24

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 25

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z_1)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z_2)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

13. Устройство формирования изображений по п. 12,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, и

- уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 26

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = 0$$

где  $\Delta_6$  задается следующим образом:

Математическое выражение 27

$$\Delta_6 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

14. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 28

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

15. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 29

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 - k_{y_1}y_1 - k_{y_2}y_2)} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 30

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \end{aligned}$$

где  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

16. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 31

$$\begin{aligned} & \rho(x, y, z) \\ &= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 - k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_x z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_x z} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

## Математическое выражение 32

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{y_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_J, z_J)$ .

17. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13, содержащее:

- множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков;
- множество рядов приемников в качестве ряда приемников; или
- множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда передатчиков и ряда приемников.

18. Устройство формирования изображений по п. 17,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

## Математическое выражение 33

$$\begin{aligned}
&\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2}
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 34

$$k_x = k_{x_1} + is_3$$

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_4 = \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

$$s_5 = \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_J, z_J)$ .

19. Устройство формирования изображений по п. 17,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию формирования изображений посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют множеству комбинаций, связанных с рядом передатчиков и рядом приемников, и

- каждая из множества функций распределения поля рассеяния соответствует функции распределения поля рассеяния и выражается следующим образом:

Математическое выражение 35

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k)$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} \sum_{I,J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \cdot e^{i(k_x x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + is_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 36

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{\left(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}\right)^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}
\end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I+d, y_J, z_J)$ .

20. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 37

$$\begin{aligned}
\rho(x, y, z) &= \int_0^\infty \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty d\omega \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \left\{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \right. \\
&\quad \left. \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y_1} y_I + k_{y_2} y_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \right\} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 38



$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{i k_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 39

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

21. Способ формирования изображений, содержащий этапы, на которых:

- инструктируют множеству передатчиков, включенных в ряд передатчиков и выравненных по прямой линии, передавать волну в зону, которая должна измеряться;
- инструктируют множеству приемников, включенных в ряд приемников, предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, принимать волну из зоны, причем множество приемников выравняется по другой прямой линии, которая является параллельной с прямой линией, вдоль которой выравняется множество передатчиков; и
- извлекают функцию формирования изображений в соответствии с данными

измерений и расстоянием и используют функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравняется множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравняется множество приемников.

## ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ, ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЗАЯВИТЕЛЕМ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ

1. Устройство формирования изображений, содержащее:

- ряд передатчиков, включающих в себя множество передатчиков, которые выравнены по прямой линии и которые передают волну в зону, которая должна измеряться;
- ряд приемников, включающих в себя множество приемников и предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, причем множество приемников выравнено по другой прямой линии, параллельной прямой линии, вдоль которой выравнено множество передатчиков, и принимают волну из зоны; и

- схему обработки информации, которая извлекает функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и использует функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получают посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выравнено множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выравнено множество приемников.

2. Устройство формирования изображений по п. 1,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и

- функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 1

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z) = \iiint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 2

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

3. Устройство формирования изображений по п. 2,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции

распределения поля рассеяния, и

- уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 3

$$\{\Delta_5^2 - \frac{4}{c^2} \partial_t^2 \partial_z^2 - 4(\partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2)(\partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2)\} \phi = 0$$

где  $\Delta_5$  задается следующим образом:

Математическое выражение 4

$$\Delta_5 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_z^2$$

где  $c$  представляет скорость распространения волны, и  $t$  представляет временную длительность от передачи волны до приема волны.

4. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 5

$$\rho(x, y, z) = \int_0^\infty \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

5. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 6

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1} x_1 + k_{y_1} y_1 + k_{y_2} y_2)} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z} e^{i d(k_{x_1} + i s_3) \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + i s_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 7

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2} \end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ , и  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 8

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $z$ .

6. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 9

$$\begin{aligned} & \rho(x, y, z) \\ &= \int \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1, x \\ y_2 \rightarrow y_1, y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^\infty \int_{-s}^\infty \int_{-s}^\infty \int_{-s}^\infty e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 10

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\ k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\ \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\ s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + i s_3)^2} \end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 11

$$s_3 = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 12

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $z$ .

7. Устройство формирования изображений по п. 1, содержащее:

- множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков;
- множество рядов приемников в качестве ряда приемников; или
- множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда

передатчиков и ряда приемников.

8. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3, содержащее:

- множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков;
- множество рядов приемников в качестве ряда приемников; или
- множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда

передатчиков и ряда приемников.

9. Устройство формирования изображений по п. 8,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 13

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_{x_1}x_1 + k_{y_1}y_1 + k_{y_2}y_2)} e^{s_3x_2} e^{s_4z} e^{\frac{id(k_{x_1} + is_3)\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{x_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\ & \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d(k_{x_1} + is_3)}{dk_{x_1}} \right) dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{y_2} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 14

$$\begin{aligned} k_x &= k_{y_1} + is_3 \\ s_3 &= \frac{-ik_{x_1}\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x\sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= i\sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{x_1} + is_3)^2} \end{aligned}$$

где  $k_{x_1}$ ,  $k_{y_1}$  и  $k_{y_2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 15

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $z$ .

10. Устройство формирования изображений по п. 8,

- в котором, для одного ряда передатчиков и  $p$  рядов приемников, которые включаются в качестве ряда передатчиков и ряда приемников в устройство формирования

изображений, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 16

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int_0^{\infty} \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 - x \\ y_2 \rightarrow y_1 - y}} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} e^{-i(k_x x - k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} \\
 & \cdot \sum_{j=1, n} \left\{ \exp \left( \frac{i d_j k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \right) \tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \right\} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

где  $k_x, k_z, k, dk/dk_z$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 17

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
 k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
 k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
 \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
 s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2}
 \end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 18

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}, k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ ,  $d_j$  представляет расстояние, и

Математическое выражение 19

$$\tilde{\Phi}_j(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ .

11. Устройство формирования изображений по п. 2 или 3,  
 - в котором, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 20

$$\begin{aligned}
 & \rho(x, y, z) \\
 &= \int \lim_{\substack{x_2 \rightarrow x_1 = x \\ y_2 \rightarrow y_1 = y}}^{\infty} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z, k) d\omega \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{s_4 z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
 &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y_1} y + k_{y_2} y)} e^{i k_z z} e^{\frac{i dk_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}} \\
 & \quad \cdot \tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k) \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
 \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$  и  $s_4$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 21

$$\begin{aligned}
 k_x &= k_{y_1} + i s_3 \\
 k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
 k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
 \frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{k(k_x^2 + k_z^2)} \\
 \frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
 s_4 &= i k_z = i \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - (k_{y_1} + i s_3)^2}
 \end{aligned}$$

где  $s_3$  задается следующим образом:

Математическое выражение 22

$$s_3 = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$



представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 23

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

12. Устройство формирования изображений по п. 1,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния в соответствии с данными измерений и расстоянием и извлекает функцию формирования изображений в соответствии с функцией распределения поля рассеяния, и

- функция распределения поля рассеяния представляет собой функцию, выражаемую следующим образом:

Математическое выражение 24

$$\varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = \iint_D \frac{e^{ik\rho_1}}{\rho_1} \frac{e^{ik\rho_2}}{\rho_2} \varepsilon(\xi, \eta, \zeta) d\xi d\eta d\zeta$$

где  $\rho_1$  и  $\rho_2$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 25

$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - \xi)^2 + (y_1 - \eta)^2 + (z_1 - \zeta)^2}$$

$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - \xi)^2 + (y_2 - \eta)^2 + (z_2 - \zeta)^2}$$

где  $(x_1, y_1, z_1)$  представляет позицию передачи волны,  $(x_2, y_2, z_2)$  представляет позицию приема волны,  $k$  представляет волновое число волны,  $D$  представляет зону,  $(\xi, \eta, \zeta)$  соответствует позиции отражения волны, и  $\varepsilon$  соответствует неизвестной отражательной способности в позиции отражения.

13. Устройство формирования изображений по п. 12,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию распределения поля рассеяния посредством решения уравнения, удовлетворяющегося посредством функции распределения поля рассеяния, и

- уравнение выражается следующим образом:

Математическое выражение 26

$$\{\Delta_6 - 2(ik)^2\} \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) = 0$$

где  $\Delta_6$  задается следующим образом:

Математическое выражение 27

$$\Delta_6 = \partial_{x_1}^2 + \partial_{x_2}^2 + \partial_{y_1}^2 + \partial_{y_2}^2 + \partial_{z_1}^2 + \partial_{z_2}^2$$

14. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором функция формирования изображений выражается следующим образом:

Математическое выражение 28

$$\rho(x, y, z) = \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений.

15. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 29

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 - k_y y_1 - k_z z_1)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_I)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{d k_x} d k_x d k_y d k_z \end{aligned}$$

где  $k_x, s_3, s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 30

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}} \end{aligned}$$

где  $k_{x1}, k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

16. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 31

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) dk \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 - k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_{I1} + k_{y2} y_{J2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y1} dk_{y2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_{y1} y_1 + k_{y2} y_2)} e^{-s_3 d} e^{ik_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_{y1} y_{I1} + k_{y2} y_{J2})} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y1} dk_{y2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x, k_z, k, dk/dk_z, s_3, s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 32

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y1}^2 + k_{y2}^2) + \frac{(k_{y1}^2 - k_{y2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y1}^2 - k_{y2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y1}^2 + k_{y2}^2) + \frac{(k_{y1}^2 - k_{y2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
s_3 &= \frac{-ik_x \sqrt{k^2 - k_{y2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y2}^2 - k_{y1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y2}^2 - k_{y1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y2}^2 - k_{y1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}, k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1, y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

17. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13, содержащее:

- множество рядов передатчиков в качестве ряда передатчиков;
- множество рядов приемников в качестве ряда приемников; или
- множество рядов передатчиков и множество рядов приемников в качестве ряда передатчиков и ряда приемников.

18. Устройство формирования изображений по п. 17,

- в котором схема обработки информации извлекает, в качестве функции распределения поля рассеяния:

Математическое выражение 33

$$\begin{aligned} & \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\ &= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i(k_x x_1 + k_y y_1 + k_z z_1)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\ & \quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_I)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 y_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_{x_1}} dk_{x_1} dk_{y_1} dk_{z_1} \end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 34

$$\begin{aligned} k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\ s_3 &= \frac{-i k_{y_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\ s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

19. Устройство формирования изображений по п. 17,

- в котором схема обработки информации извлекает функцию формирования изображений посредством объединения множества функций распределения поля рассеяния, которые соответствуют множеству комбинаций, связанных с рядом передатчиков и рядом приемников, и

- каждая из множества функций распределения поля рассеяния соответствует функции распределения поля рассеяния и выражается следующим образом:

Математическое выражение 35

$$\begin{aligned}
& \varphi(x_1, y_1, x_2, y_2, z_1, z_2, k) \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x_1 + k_y y_1 + k_z z_2)} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_J)} e^{-s_3 d} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} e^{s_3 x_2} e^{s_4 z_1} e^{s_5 z_2} \frac{d(k_x + i s_3)}{dk_x} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2}
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 36

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + i s_3 \\
s_3 &= \frac{-i k_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-i k_x \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_4 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}} \\
s_5 &= \frac{i \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2} \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}
\end{aligned}$$

где  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние, и  $\Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k)$  представляет данные измерений, когда позиция передачи расположена в  $(x_I, y_I, z_I)$ , и позиция приема расположена в  $(x_I + d, y_J, z_J)$ .

20. Устройство формирования изображений по п. 12 или 13,

в котором, когда диэлектрическая постоянная, которая соответствует отражательной способности в зоне, имеет частотную зависимость, схема обработки информации извлекает, в качестве функции формирования изображений:

Математическое выражение 37

$$\begin{aligned}
& \rho(x, y, z) \\
&= \int_0^{\infty} \varphi(x, y, x, y, z, z, k) d\omega \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y_1 + k_z z_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} \\
&= \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i(k_x x + k_y y_1 + k_z z_2)} e^{-s_3 d} e^{i k_z z} \sum_{I, J} \{ \Phi(x_I, y_I, y_J, z_I, z_J, k) \\
&\quad \cdot e^{i(k_x x_I + k_y y_I + k_z z_J)} e^{-s_4 z_I} e^{-s_5 z_J} \} \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \left( \frac{dk}{dk_z} \right) dk_x dk_{y_1} dk_{y_2} dk_z
\end{aligned}$$

где  $k_x$ ,  $k_z$ ,  $k$ ,  $dk/dk_z$ ,  $d\omega/dk$ ,  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  задаются следующим образом:

Математическое выражение 38

$$\begin{aligned}
k_x &= k_{x_1} + is_3 \\
k_z &= \sqrt{(\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2} + \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2})^2 - k_x^2} \\
k &= \frac{1}{2} \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}} \\
\frac{dk}{dk_z} &= \frac{k_z \left\{ 1 - \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{(k_x^2 + k_z^2)^2} \right\}}{2 \sqrt{k_x^2 + k_z^2 + 2(k_{y_1}^2 + k_{y_2}^2) + \frac{(k_{y_1}^2 - k_{y_2}^2)^2}{k_x^2 + k_z^2}}} \\
\frac{d\omega}{dk} &= \frac{c_0^2 k + \alpha c_0^2 \omega^2 k}{(a+b)\omega + 2a\alpha\omega^2 - \alpha c_0^2 \omega k^2} \\
s_3 &= \frac{-ik_{x_1} \sqrt{k^2 - k_{y_2}^2}}{\sqrt{k^2 - k_{y_1}^2}} = \frac{-ik_x \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_4 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} + \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \\
s_5 &= \frac{ik_z \left( \sqrt{k_x^2 + k_z^2} - \frac{k_{y_2}^2 - k_{y_1}^2}{\sqrt{k_x^2 + k_z^2}} \right)}{2\sqrt{k_x^2 + k_z^2}}
\end{aligned}$$

где  $(x, y, z)$  представляет позицию, которая должна подвергаться формированию изображений,  $k_{x1}$ ,  $k_{y1}$  и  $k_{y2}$  представляют волновые числа функции распределения поля рассеяния относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ ,  $d$  представляет расстояние,  $\omega$  представляет угловую частоту волны,  $c_0$  представляет скорость распространения волны в вакууме,  $a$ ,  $b$  и  $\alpha$  представляют параметры, связанные с дебаевской релаксацией, и

Математическое выражение 39

$$\tilde{\Phi}(k_x, k_{y_1}, k_{y_2}, k)$$

представляет данные измерений, которые подвергнуты преобразованию Фурье относительно  $x_1$ ,  $y_1$  и  $y_2$ .

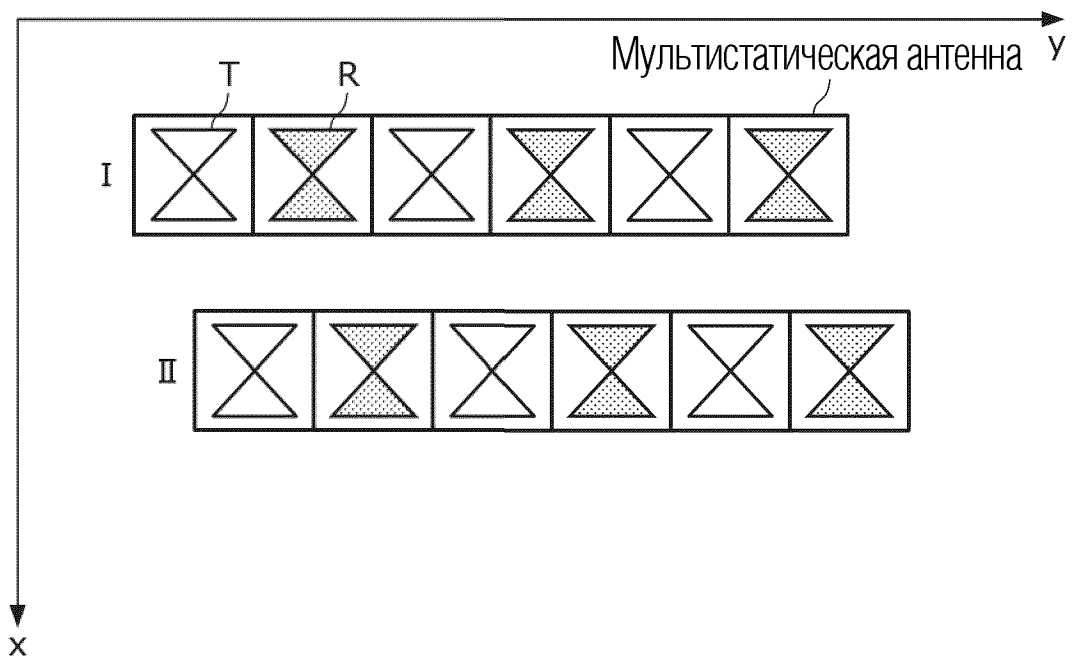
21. Способ формирования изображений, содержащий этапы, на которых:

- инструктируют множеству передатчиков, включенных в ряд передатчиков и выравненных по прямой линии, передавать волну в зону, которая должна измеряться;

- инструктируют множеству приемников, включенных в ряд приемников, предоставленных с интервалом от ряда передатчиков, принимать волну из зоны, причем множество приемников выравняются по другой прямой линии, которая является параллельной с прямой линией, вдоль которой выравняется множество передатчиков; и

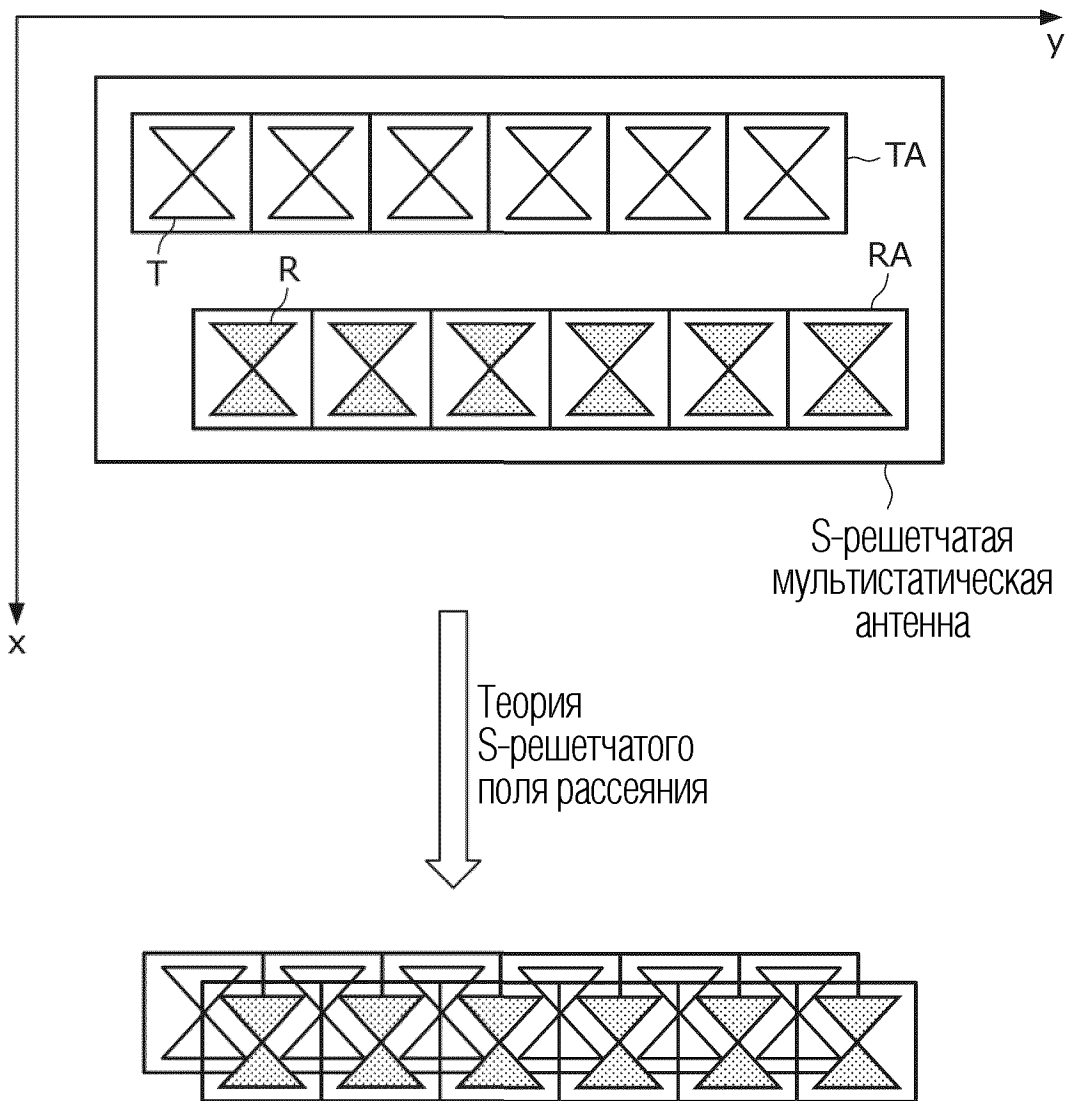
- извлекают функцию формирования изображений в соответствии с данными измерений и расстоянием и используют функцию формирования изображений для того, чтобы формировать изображение структуры рассеивателя, включенного в объект, который присутствует в зоне, причем функция формирования изображений соответствует функции распределения поля рассеяния, связанной с рассеянием волны, причем данные измерений получаются посредством всех или некоторых комбинаций множества передатчиков и множества приемников, причем расстояние представляет собой расстояние между прямой линией, вдоль которой выстраиваются множество передатчиков, и другой прямой линией, вдоль которой выстраиваются множество приемников.

ФИГ. 1

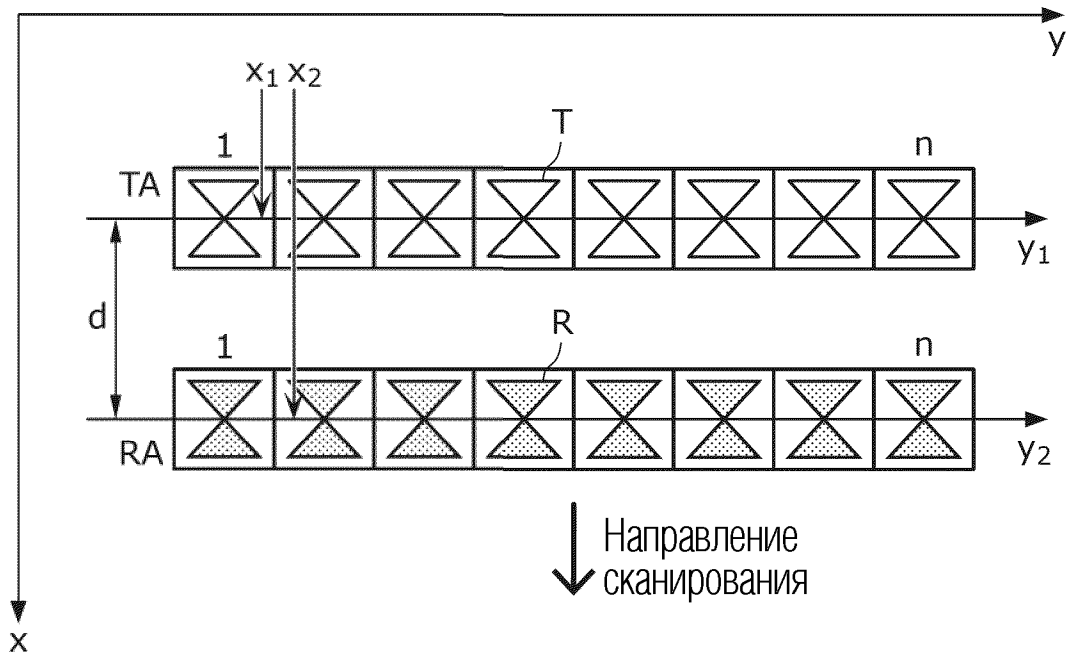




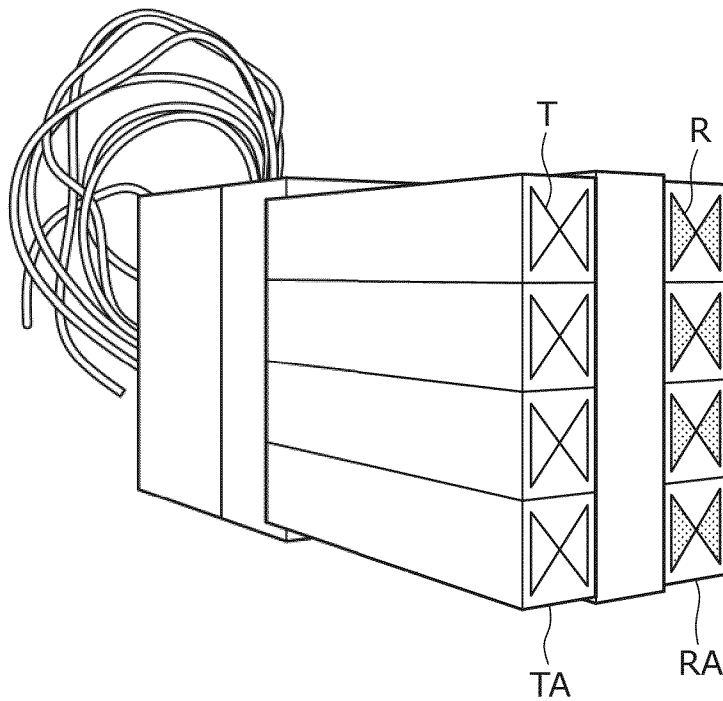
ФИГ. 2



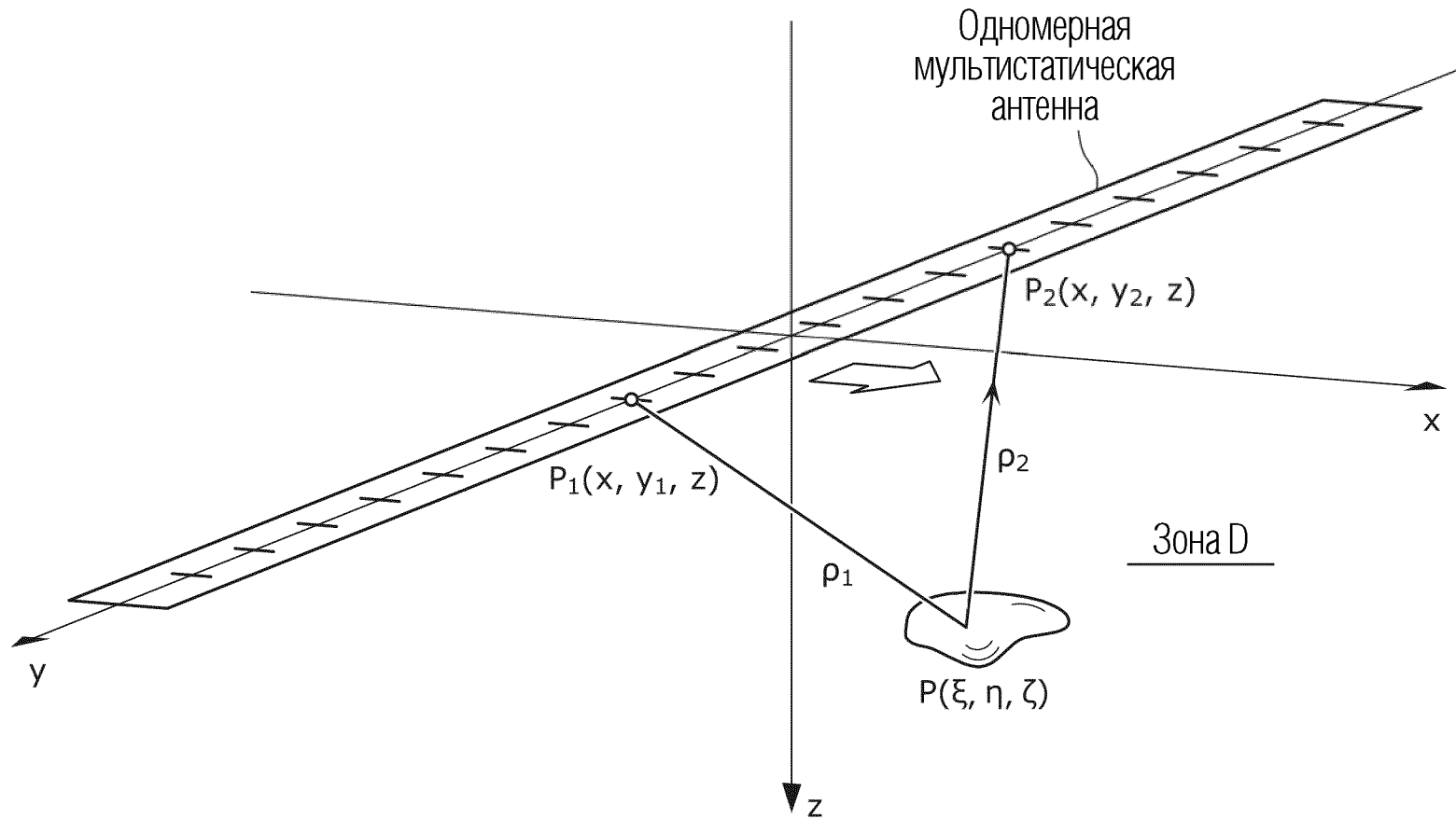
ФИГ. 3



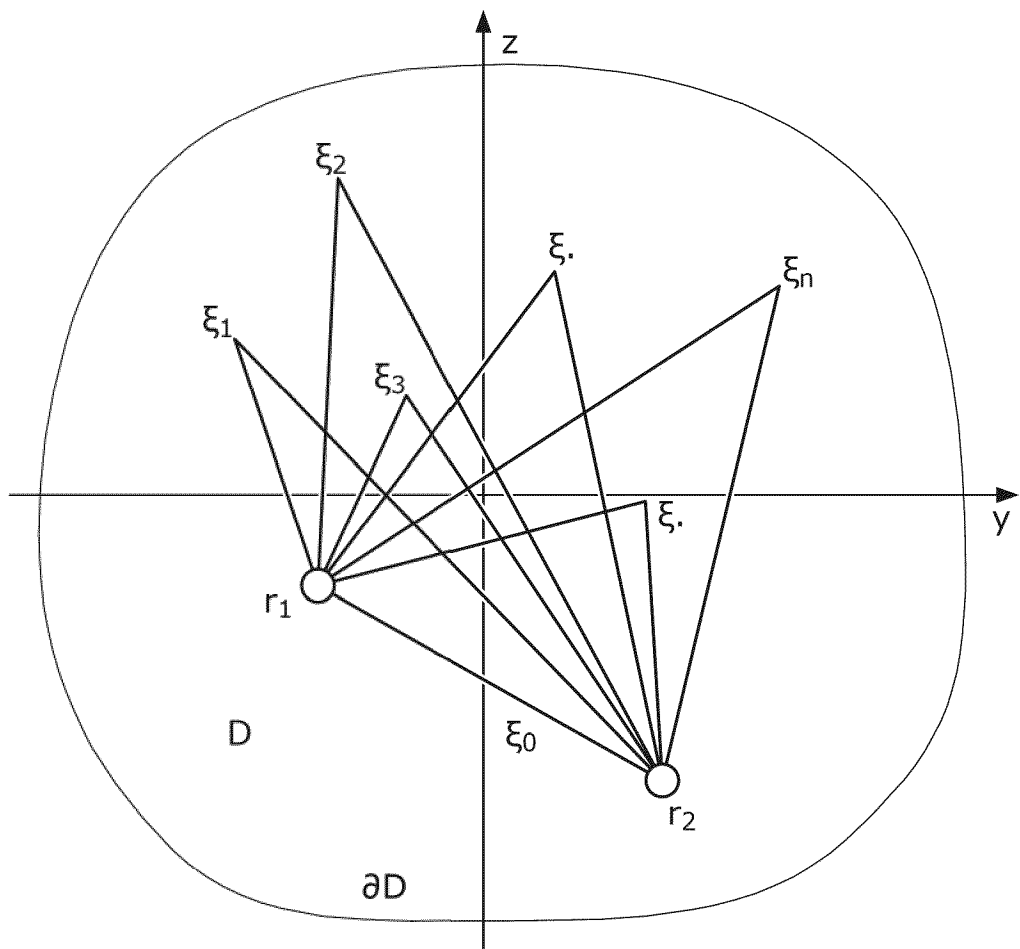
ФИГ. 4



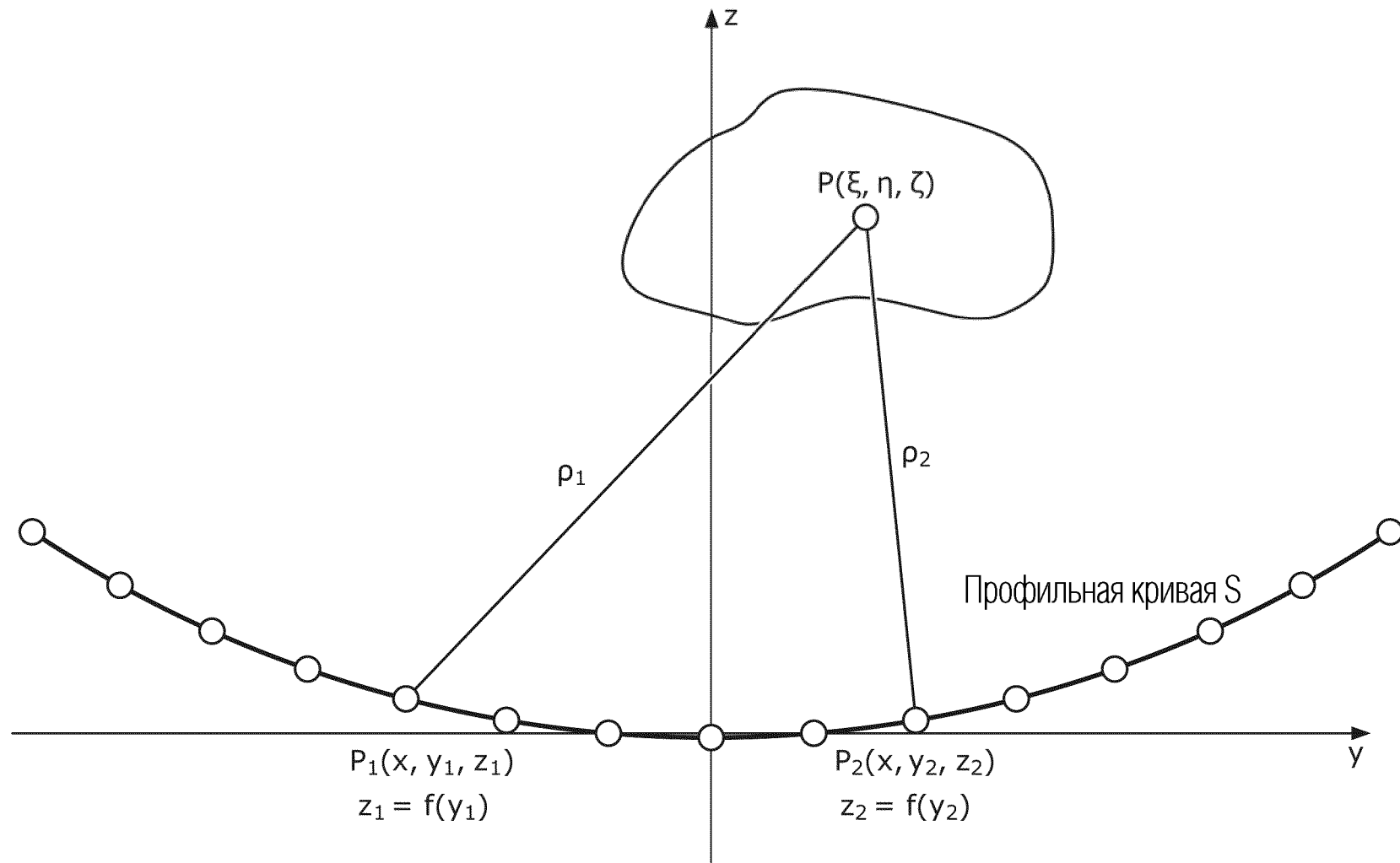
ФИГ. 5



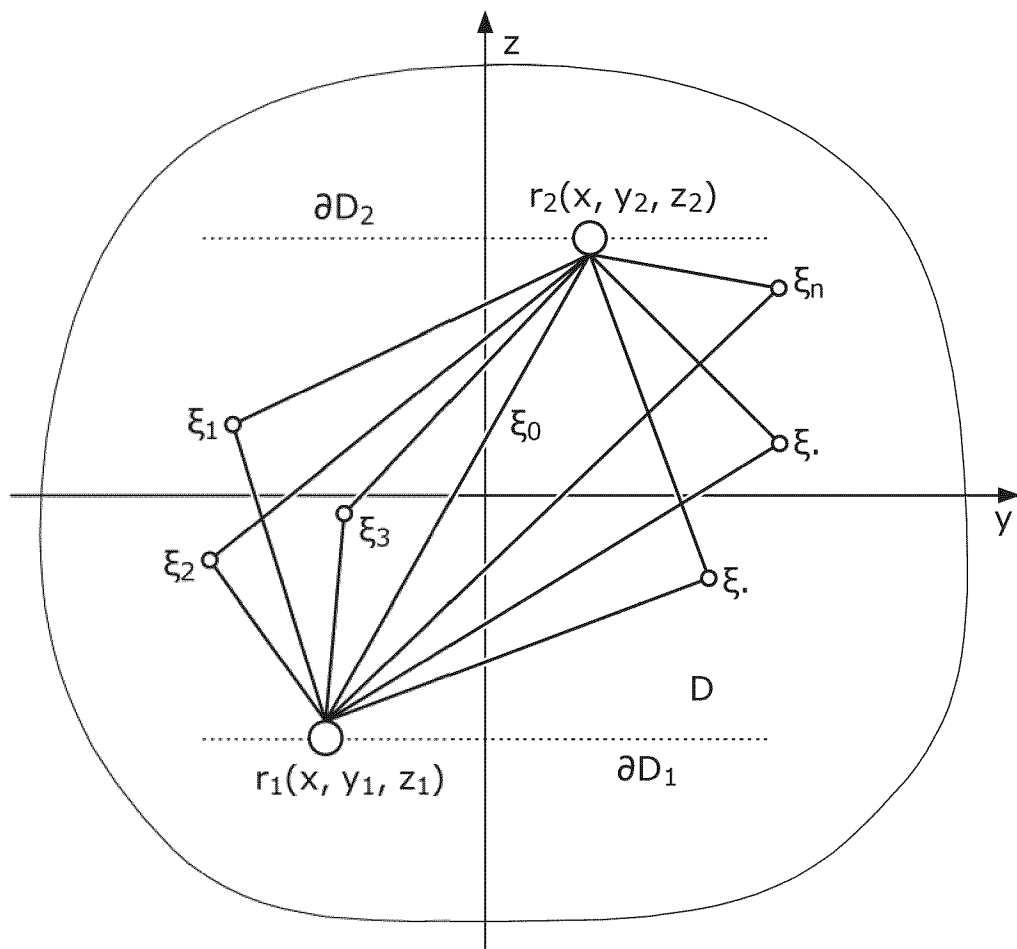
ФИГ. 6



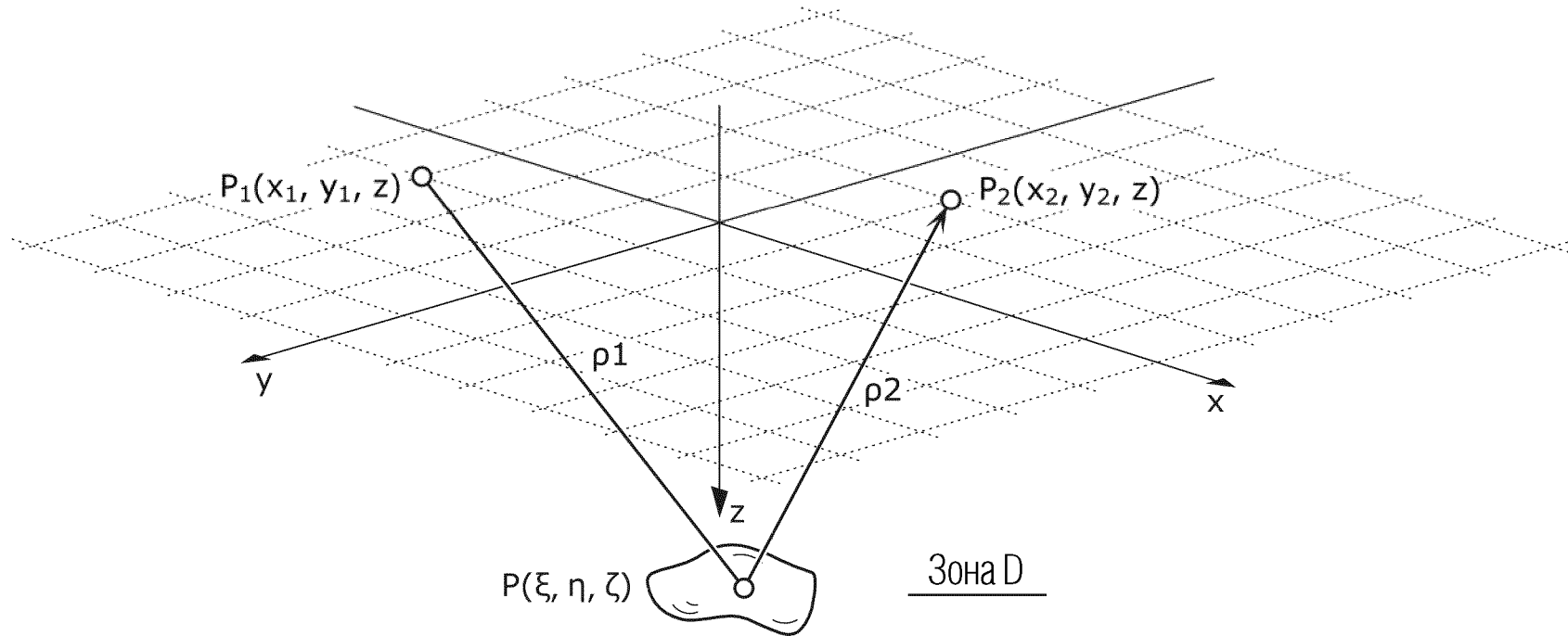
ФИГ. 7



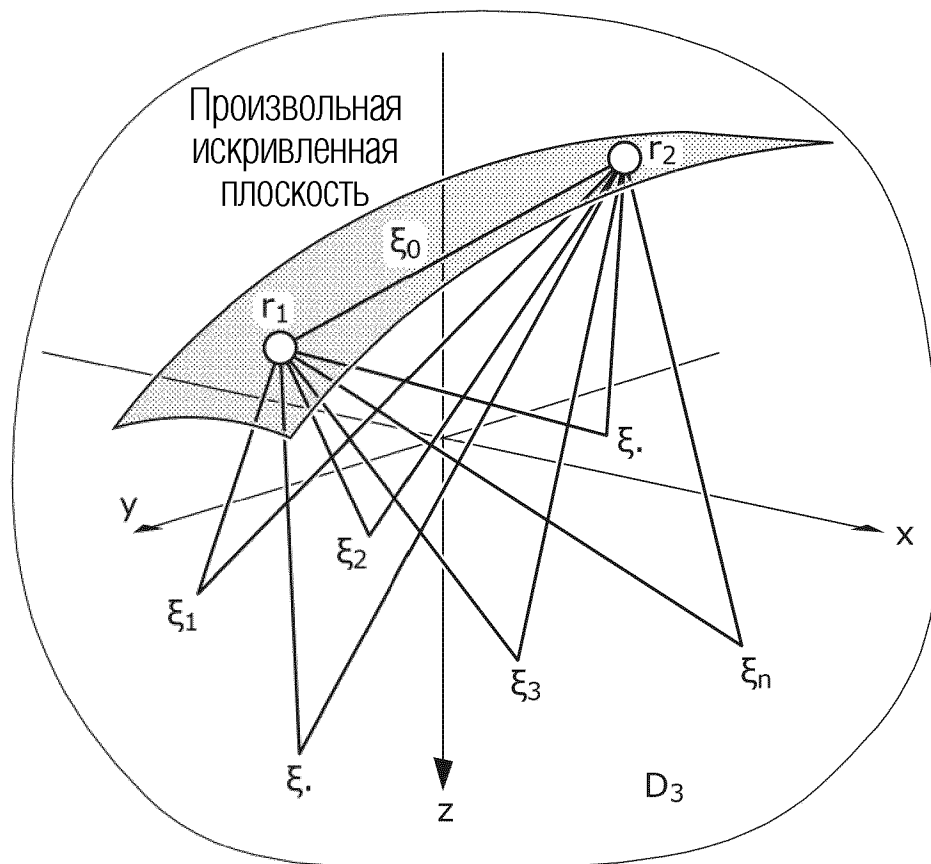
ФИГ. 8



ФИГ. 9

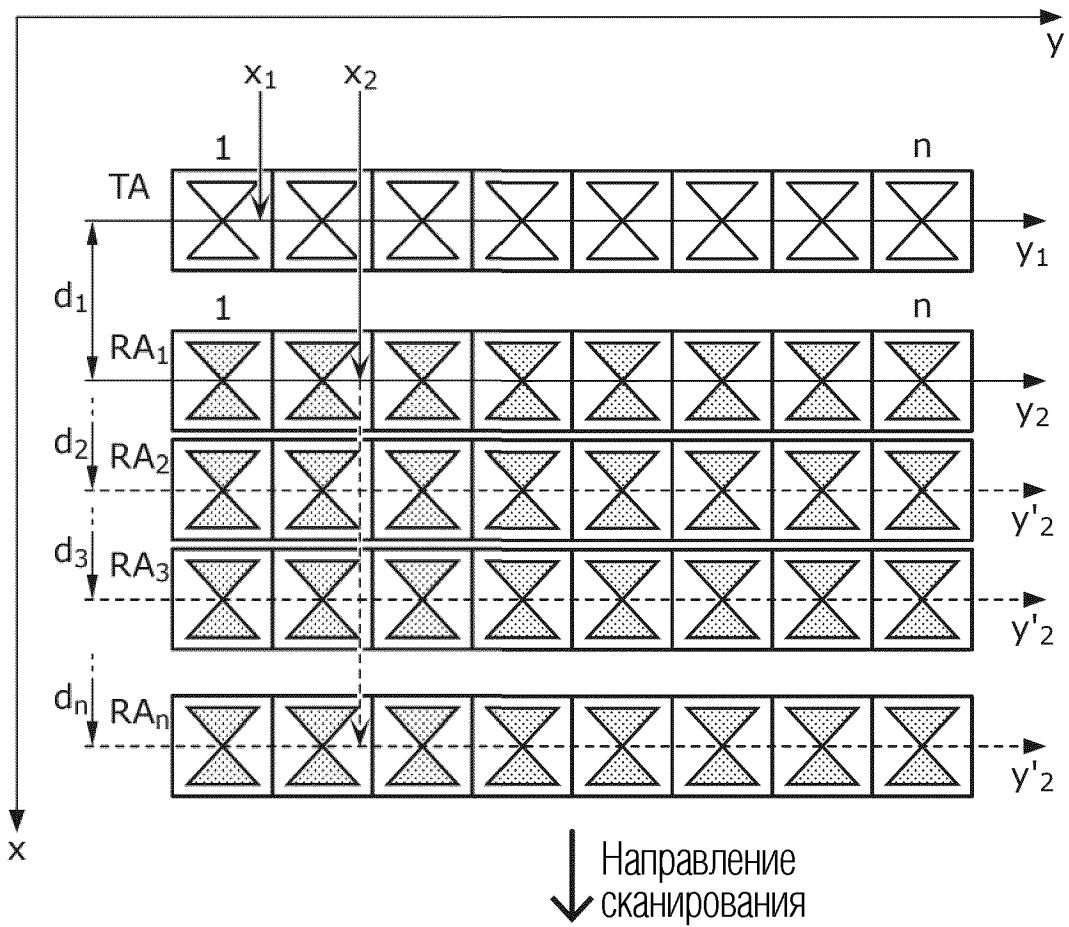


ФИГ. 10

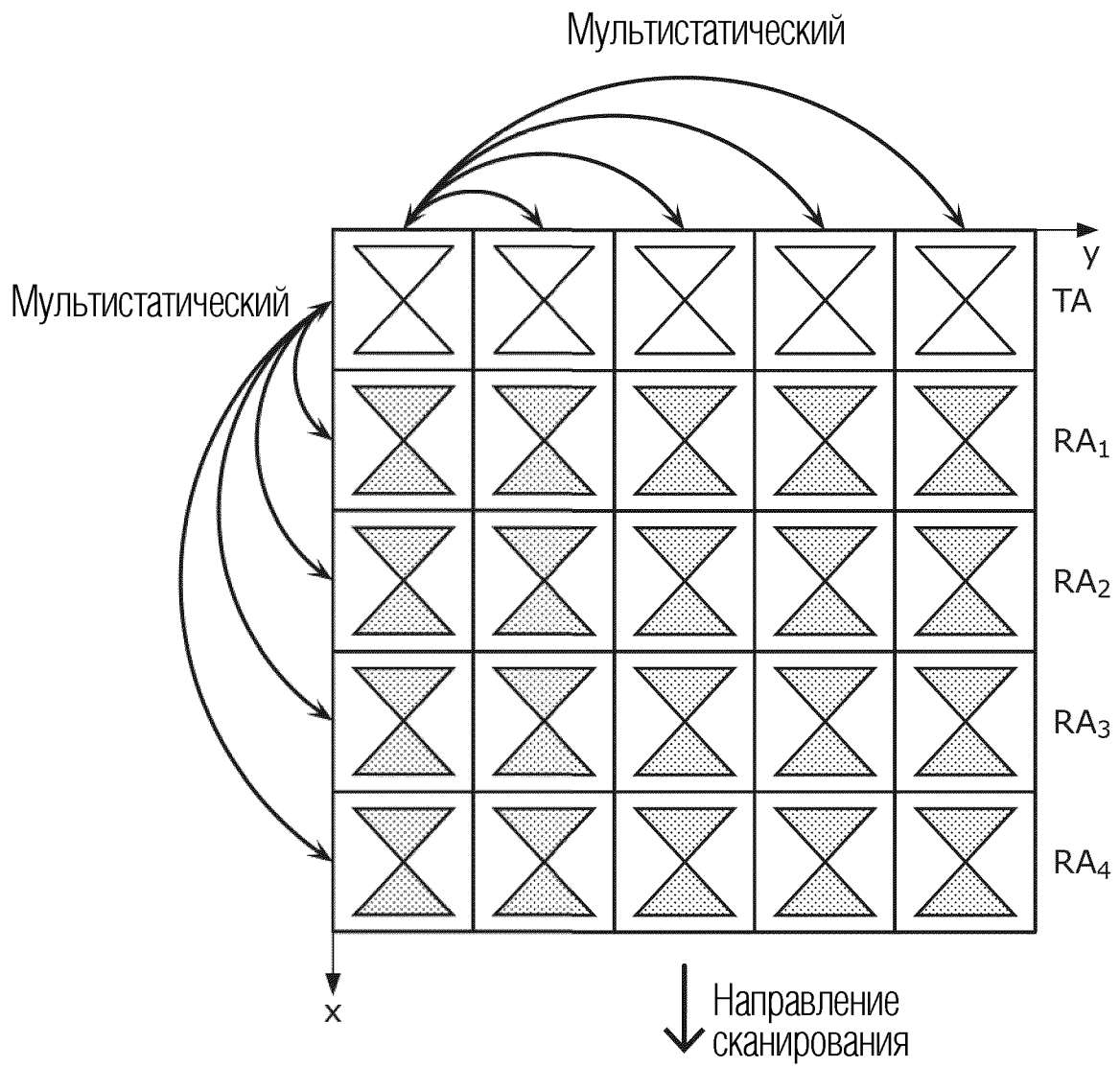




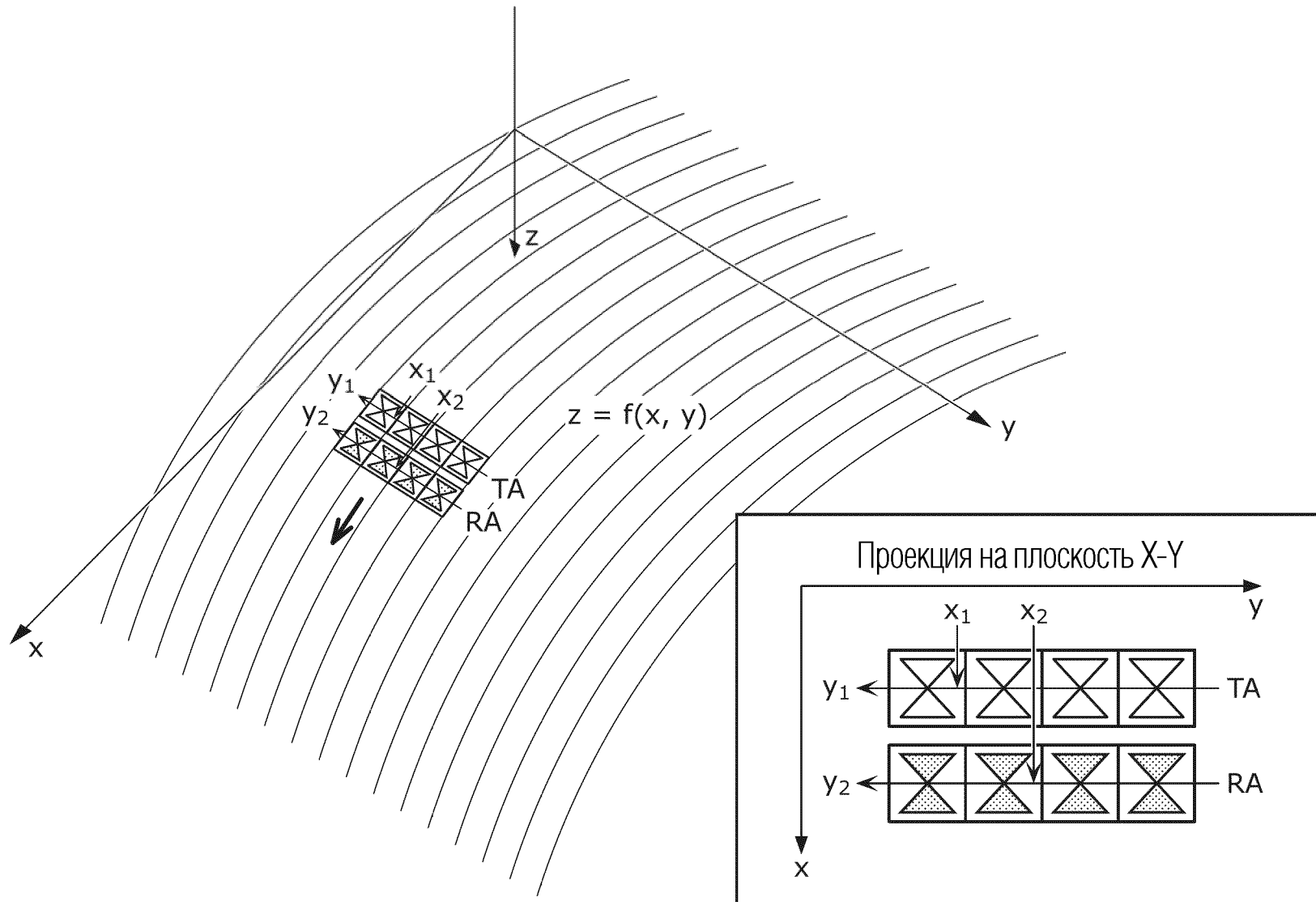
ФИГ. 11



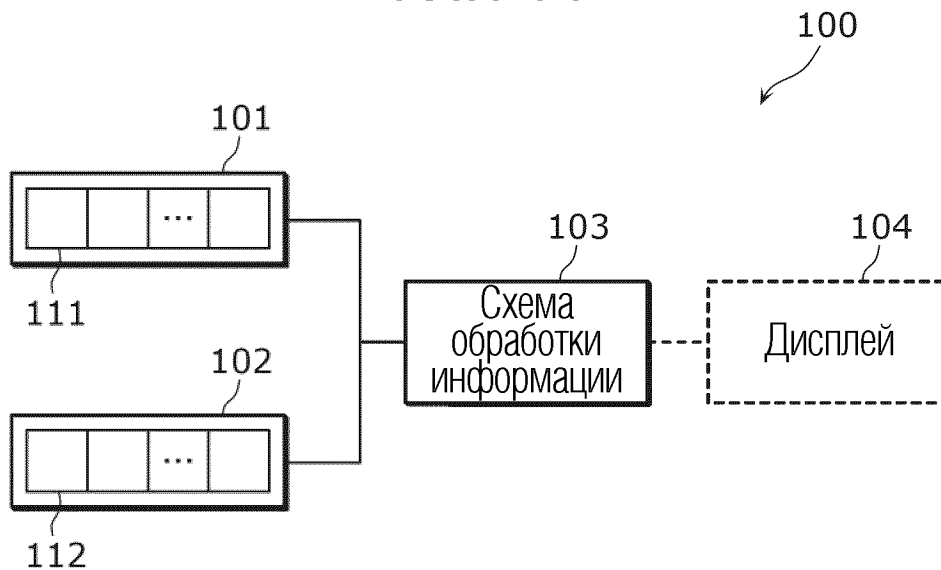
ФИГ. 12



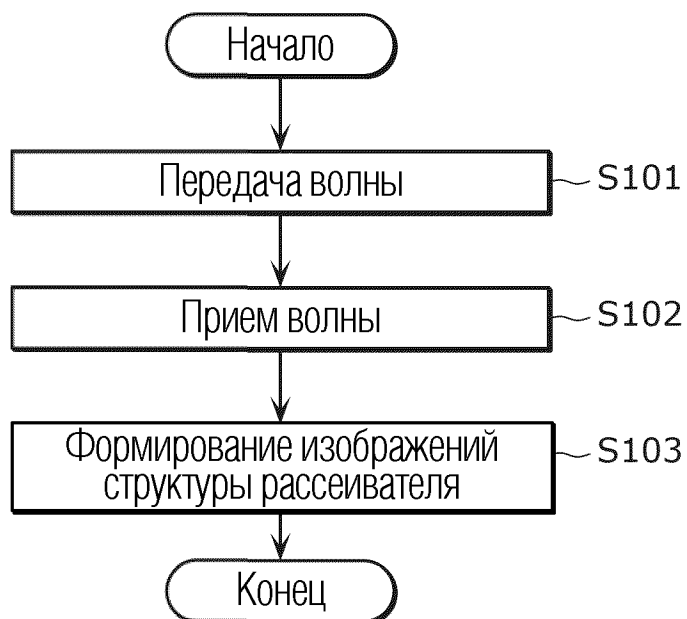
ФИГ. 13



ФИГ. 14



ФИГ. 15



ФИГ. 16

