

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В
СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро



(10) Номер международной публикации
WO 2022/164337 A1

(43) Дата международной публикации
04 августа 2022 (04.08.2022)

(51) Международная патентная классификация:

G01C 3/08 (2006.01) G01S 17/02 (2020.01)
G01C 3/10 (2006.01) G06T 1/40 (2006.01)

UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2021/000052

(22) Дата международной подачи:

27 января 2021 (27.01.2021)

(25) Язык подачи: Русский

Опубликована:

— с отчётом о международной поиске (статья 21.3)

(26) Язык публикации: Русский

(72) Изобретатель; и

(71) Заявитель: СЕРЕБРЕННИКОВ, Олег Александрович (SEREBRENNIKOV, Oleg Alexandrovich) [RU/RU]; пер. Факультетский, 3, кв. 151 Москва, 125080, Moscow (RU).

(74) Агент: КОВАЛЬЧУК, Надежда Станиславовна (KOVALCHUK, Nadezhda Stanislavovna); ул. Б. Семёновская, 49, офис 404 Москва, 107023, Moscow (RU).

(81) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ,

(54) Title: METHOD FOR MEASURING THE POSITION OF AND DISTANCE TO A LIGHT STIMULUS

(54) Название изобретения: СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ СВЕТОВОГО СТИМУЛА

(57) Abstract: The invention relates to technologies for analyzing and processing images and is applicable in the field of computer vision systems. The technical result of the invention is the direct conversion of the illuminance on photosensitive elements of an array into coordinate values for the position of a light stimulus on the photosensitive array, values for fixed digital descriptions of objects and their shapes, angle values, depth values for the position of an object in a three-dimensional scene, and coordinate values for an image stabilization actuator. On a photosensitive array, a coordinate grid is created, having at its nodes detectors that generate a signal (potential) proportional to the value of the coordinate of the node. The distance between the scale markings is set equal to the difference between potentials. For a binocular computer vision system, two identical arrays are used. The arrays are rotated and a range value is calculated using a parallax vision formula.

(57) Реферат: Изобретение относится к технологиям анализа и обработки изображений. Областью применения изобретения являются Системы Технического Зрения. Техническим результатом изобретения является прямое преобразование освещенности светочувствительных элементов матрицы в значения координат местоположения светового стимула на светочувствительной матрице, в значения неизменных цифровых описаний объектов и их формы, в значения углов, в значения глубины местоположения объектов в трехмерной сцене, в значения координат привода для стабилизации изображений. На светочувствительной матрице создают координатную сетку, в узлах которой размещают детекторы, которые порождают сигнал (потенциал), пропорциональный значению координаты узла. Расстояние между отметками шкалы приравнивают к разнице потенциалов. А для бинокулярной системы технического зрения используют две одинаковые матрицы. Матрицы поворачивают и значение дальности вычисляют по формуле параллакса зрения.



WO 2022/164337 A1

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ СВЕТОВОГО СТИМУЛА.

Изобретение относится к информационным технологиям анализа и обработки изображений, систем технического зрения, хранения и обработки данных, искусственных нейронных сетей.

Изобретение предназначено для проведения измерений и морфологического анализа световых стимулов (изображений), спроецированных на светочувствительную матрицу.

Областью применения изобретения являются монокулярные и бинокулярные Системы Технического Зрения.

Монокулярные Системы Технического Зрения – СТЗ, использующие глубокие нейронные сети для распознавания сцены (Convolutional Neural Networks: A Binocular Vision Perspective Yigit Oktar, Diclehan Karakaya, Oguzhan Ulucan, Mehmet Turkan, Dec. 2019) не получают информации о направлениях верх/низ/право/лево (Фиг.1), а также пока не способны осуществлять аффинные преобразования изображений.

В большинстве существующих автономных транспортных средств для обнаружения объектов и измерения расстояния до объектов используются в качестве оптических сенсоров используется радар или LIDAR, что увеличивает стоимость системы технического зрения. Хотя видекамера в сочетании со сверточной нейронной сетью (CNN) имеет преимущество перед LIDAR в точности и низкой стоимости, большинство методов обнаружения объектов, применяемых к видекамере, не могут выполнять измерение расстояния и определения собственного местоположения без перехода от монокулярного к бинокулярному компьютерному зрению (Zekun Luo Xia WuQingquan Zou Object Detection Based on Binocular Vision with Convolutional Neural Network 2018).

Для обнаружения в изображениях различных признаков, например, углов или прямых линий используется известные способы работы с изображением ("Feature Detection" [https://en.wikipedia.org/wiki/Feature_detection_\(computer_vision\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Feature_detection_(computer_vision))), основанные на свертке изображений ([https://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_\(image_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Kernel_(image_processing))). Алгоритм свертки имеет ограничения, среди которых то, что в качестве ядра свертки используют только квадратную (ортогональную) матрицу ($n * n$), в которой n - нечетное число, так как результат вычислений свертки присваивается пикселю, расположенному на пересечении диагоналей ядра свертки. Технология свертки изображений имеет высокую вычислительную сложность, поскольку требует обучения нейросети, сложной цифровой обработки и математических вычислений.

Ортогональная форма ядра свертки связана с использованием линейной алгебры, которая оперирует прямоугольными матрицами, а также с ортогональной упаковкой светочувствительных матриц и пикселей в цифровых форматах изображений. Несмотря на то, что число пикселей (Фиг.3) на диагонали, вертикали и горизонтали матрицы ядра свертки является одинаковым, физическая длина главной диагонали отличается от длины вертикали и горизонтали квадратной светочувствительной матрицы на величину $\sqrt{2}$, то есть практически на 40%.

Поэтому расстояние от центральной ячейки матрицы до каждой из двух ячеек матрицы, одна из которых расположена в середине любой из сторон матрицы, а другая расположена в вершине любого из углов матрицы, оказывается разным. Это может вносить ошибку в распознавания изображений нейросетями, использующими технологию свертки. Для сохранения равной удаленности расположенных на границе точек от центра, форма предлагаемой настоящим

изобретением рецептивной зоны (детектора) является не квадратной, а круглой. Для более равномерного распределения светочувствительных элементов на границах изображения и сохранения равной удаленности точек, настоящее в способе, согласно изобретению, предлагается использовать не ортогональную, а тетрагональную или гексагональную упаковки элементов на матрице.

В отличие от СТЗ, использующей LiDAR и сверточную нейросеть настоящее изобретение предлагает оригинальные способы создания на матрице рецептивных зон (детекторов) и полей детекторов разного потенциала для создания на светочувствительной матрице систем координат, в том числе декартовых и полярных, преобразования координат из одной системы координат в другую; способы создания детекторов предназначенных для определения формы светового стимула и направления смещения стимула, позволяющих измерять линейный размер, форму и углы; способы измерения и изменения плотности и/или чувствительности светочувствительных элементов матрицы для измерения формы, размеров и углов объемных фигур. Названные способы позволяют преобразовывать сигналы детекторов светочувствительной матрицы в результаты измерений, не прибегая в цифровой обработке изображений с использованием нейросетей, что снижает трудоемкость и увеличивает скорость обработки и анализа изображений. Изобретение позволяет получить для конкретной формы незамкнутых и замкнутых линий и поверхностей такое цифровое описание, которое остается неизменным для любой сцены, в которой присутствует названная форма, что позволяет проводить морфологический анализ сцен и кодировать расположение и размеры форм внутри сцены. Изобретение предлагает способы стабилизации изображения, основанные на оригинальной системе измерений, предложенной в изобретении. Настоящее изобретение предлагает оригинальные способы проекции различных систем координат и юстировки пикселей матрицы, способы использования различных систем координат для обнаружения у светового стимула различных признаков при анализе изображений, способы преобразования координат из одной системы в другую, а также способ стабилизации изображения на матрице посредством синхронизации смещения стимула на матрице со смещением исполнительных механизмов приводов матрицы. Изобретение также предлагает способы проекции рецептивных зон и гомогенных полей разного назначения на светочувствительную матрицу, а также способы обработки информации, полученной от названных зон и полей для выявления признаков, необходимых для эффективного анализа изображений.

Благодаря перечисленным особенностям, предлагаемая настоящим изобретением система измерений обладает более высокой энергетической эффективностью (число операций/вт) и скоростью анализа изображений в сравнении с технологией LiDAR и сверточных нейронных сетей и не требует предварительного обучения.

Аналогом настоящего изобретения является способ анализа изображений с помощью сверточных нейронных сетей (https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_neural_network). Однако ближайшим аналогом вероятно является система навигации автомобилей Tesla (<https://www.tesla.com/autopilot>), одновременно использующая и камеры и LiDAR, хотя принципы работы автопилота Tesla раскрываются не полностью, известно, что автопилот Tesla использует глубокие нейросети для распознавания изображений и сцен.

Таким образом, работа всех известных СТЗ так или иначе основана на использовании сенсоров LiDAR и глубоких нейронных сетей, которые обеспечивают распознавание объектов в

сцене. Однако сенсоры LiDAR дороги, а работа глубоких сетей непонятна людям. Вместе с тем использование СТЗ в беспилотных автомобилях и другие применения СТЗ, связанные с возможным нанесением вреда здоровью или жизни человека, требуют «объяснимости» работы систем СТЗ.

Главной задачей, на решение которой направлено изобретение, является способ прямого преобразования значений освещенности светочувствительных элементов фото или видео матрицы в значения координат местоположения светового стимула на светочувствительной матрице, в значения неизменных цифровых описаний объектов и их формы, в значения углов, в значения глубины местоположения объектов в трехмерной сцене, в значения координат привода для стабилизации изображений. Это позволяет:

- создать СТЗ, результаты работы которой являются «объяснимыми»;
- снизить стоимость СТЗ путем использования видео и фото матриц вместо LiDAR
- формировать неизменные цифровые описания для 2d и 3d объектов сцены с помощью прямого преобразования освещенности светочувствительных элементов матрицы в значения цифровых описаний неизменных при аффинных преобразованиях;
- распознавать неизменные описания в их аффинных преобразованиях;
- стабилизировать матрицу по отношению к подвижному объекту;
- прямо преобразовывать координаты привода в координаты матрицы и обратно.

Названные задачи решаются путем использования видеокамеры и системы измерения освещенности элементов ее светочувствительной матрицы для анализа изображений с целью обнаружения различных признаков, для измерения формы произвольной поверхности, для измерения характеристик позволяющих создать инвариантные цифровые описания различных поверхностей, идентификация направлений верх/низ/право/лево, измерение глубины изображения с помощью бинокулярной системы технического зрения (БСТЗ) являются технической проблемой, на решение которой направлена настоящая группа изобретений.

Единым техническим результатом изобретения является прямое преобразование освещенности светочувствительных элементов матрицы в значение координат местоположения светового стимула на светочувствительной матрице, в значения неизменных цифровых описаний объектов и их формы, в значения углов, в значения глубины местоположения объектов в трехмерной сцене, в значения координат привода для стабилизации изображений.

Единый технический результат достигается благодаря тому, что на светочувствительной матрице создают по меньшей мере одну координатную ось для чего выбирают шкалу, содержащую последовательность отметок с соответствующими им значениями расстояний от начала шкалы, выбирают точку начала и направление координатной оси, после чего начало шкалы совмещают с началом координатной оси и накладывают названную шкалу вдоль выбранного направления координатной оси. Определяют расположение отметок шкалы на светочувствительной матрице и в местах расположения каждой из отметок размещают центр, по меньшей мере, одной рецептивной зоны (далее - детектора). Каждый из детекторов настраивают таким образом, что при воздействии на детектор или его часть световым стимулом, детектор порождает такое значение измеряемой характеристики сигнала (далее - потенциал), которое равно или пропорционально значению отметки шкалы в месте размещения центра детектора. При этом значение потенциала, порожденного детектором, на который воздействовали световым

стимулом, считают или значением отметки местоположения светового стимула на шкале или пропорциональным названному значению, а расстояние между двумя местоположениями световых стимулов на шкале приравнивают или к разнице потенциалов детекторов, на которые воздействовали световыми стимулами или к разнице потенциалов детекторов с коэффициентом пропорциональности.

Единый технический результат достигается также благодаря тому, что для бинокулярной системы технического зрения (БСТЗ) используют две матрицы, которые располагают так, чтобы в исходном положении матрицы лежали в одной плоскости, полярные системы матриц были одинаковыми, оптические оси оптических систем каждой из матриц были параллельны и находились на расстоянии L друг от друга, а одинаковые приводы матриц при этом находились в таком эталонном положении, чтобы при смещении приводов из эталонного в любое предельное положение матрица также смещалась в соответствующее предельное положение; для измерения дальности светового стимула каждую из матриц с помощью приводов матрицы поворачивают так, чтобы названный световой стимул оказался в центре неподвижной системы координат соответствующей матрицы, измеряют значение местоположения каждого из приводов и, если значения отличаются, то вычисляют значение угла конвергенции или дивергенции оптических осей БСТЗ, соответствующего разнице значений местоположения приводов, а значение дальности вычисляют с использованием значения названного угла и названного расстояния L между оптическими осями по формуле параллакса зрения.

Глаз имеет угловую разрешающую способность около $1' - 2'$. Поскольку разрешающая способность соответствует расстоянию в два пикселя, то для разрешающей возможности в $2'$ необходимо чтобы на один пиксель приходилась $1'$, что соответствует 60 пикселей на 1° .

Тетрагональная упаковка пикселей (равнобедренный треугольник - Фиг.4) имеет преимущество перед квадратной (ортогональная - Фиг.6), так как является более плотной и может образовывать соты и окружности. Гексагональная упаковка (пчелиные соты - Фиг.5) является производной от тетрагональной, а крестообразная упаковка (ортогональная - Фиг.7) является производной от ортогональной квадратной. В настоящее время производятся главным образом светочувствительные матрицы с ортогональной упаковкой пикселей.

Для создания бинокулярного зрения предпочтительной кажется использование тетрагональной упаковки.

Производимые серийно светочувствительные матрицы обладают прямоугольной формой с пропорцией сторон примерно $\frac{1}{2}$ или $\frac{2}{3}$, а матрицы круглой формы серийно не выпускаются. В 2019 году была выпущена матрица Samsung ISOCELL Bright HMX разрешением 108 мегапикселей с размером изображения в максимальном разрешении 12000x9000p, что соответствует или превышает разрешение глаза. Тем не менее, исследователи бионического зрения создают круглые матрицы, превосходящие человеческое зрение как в разрешении, так и по диапазону длины световых волн (A biomimetic eye with a hemispherical perovskite nanowire array retina, Nature, May 2020).

Хотя достигнутый уровень технологии позволяет создать светочувствительные элементы сопоставимые с сетчаткой глаза по разрешающей способности и чувствительности к различным длинам световых волн, помимо слоя светочувствительных клеток сетчатка имеет многослойную структуру нейронов, функции которых до конца непонятны. Непонятными остаются также такие

факты как разделение нервных волокон в хиазме и раздельная обработка левых и правых частей изображения в ЛКТ и другие особенности обработки изображений мозгом.

Известно, что окружность, спираль и звезда при переносе из полярной в декартову системы координат принимают форму прямых линий (Фиг. 8, Фиг. 9, Фиг. 10, Фиг. 11). Это может снижать трудоемкость анализа изображений.

Поэтому анализ изображения может требовать преобразования ортогональной декартовой системы координат светочувствительной матрицы в полярную систему координат системы анализа изображений и обратно. Анализ изображения может также требовать использования декартовой системы координат, оси которой не коллинеарны осям декартовой системы координат матрицы, а шаг координатной сетки которой не совпадает с физическими размерами пикселей и/или не кратен целому числу пикселей. Поэтому, может возникать дополнительная проблема преобразования координат пикселей матрицы из системы координат матрицы в систему координат анализа изображений и проблема юстировки (калибровки пикселей) светочувствительной матрицы в системе координат анализа изображений.

Простейшим способом калибровки расположения пикселей в системе координат анализа изображений представляется проецирование системы координат на матрицу, а именно использование калибровочного луча для калибровки расположения на матрице, по меньшей мере, одной точки системы координат анализа изображений. Для этого матрицу освещают лучом, размером с точку системы координат анализа изображений, причем координаты точки, подлежащей освещению, заранее выбирают в системе координат анализа изображений и запоминают. Одновременно с освещением названной точки измеряют и анализируют освещение пикселей матрицы с целью выявить пиксели, освещенные названным лучом, а расположению выявленных пикселей на матрице присваивают значение координат названной точки. Проекция системы координат анализа изображений на матрицу может меняться (динамическая система координат) или быть постоянной (статическая система координат). Использование статической системы координат для создания системы бинокулярного технического зрения потребует две светочувствительные матрицы, так как конвергенция/дивергенция левого и правого полей зрения требует изменения угла зрения каждого из полей, и, как следствие, расстояния между полями зрения. Моделировать бинокулярное зрение можно также проецируя обе системы координат (правую и левую) на одну матрицу, однако моделирование конвергенции/дивергенции потребует в этом случае использования динамической системы координат анализа изображений для левого и правого полей зрения.

Преимуществом динамической системы координат является скорость работы, низкая стоимость и надежность, так как поворот или смещение системы координат не требует физического перемещения светочувствительной матрицы и не требует использования физических приводов. Преимуществами статического поля перед динамическим является снижение влияния апертуры на качество измерений, обеспечение более корректного измерения конвергенции/дивергенции благодаря физическому смещению оптических осей матриц. Таким образом, динамическая система координат анализа изображений может обладать преимуществом на дальних дистанциях, а статическая на малых. Использование двух матриц бинокулярного технического зрения режиме динамической системы координат анализа изображений для больших

дистанций и в режиме статической для малых дистанций, позволяет снизить износ приводов системы бинокулярного технического зрения.

Для определения местоположения светового стимула на светочувствительной матрице, состоящей из множества светочувствительных элементов, на светочувствительной матрице создают по меньшей мере одну координатную ось. Для этого выбирают шкалу, содержащую последовательность отметок с соответствующими им значениями расстояний от начала шкалы, выбирают точку начала и направление координатной оси, после чего начало шкалы совмещают с началом координатной оси и накладывают названную шкалу вдоль выбранного направления координатной оси (Фиг.12). Затем определяют расположение отметок шкалы на светочувствительной матрице и в местах расположения каждой из отметок размещают центр, рецептивной зоны (далее - детектора) круглой (Фиг.13) или иной формы (Фиг.14), чувствительные к изменению освещенности, причем площадь последовательных рецептивных зон шкалы отличается на известную величину $\Delta S = S_{i+1} - S_i \geq S_{min}$, где S_{min} - разрешающая способность определения площади, выраженная в числе пикселей. Поэтому значение площади рецептивной зоны можно вычислить как $S_i = S_0 + i * \Delta S$, а значение метки шкалы можно вычислить так: $i = \frac{S_i - S_0}{\Delta S}$. Очевидно, что если $S_0 = 0$, то $S_i = i * \Delta S$, а $i = \frac{S_i}{\Delta S} = k * S_i$. Площадь S_i рецептивной зоны далее также будем именовать «потенциалом» рецептивной зоны, а кодировать потенциал станем измеряемой характеристикой сигнала детектора. Детекторы настраивают таким образом, что при воздействии на детектор или его часть световым стимулом, детектор порождает такое значение потенциала, которое равно или пропорционально с коэффициентом пропорциональности $k = \frac{1}{\Delta S}$ значению отметки шкалы в месте размещения центра детектора. Очевидно, что в случае $k = 1$ значение потенциала становится равным значению отметки шкалы.

Воздействием светового стимула на матрицу считают изменение освещенности одного или более светочувствительных элементов светочувствительной матрицы, при котором измеренное значение освещенности меняется на заданную величину, кратную погрешности измерения освещенности, за заданный период времени, кратный минимально доступному времени измерения освещенности.

Значение площади (потенциал) каждой рецептивной зоны S_i запоминают в памяти зоны, а при воздействии световым стимулом на конкретную рецептивную зону шкалы, из памяти зоны извлекают значение площади (потенциала) этой зоны S_i . Значение потенциала, порожденного детектором, на который воздействовали световым стимулом, считают равным или пропорциональным значению отметки местоположения светового стимула на шкале с коэффициентом пропорциональности k . Значение метки шкалы вычисляют по формуле $i = \frac{S_i - S_0}{\Delta S} = k * (S_i - S_0)$.

Расстояние между двумя местоположениями световых стимулов на шкале приравнивают или к разнице потенциалов детекторов, на которые воздействовали световыми стимулами или к разнице потенциалов детекторов с коэффициентом пропорциональности k . Расстояние L вычисляют между двумя стимулами i и j в проекции на ось. Для этого стимулы проецируют на матрицу, значения потенциалов S_i и S_j рецептивных полей, на которые воздействовали названными световыми стимулами извлекают, а проекцию на ось расстояния между стимулами вычисляют как разницу потенциалов, деленную на цену деления шкалы ΔS :

$$L = \frac{S_i - S_j}{\Delta S} = k * (S_i - S_j)$$

Если разница площадей смежных рецептивных зон зависит от метки $\Delta S_i = f(i)$, то $S_i = S_0 + f(i)$ и вычисление значения метки будет зависеть от вида функции $f(i)$.

Между смежными детекторами координатной оси образуют взвешенные связи, направленные от детектора с большим потенциалом к детектору с меньшим потенциалом; каждой взвешенной связи присваивают вес, равный расстоянию между отметками шкалы, в которых расположены центры смежных детекторов, соответствующих указанным отметкам шкалы; для измерения расстояния между проекцией светового стимула на матрицу и началом шкалы световой стимул проецируют на детекторы матрицы и идентифицируют детектор, на который воздействует световой стимул (далее - активный детектор), веса множества связей, расположенных между активным детектором и началом шкалы, складывают, а результат сложения считают расстоянием между световым стимулом и началом координатной оси.

Предпочтительно в качестве единицы измерения площади светочувствительной матрицы используют один пиксель или площадь одного светочувствительного элемента, а площадь измеряют числом пикселей или светочувствительных элементов, расположенных в рецептивной зоне. При необходимости число единиц площади округляют с недостатком или избытком.

Предпочтительно, чтобы края рецептивной зоны были равноудалены от ее центра, так как способ регистрации смещения стимула от края к центру рецептивной зоны не зависит от направления такого смещения. Поэтому предпочтительной формой рецептивной зоны представляется круглая (Фиг.15) с частичным или полным перекрытием площадей рецептивных зон или даже с полным совпадением площадей одной или более рецептивных зон. Полное совпадение площадей детекторов полезно для размещения детекторов разного назначения в пределах одной и той же площади рецептивной зоны.

Рецептивную зону оснащают памятью M , а также сумматором освещенности светочувствительных элементов рецептивной зоны, а в памяти M сохраняют значение порога активации сумматора (порог чувствительности).

Если детекторы выполнены в форме круга (Фиг.13), то в качестве потенциала детектора используют значение площади круга или его части, если детектор выполнен в форме круга с кольцевой зоной (Фиг. 37). Площадь выражают или числом пикселей, или числом светочувствительных элементов светочувствительной матрицы, ограниченных снаружи окружностью, являющейся внешней границей детектора.

Детекторы располагают на светочувствительной матрице или без перекрытия, или с частичным перекрытием, или с полным перекрытием детекторов. Перекрытие необходимо для размещения в одном месте разных детекторов.

В практических применениях оказывается важным определять местоположение светового стимула на всей площади матрицы, поэтому оказывается необходимым измерять проекцию стимула на координатную ось. Для этого на светочувствительной матрице создают множество копий главной координатной оси, которая представляет собой координатную ось с размещенными на ней детекторами, множество копий главной координатной оси размещают на светочувствительной матрице параллельно друг другу с образованием мерного поля, причем первую копию сдвигают по поверхности светочувствительной матрицы на расстояние Δu_1

относительно главной координатной оси в направлении, образующим угол ω с названной главной координатной осью, затем вторую копию сдвигают в том же направлении на расстояние Δu_2 относительно первой копии, затем аналогично размещают третью и следующие копии главной координатной оси до тех пор, пока не достигнут первого края светочувствительной матрицы; после этого процесс сдвига и размещения копий главной координатной оси продолжают, сдвигая их в противоположном направлении, образующим угол $(\omega + \pi)$ с главной координатной осью, до тех пор, пока не достигнут второго края светочувствительной матрицы, противоположного первому краю; при воздействии одним или более световыми стимулами на детектор, расположенный в любом месте мерного поля на главной координатной оси или любой ее копии, извлекают потенциал детектора и определяют или значение отметки шкалы местоположения светового стимула или расстояние между местоположениями двух световых стимулов.

Другими словами, для измерения проекции местоположения светового стимула на ось координат расположенное вдоль координатной оси множество рецептивных зон (Фиг.13, Фиг.14) с разной площадью копируют, а первую копию множества зон сдвигают параллельно самой себе в направлении, образующим угол ω с осью координат (Фиг.16) на расстояние, которое определяется функцией $\Delta u_j = f(j)$, где j – номер копии множества. Затем создают вторую копию названного множества и сдвигают ее относительно первой копии в направлении ω на расстояние Δu_2 и так далее, создают копию n и сдвигают ее в направлении ω на расстояние Δu_n до тех пор пока не вся площадь или часть площади светочувствительной матрицы с по одну сторону от координатной оси не будет покрыта мерным полем. Затем операцию копирования и создания копий продолжают в противоположном направлении $(\omega + \pi)$ от координатной оси так, чтобы вся площадь или необходимая часть площади матрицы была покрыта мерным полем.

Для измерения местоположения световой стимул проецируют в любое место мерного поля, а из памяти рецептивной зоны, на которую воздействовал стимул извлекают значение площади названной зоны S_i , которое используют для вычисления метки i шкалы названной оси координат.

Для создания мерного поля системы двух координат на площади светочувствительной матрицы для каждой из двух координат создают свое мерное поле (Фиг.16). Для этого создают второе мерное поле и располагают его на светочувствительной матрице так, чтобы главная координатная ось первого мерного поля (первая главная координатная ось) и главная координатная ось второго мерного поля (вторая главная координатная ось) начинались в одной точке (далее «центр системы») и образовывали между собой угол σ (Фиг.30). При воздействии одним или более световыми стимулами на любое место светочувствительной матрицы, местоположение определенного светового стимула и расстояние между местоположениями двух световых стимулов определяют в первом и/или втором мерном поле. В каждом из мерных полей определяют рецептивную зону, на которую спроецирован стимул, а из памяти зоны, на которую спроецирован стимул извлекают значение ее площади S_i , которую используют для вычисления метки i шкалы названной соответствующей оси координат.

Для создания системы осей координат с одинаковой ценой деления шкалы расстояние между смежными метками делают одинаковым в числе пикселей или в числе светочувствительных элементов шкалы.

Для создания мерного поля прямоугольной декартовой системы координат светочувствительной матрицы углу σ и углу ω (Фиг.30) присваивают значение $\frac{\pi}{2}$ с образованием прямоугольной декартовой системы, а отметки шкалы используют в качестве координат прямоугольной декартовой системы.

Радиальное мерное поле позволяет определять значения полярного радиуса в полярной системе координат. Для создания радиального мерного поля в качестве главной координатной оси используют координатную ось с размещенными на ней детекторами (Фиг. 6a и 6b) и создают по меньшей мере одно множество из N копий главной координатной оси. Указанное множество N копий главной координатной оси размещают на светочувствительной матрице с началом в точке начала главной координатной оси, при этом для образования углового направления радиального мерного поля первую копию поворачивают вокруг точки начала главной координатной оси на поверхности светочувствительной матрицы по часовой или против часовой стрелки относительно главной координатной оси на угол $\Delta\varphi_1$, который определяется функцией $\Delta\varphi_j = f(j)$, где j – номер копии множества. Вторую копию поворачивают в том же направлении на угол $\Delta\varphi_2$ относительно первой копии главной координатной оси (Фиг.17), аналогично размещают третью и следующие копии главной координатной оси до тех пор, пока не достигнут заданной суммы углов $\varphi = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j$. При воздействии одним или более световыми стимулами на детектор, расположенный в любом месте радиального мерного поля на главной координатной оси или любой ее копии, извлекают потенциал этого детектора и определяют или значение отметки шкалы соответственно главной координатной оси или любой ее копии, соответствующее местоположению светового стимула, или расстояние между местоположениями двух световых стимулов.

Для создания полярной системы координат в качестве угла поворота N копий главной координатной оси выбирают угол $\Delta\varphi_j \leq \frac{2\pi}{N}$, а отметки шкалы используют в качестве координат полярного радиуса в полярной системе координат, центр которой совпадает с началом главной координатной оси. Последовательные копии оси координат поворачивают на угол $\Delta\varphi_1$ так, чтобы сумма углов поворота принимала значения в диапазоне $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ или $-\pi \leq \varphi \leq +\pi$ или $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq +\frac{\pi}{2}$, причем значение угла поворота копии оси выбирают одинаковым для всех копий $\Delta\varphi_j = const = \Delta\varphi_1$ и предпочтительно выбирают так, чтобы угол φ содержал целое число углов поворота $\Delta\varphi_1$ копий $\frac{\varphi}{\Delta\varphi_1} = m$, где m – целочисленная величина. Значения названной шкалы представляют собой значения радиуса полярной системы координат, а сумма углов $\sum_{j=1}^x \Delta\varphi_j$ представляет собой значение угла полярной системы координат.

Для измерения местоположения световой стимул проецируют в любое место радиального мерного поля, а из памяти рецептивной зоны, на которую был спроецирован стимул извлекают значение площади названной зоны S_i , которое используют для вычисления метки i шкалы названной оси координат по формуле $i = \frac{S_i - S_0}{\Delta S}$.

Поскольку расположенные на разных копиях оси рецептивные зоны с центрами в отметках с одинаковыми значениями, образуют окружности с расположенными на них рецептивными зонами равной площади (потенциала), далее мы станем называть такие окружности также «кольцами равного потенциала».

Целью создания мерного сектора и мерной окружности является измерение значений полярного угла в полярной системе координат. Для образования мерного сектора мерной окружности используют радиальное мерное поле (Фиг.17). В радиальном мерном поле создают окружность с центром в начале главной координатной оси и радиусом, равным значению первой отметки шкалы главной координатной оси, а точку пересечения мерной окружности с главной координатной осью в первой отметке шкалы главной координатной оси используют в качестве отметки начала круговой шкалы мерной окружности с нулевым значением полярного угла $\varphi_0 = 0$. Каждую точку пересечения мерной окружности с j -той копией главной координатной оси в первой отметке j -той копии главной координатной оси также используют в качестве соответствующей i -той отметки круговой шкалы мерной окружности. Значение полярного угла i -той отметки круговой шкалы считают равным $\varphi_i = \sum_{j=1}^i \Delta\varphi_j$, а центральный угол мерного сектора равным названной заданной сумме углов $\varphi = \varphi_N = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j$. Понятно, что мерный сектор превращается в мерную окружность при значении $\varphi = \varphi_N = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j = 2\pi$. В местах расположения отметок круговой шкалы мерной окружности размещают центры рецептивных зон (детекторов). Детекторы, чувствительные к изменению освещенности, создают предпочтительной круглой (Фиг. 11) или иной формы, причем размер зон подбирают так, чтобы площадь последовательных рецептивных зон шкалы отличалась на известную величину $\Delta S = S_{i+1} - S_i \geq S_{min}$, где S_{min} - разрешающая способность определения площади, выраженная в числе пикселей. Поэтому значение площади рецептивной зоны можно вычислить как $S_i = S_0 + i * \Delta S$, а значение метки шкалы можно вычислить так: $i = \frac{S_i - S_0}{\Delta S}$. Очевидно, что если $S_0 = 0$, то $S_i = i * \Delta S$, а $i = \frac{S_i}{\Delta S}$. Значение разницы углов $\Delta\varphi_1$ считают пропорциональным разнице площадей с коэффициентом пропорциональности k : $\Delta\varphi = k * \Delta S$ и соответственно $\varphi_i = i * \Delta\varphi = i * k * \Delta S = \frac{S_i - S_0}{\Delta S} * k * \Delta S = k * (S_i - S_0)$. При $S_0 = 0$ получим $\varphi_i = k * S_i$.

Каждый из детекторов настраивают таким образом, что при воздействии на него световым стимулом детектор порождает такое значение измеряемой характеристики сигнала детектора (потенциал), которое равно или пропорционально с коэффициентом пропорциональности k значению отметки круговой шкалы в месте размещения детектора.

Значение площади каждой рецептивной зоны S_i запоминают в памяти зоны, а при освещении светом стимула конкретной рецептивной зоны шкалы, из памяти зоны извлекают значение площади этой зоны S_i и вычисляют значение угла $\varphi_i = k * S_i$. Очевидно, что при $k = 1$ значение полярного угла равно значению потенциала $\varphi_i = S_i$. Поэтому значение потенциала, порожденного расположенным на мерной окружности детектором, на который воздействовали световым стимулом, считают или значением отметки полярного угла местоположения светового стимула на круговой шкале или пропорциональным названному значению полярного угла с коэффициентом пропорциональности k , а значение полярного угла между местоположениями двух световых стимулов на мерной окружности приравнивают или к разнице потенциалов детекторов, на которые воздействовали световыми стимулами или к разнице потенциалов детекторов с коэффициентом пропорциональности k .

Если разница площадей смежных рецептивных зон зависит от метки $\Delta S_i = f(i)$, то $S_i = S_0 + f(i)$ и вычисление значения метки будет зависеть от вида функции $f(i)$.

Для создания системы измерений полярного угла на светочувствительной матрице размещают окружность с расположенной на ней круговой шкалой с отметками полярного угла,

центр которого расположен в центре окружности. Центры рецептивных зон размещают в отметках шкалы, а сами рецептивные зоны, чувствительные к изменению освещенности, создают предпочтительной круглой (Фиг.15) или иной формы (Фиг.37, Фиг.38, Фиг.39). Размеры последовательных рецептивных зон выбирают такими, чтобы их площадь или отличалась на известную величину $\Delta S = S_{i+1} - S_i \geq S_{min}$, где S_{min} - разрешающая способность определения площади, выраженная в числе пикселей, или была равной $\Delta S = S_{i+1} - S_i = 0$ (Фиг. 19). Все смежные рецептивные зоны за исключением Терминальной рецептивной зоны связывают между собой связью в Избранном Направлении – против часовой стрелки или по часовой стрелке со смежной рецептивной зоной мерной окружности.

По меньшей мере, в памяти каждой рецептивной зоны возможно кроме терминальной зоны запоминают значение Избранного Направления. При проецировании светового стимула на конкретную рецептивную зону, центр которой расположен в отметке i шкалы мерной окружности из памяти зоны извлекают значение Избранного Направления и рассчитывают названное значение i . Для этого суммируют число последовательных смежных рецептивных зон включая Терминальную, расположенных в Избранном Направлении. Суммирование заканчивают, достигнув Терминальную зону. Размер угла между рецептивной зоной проекции стимула на матрицу и терминальной зоной рассчитывают, умножая полученную сумму i на размер угла $\Delta\varphi$, разделяющий смежные зоны мерной окружности.

Хотя в примере (Фиг.21) измерение угла производят в диапазоне $\frac{\pi}{6} \leq \theta \leq \frac{2\pi}{3}$, измерение углов полярной системы координат можно осуществлять в привычном диапазоне $-\pi \leq \theta \leq \pi$ или в диапазоне $0 \leq \theta \leq 2\pi$ или $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq +\frac{\pi}{2}$ или в любом другом диапазоне углов θ .

Для создания поля мерных окружностей на светочувствительной матрице размещают мерную окружность с размещенными на ней детекторами и используют ее в качестве главной мерной окружности. Для главной мерной окружности создают множество копий, а в качестве радиуса для каждой из последовательных копий главной мерной окружности выбирают значение последовательных отметок шкалы главной координатной оси, которую использовали для создания главной мерной окружности. Каждую из копий главной мерной окружности размещают на светочувствительной матрице так, чтобы центр окружности копии совпадал с центром главной мерной окружности, то есть так чтобы множество мерных окружностей были концентрическими. Поле мерных окружностей используют для измерения значений полярного угла. При воздействии световым стимулом на конкретный детектор, центр которого совпадает с отметкой шкалы главной мерной окружности или любой из ее копий, извлекают порожденное значение потенциала детектора и вычисляют соответствующее этому потенциалу значение полярного угла.

Любой знакомый с уровнем техники может предложить другой способ создания поля мерных окружностей. Например: для создания концентрических мерных окружностей на светочувствительной матрице размещают ось координат со шкалой в отметках которой размещают центры рецептивных зон с одинаковой площадью. Поле мерных окружностей создают как описано выше с помощью поворота оси вокруг ее начала затем соединяя одинаковые значения отметок шкал смежных копий главной координатной оси получают концентрические мерные окружности.

А именно первую копию оси создают и поворачивают ее вокруг начала оси координат в направлении увеличения полярного угла по часовой или против часовой стрелки на угол $\Delta\varphi_1$, который определяется функцией $\Delta\varphi_j = f(j)$, где j – номер копии оси координат. Затем создают вторую копию оси и поворачивают ее относительно первой копии в том же направлении на угол $\Delta\varphi_2$ и так далее, создают копию n и поворачивают ее в том же направлении на угол $\Delta\varphi_n$ относительно копии $(n - 1)$ до тех пор пока сумма углов не достигнет некоторой заданной величины $\varphi = \sum_{j=1}^n \Delta\varphi_j$. Каждую j -ю копию оси координат создают и поворачивают на угол $\Delta\varphi_j$ до тех пор сумма углов поворота не достигнет значения нужного значения φ , предпочтительно $-\pi \leq \varphi \leq \pi$; $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq +\frac{\pi}{2}$ или $0 \leq \varphi \leq 2\pi$. Значение угла поворота копии оси предпочтительно выбирают одинаковым для всех копий $\Delta\varphi_j = \text{const} = \Delta\varphi$, причем выбирают так, чтобы угол φ содержал целое число углов поворота копий $\frac{\varphi}{\Delta\varphi} = m$, где m – целочисленная величина. Названную сумму углов $\varphi = \sum_1^j \Delta\varphi_j$ используют в качестве угла полярной системы координат.

Размер рецептивных зон смежных копий оси подбирают так, чтобы площадь каждой рецептивной зоны j -той копии оси отличалась от площади каждой из рецептивных зон $(j + 1)$ -ой копии оси на известную величину $\Delta S = S_{j+1} - S_j = \text{const} \geq S_{min}$, где S_{min} – разрешающая способность определения площади, выраженная например в числе пикселей. Поэтому значение площади рецептивной зоны можно вычислить как $S_j = S_0 + j * \Delta S$, порядковый номер копии оси можно вычислить так: $j = \frac{S_j - S_0}{\Delta S}$, а значение полярного угла $\varphi = j * \Delta\varphi$ или $\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\Delta S} * (S_j - S_0)$, где $\frac{\Delta\varphi}{\Delta S} = k$ – коэффициент пропорциональности.

Для полярной системы запоминают значения S_0 и $\Delta\varphi$, а значение площади каждой рецептивной зоны S_j запоминают в памяти зоны. При воздействии световым стимулом на конкретную рецептивную зону шкалы, из памяти зоны извлекают значение площади этой зоны S_i и вычисляют порядковый номер оси по формуле $j = \frac{S_j - S_0}{\Delta S}$, затем вычисляют угол $\varphi = j * \Delta\varphi$ который используют в качестве значения полярного угла местоположения стимула на матрице.

Поскольку расположенные на разных копиях оси рецептивные зоны имеют равные площади (потенциалы), далее мы станем называть такие оси также «радиусами равного потенциала».

Альтернативно для измерения углов на всей площади светочувствительной матрицы на матрице создают систему концентрических мерных окружностей (Фиг.28 и Фиг.29), отметки шкалы каждой окружности располагают на радиусе в точках его пересечения с каждой из окружностей и в этих же точках располагают центры рецептивных зон, а сами рецептивные зоны создают одинаковой или разной площади предпочтительной круглой или иной формы.

По меньшей мере, в памяти каждой рецептивной зоны возможно кроме терминальной зоны каждой мерной окружности запоминают значение Избранного Направления. При проецировании светового стимула на конкретную рецептивную зону, центр которой расположен в отметке i шкалы мерной окружности j из памяти зоны извлекают значение Избранного Направления и рассчитывают названное значение i . Для этого суммируют число последовательных смежных рецептивных зон мерной окружности j , включая Терминальную, расположенных в Избранном Направлении. Суммирование заканчивают, достигнув Терминальную зону. Размер угла между

рецептивной зоной проекции стимула на матрицу и терминальной зоной рассчитывают, умножая полученную сумму i на размер угла $\Delta\varphi$, разделяющий смежные зоны мерной окружности j .

Для создания полярной системы координат (Фиг. 31) на светочувствительной матрице для измерения полярного радиуса размещают радиальное мерное поле (Фиг.17), а для измерения полярного угла располагают поле мерных окружностей (Фиг. 28 или Фиг. 29). Названные поля создают с помощью одной и той же главной координатной оси, то есть главная координатная ось радиального мерного поля и главная координатная ось поля мерных окружностей является одной и той же координатной осью. Поэтому центр и шкала главной координатной оси радиального мерного поля совпадает с центром и шкалой главной координатной оси поля мерных окружностей. При воздействии световым стимулом на светочувствительную матрицу выявляют конкретный детектор шкалы главной мерной окружности или любой из копий главной мерной окружности и одновременно конкретный детектор шкалы главной координатной оси или любой из копий главной координатной оси, извлекают порожденные значения потенциалов детекторов круговой шкалы главной мерной окружности или любой из ее копий и шкалы главной координатной оси или любой из ее копий и вычисляют соответствующее извлеченным потенциалам значение полярного угла и полярного радиуса, которые используют в качестве значений системы двух координат, образующих полярную систему координат матрицы.

Информацию от разных детекторов получают и обрабатывают отдельно. Для множества детекторов в качестве алгоритма обработки информации выбирают такой, результат работы которого не меняется, если не меняется способ освещения детектора (далее «стимул»).

Действие гравитации делает предметы окружающего мира симметричными в двух направлениях – в вертикальном и горизонтальном. При отсутствии вертикальной симметрии равновесие нарушается, поэтому для минимизации энергетических затрат и снижения физического износа на поддержание равновесия вертикальная симметрия особенно характерна для объектов флоры и фауны. Возвышенности на Земле также формировались под действием гравитации и потому также обладают элементами вертикальной симметрии. Горизонтальная симметрия характерна для жидких и аморфных объектов, которые растекаясь под действием гравитации принимают формы с горизонтальной симметрией. В своей деятельности человек также широко использует симметрию.

По всем названным причинам распознавание симметрии является важным для систем технического зрения (СТЗ), в частности для беспилотных автомобилей и роботов другого назначения.

Поскольку признаком симметрии расположения стимулов в полярной системе координат является равенство их полярных координат – радиуса и угла, то для выявления симметрии удобно использовать технику мерных окружностей измерения углов, ведь на мерной окружности расположены точки равноудаленные от центра полярной системы, а сама мерная окружность предназначена для измерения углов, что позволяет выявлять точки равноудаленные от терминальной точки (мерная окружность с избранным направлением) или от начала круглой координатной оси (мерная окружность с потенциалами зон, пропорциональными отметкам шкалы оси). Для выявления симметрии поле окружности удобно разбить на две половины, симметричные относительно вертикальной или горизонтальной линии симметрии (Фиг. 22, Фиг. 23 и Фиг.24,

Фиг.25). В каждой из половин окружности для выявления вертикальной и горизонтальной симметрии углы удобно измерять в пределах $0 \leq \varphi \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq -\pi$.

Для выявления симметрии стимулов относительно одной оси симметрии используют мерную окружность образованную двумя мерными сегментами симметричными относительно оси симметрии. Выбирают такое положение мерной окружности, при котором стимулы проецируются на детекторы, полярные углы которых одинаковы по абсолютной величине, но противоположны по знаку. Если углы не равны $\varphi_1 > \varphi_2$, то мерную окружность сдвигают или поворачивают в сторону большего угла φ_1 так, чтобы добиться равенства углов $\varphi_1 = \varphi_2$ на мерной окружности для названных стимулов.

Для выявления симметрии стимулов относительно двух осей симметрии используют мерную окружность образованную четырьмя мерными сегментами попарно симметричными относительно двух осей симметрии и вместе образующими мерную окружность (Фиг.26 и Фиг.27). При использовании четвертой мерной окружности в каждой из четвертей располагают шкалу для измерения углов в пределах $\pi/2$ радианов: правая и левая верхние четверти оснащены шкалой измерения угла в диапазоне $0 \leq \varphi \leq +\frac{\pi}{2}$, а правая и левая нижние четверти оснащены шкалой измерения угла в диапазоне $0 \leq \varphi \leq -\frac{\pi}{2}$. Благодаря наличию мерных четвертей детекторы, симметричные относительно вертикальной и горизонтальной осей имеют одинаковые потенциалы. На рисунке (Фиг.26 и Фиг.27) симметричные детекторы изображены заштрихованными. Для симметричных детекторов справедливо равенство углов: $\varphi_1 = -\varphi_2$ и $\varphi_1 = \varphi_2$. Это позволяет обнаруживать симметрию не только измеряя углы, но также сравнивая потенциалы детекторов, на которые воздействуют стимулы.

Поэтому для выявления симметрии образуют пару половин мерной окружности, используя пару мерных секторов, центральный угол каждого из которых равен 180° , или образуют две пары четвертей мерной окружности, используя две пары мерных секторов, центральный угол каждого из которых равен 90° ; для создания радиального мерного поля каждой половины мерной окружности используют соответственно одну пару множеств копий главной координатной оси с противоположными угловыми направлениями, и каждое из множеств копий главной координатной оси содержит N копий главной координатной оси с заданным углом суммы поворотов копий главной координатной оси равным $\varphi = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j = 180^\circ$, или для образования радиального мерного поля каждой четверти из двух пар четвертей мерной окружности используют две пары множеств копий главной координатной оси с противоположными угловыми направлениями, и каждое из множеств копий главной координатной оси содержит N копий главной координатной оси с заданным углом суммы поворотов копий главной координатной оси равным $\varphi = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j = 90^\circ$, а для того, чтобы потенциалы детекторов, симметричных относительно линии симметрии, образованной границей, разделяющей смежные половины или четверти, были равными, половины или четверти мерной окружности размещают на мерной окружности так, чтобы вершина центрального угла половины или четверти лежала в центре мерной окружности, половины или четверти с противоположными угловыми направлениями были смежными и не пересекались; а при воздействии световым стимулом на конкретный детектор круговой шкалы мерного сектора извлекают порожденное значение потенциала детектора и вычисляют соответствующего этому потенциалу значение полярного угла.

При воздействии двух световых стимулов на два детектора одинакового потенциала, расположенные в смежных мерных секторах поля мерных окружностей, делают вывод о симметричном расположении световых стимулов относительно линии симметрии, разделяющей названные смежные сектора поля мерных окружностей, а также о том, что все точки, равноудаленные от обоих световых стимулов, расположены на линии симметрии.

Поскольку рецептивные поля одинакового потенциала являются равноудаленными от центра полярных координат, то это позволяет определять удаление визуального стимула от центра полярных координат, находить точку равной удаленности от двух стимулов, а также находить линию симметрии, состоящую из точек, равноудаленных от двух линий произвольной формы.

Известно, что две произвольные точки, равноудаленные на расстояние R от третьей точки, должны лежать на окружности радиуса R с центром в третьей точке. Детекторы радиального мерного поля, равноудаленные от центра полярной системы координат, обладают одинаковыми потенциалами. Поэтому стимулы A и B (Фиг.32), расположенные на разном удалении от центра полярной системы координат, воздействуют на детекторы радиального мерного поля с разным потенциалом, причем потенциал рецептивной зоны будет тем выше чем дальше точка от центра: $S_A > S_B$. Алгоритм поиска центра симметрии смещает центр полярной системы O вдоль полярного радиуса в сторону избыточного потенциала S_A до тех пор, пока потенциалы не сравняются $S_A = S_B$ (Фиг. 33). Направление смещение центра координат показано пунктирной радиальной стрелкой (Фиг.32).

Для поиска на поверхности светочувствительной матрицы точки, равноудаленной от спроецированных на матрицу двух световых стимулов, в произвольные места светочувствительной матрицы проецируют два световых стимула и измеряют потенциалы детекторов радиального мерного поля, на которые воздействовали названными световыми стимулами, затем выбирают световой стимул с избыточным потенциалом и начинают смещать центр полярной системы координат в сторону светового стимула с избыточным потенциалом, одновременно измеряя потенциалы детекторов радиального мерного поля, на которые воздействуют названные точечные световые стимулы, при смещении стимулов по поверхности светочувствительной матрицы; названное измерение потенциалов и смещение центра полярной системы координат останавливают, когда потенциал первого светового стимула станет равным с некоторой допустимой погрешностью потенциалу второго, а местоположение, по меньшей мере, центра полярных координат на светочувствительной матрице после останова смещения считают точкой равноудаленной от названных световых стимулов.

В названной памяти M сохраняют значение названного потенциала $S_{i,j}$ рецептивной зоны. На площадь матрицы проецируют, по меньшей мере, два стимула A и B . Стимулами освещают разные рецептивные зоны с сохраненными для этих рецептивных зон значениями S_A и S_B . Когда сумматоры освещенных стимулами рецептивных зон фиксируют превышение порога чувствительности рецептивной зоны, из памяти извлекают сохраненное значение S_A и S_B соответствующей рецептивной зоны, которое передают в устройство анализа изображений, где S_A и S_B , извлеченные из памяти освещенных стимулами рецептивных зон сравнивают между собой, а при совпадении с заданной точностью $\pm \Delta S$ пары значений $S_A = S_B \pm \Delta S$ делают вывод о равной удаленности стимулов A и B от центра полярной системы координат матрицы.

Для поиска на поверхности светочувствительной матрицы множества точек, образующих линию симметрии кривой линии, представленной спроецированным на матрицу неподвижным световым стимулом, на поверхность светочувствительной матрицы проецируют кривую линию, представленную неподвижным на светочувствительной матрице световым стимулом. Запоминают местоположение на светочувствительной матрице центра полярной системы координат и в радиальном мерном поле ищут точку «минимума» светового стимула, для чего измеряют значение потенциалов всех точек стимула и находят единственную точку с наименьшим из измеренных потенциалов. Затем с помощью поля мерных окружностей ищут точку «максимума» названного светового стимула, полярный угол которой максимально отличается от полярного угла точки минимума. Для названной первой пары точек находят равноудаленную от них первую точку, которую считают точкой симметрии и запоминают ее местоположение на матрице. Затем полярную систему координат смещают в поперечном к линии соединяющей названную первую пару точек направлении, а измерение потенциалов точек кривой в радиальном мерном поле продолжают до тех пор, пока не обнаружат новую точку минимума. После этого повторяют поиск точки максимума, а затем поиск следующей точки симметрии, местоположение которой на матрице запоминают. Процесс поиска точек симметрии повторяют необходимое количество раз, при этом местоположением линии симметрии светового стимула на матрице считают местоположение на матрице множества найденных точек симметрии.

Смежные в радиальном направлении рецептивные поля связывают физической или логической взвешенной связью, вес которой, пропорционален потенциалу рецептивной координатного угла φ_j или одинаков для всех радиальных связей (Фиг. 23), а «суммарный вес» всех связей, лежащих на одном радиусе, запоминают. Все связи, расположенные вдоль радиуса между рецептивными полями, связывают с, по меньшей мере, одним сумматором весов. При воздействии стимулом, по меньшей мере, на одно радиальное рецептивное поле i , такое поле «возбуждается» и передает сигнал смежным «невозбужденным» радиальным полям, расположенным выше и/или ниже по радиусу от «возбужденного» рецептивного поля, «невозбужденные» меняют свое состояние на «возбужденное» и передают «невозбужденным» полям сигнал до тех пор, пока сигнал не достигнет другого «возбужденного» рецептивного поля j , после чего измерение заканчивают. Причем, при прохождении сигнала по цепи «невозбужденных» полей между «возбужденным» рецептивными полями i и j , расположенными на одном и том же радиусе, веса связей пройденных сигналом «возбуждения» считывают и суммируют, а сумму весов делят на названный «суммарный вес» всех связей радиуса и используют в качестве меры радиального размера между рецептивными полями i и j .

Поскольку радиус колец полярной системы координат от центра в периферии увеличивается, для произвольной кривой можно подобрать такое кольцо постоянного потенциала, радиус кривизны которого совпадает с радиусом кривизны кривой линии. Действие детектора основано на том, что если названные радиусы совпадают, то множество точек кривой линии лежат на кольце равных потенциалов и потому при повороте полярной системы вокруг центра в собственной плоскости потенциал точек кривой линии в проекции на матрицу меняться не будет. Для демонстрации этого спроецируем на полярную систему координат светочувствительной матрицы прямую AB с расположенной на этой прямой точкой C_1 , а также отрезок дуги одинакового потенциала EF с расположенной на этом отрезке точкой D_1 и начнем поворачивать

светочувствительную матрицу и ее полярную систему вокруг центра полярной системы по часовой стрелке (Фиг.34). Как видно (Фиг. 35) при повороте проекция точки C_1 сместилась вдоль радиуса в сторону увеличения потенциала колец, что привело к изменению потенциала точки C_1 . В то же время точка D_1 при повороте смещалась вдоль кольца с одинаковым потенциалом и ее радиальное смещение оказалось равным нулю, а потенциал не менялся.

Таким образом, смещая центр полярной системы координат вдоль линии симметрии гладкой кривой и одновременно поворачивая полярную систему координат вокруг собственного центра, можно достигнуть такого положения центра полярных координат, при котором кривизна кривой окажется равной кривизне одного из колец равного потенциала. Знание кривизны каждого из колец равного потенциала позволяет определить и кривизну произвольной кривой.

Для распознавания световых стимулов в форме пятна, кольца, а также линейной и угловой границы светового стимула удобно использовать детекторы с кольцевой и центральной зонами. Предпочтительная форма названных детекторов представлена на рисунке (Фиг.36), где 1 – круглая зона (также Фиг.15), 2 - кольцевая с центральной зоной (также Фиг.37), 3 - кольцевая для определения направления смещения линейной границы (также Фиг.39), 4 - кольцо для определения направления смещения угловой границы (также Фиг.38).

Каждую круглую рецептивную зону (Фиг. 15) могут разбивать на периферийную кольцевую и центральную круглую зоны (Фиг.37). Для этого детектор ограничивают снаружи окружностью радиуса R и проецируют на детектор окружность радиуса $r < R$ так, чтобы центры окружностей совпадали, при этом множество светочувствительных элементов, расположенных в кольцевой и в центральной зонах детектора пересчитывают, а результаты сохраняют в качестве значения площади или потенциала соответственно кольцевой и центральной зоны детектора.

Центральную круглую зону кольцевой рецептивной зоны оснащают сумматором освещенности светочувствительных элементов центральной зоны с пороговой функцией активации, а в памяти M сохраняют значение порога активации.

Для каждой кольцевой рецептивной зоны также вычисляют площадь кольцевой периферийной зоны, например пользуясь формулой $S_{lp} = \pi * \rho * (R_i^2 - r_i^2)$, где R - внешний и r - внутренний радиусы кольца зоны. В названной памяти M сохраняют значение названного потенциала S_{lp} периферийной кольцевой зоны рецептивного поля.

Внешнюю кольцевую зону рецептивной зоны могут разбивать на два симметричных или не симметричных сегмента a и b , а также могут выбрать направление f , которое используют в качестве главного направления чувствительности рецептивной зоны. Предпочтительно, в качестве главного направления выбирают такое направление, которое проходит через центр рецептивной зоны и делит пополам каждый из сегментов a и b (Фиг.25).

Известно, что сетчатка глаза имеет рецептивные поля ON и OFF типов, способные регистрировать пятна, угловой размер которых совпадает с размером центральной зоны рецептивного поля. OFF поля реагируют на темное пятно, а ON поля на светлые. По аналогии с ON/OFF рецептивными полями сетчатки, рецептивные поля светочувствительной матрицы могут относиться к ON или OFF типу и регистрировать темные пятна на светлом фоне (поля OFF типа) или светлые пятна на темном фоне (поля ON типа). Реакция детектора пятна на освещение/затемнение центральной части и периферии показаны для полей обоих типов на рисунке (Фиг.40).

Для идентификации стимула в форме кольца детектор настраивают на одновременное измерение освещенностей светочувствительных элементов кольцевой и центральной зон (Фиг.37), число освещенных элементов соответствующей зоны сравнивают с числом всех светочувствительных элементов зоны и, если в пределах некоторой погрешности все светочувствительные элементы кольцевой зоны не освещены, а все светочувствительные элементы центральной зоны освещены, то принимают решение о том, что световой стимул имеет форму пятна, площадь проекции которого сравнима с площадью центральной зоны детектора в пределах названной погрешности, или, если в пределах некоторой погрешности все светочувствительные элементы центральной зоны не освещены, а все светочувствительные элементы кольцевой зоны освещены, то принимают решение о том, что световой стимул имеет форму кольца, площадь проекции которого сравнима с площадью кольцевой зоны детектора в пределах названной погрешности.

Для создания детектора пятна или кольца на светочувствительной матрице выбирают точку, которую используют в качестве центра двух концентрических кругов – внешнего и внутреннего (Фиг.37). Перед началом работы детектора детектор проецируют на поверхность светочувствительной матрицы и запоминают значение эталонной освещенности каждого светочувствительного элемента внутри схемы детектора, а также запоминают полное число светочувствительных элементов внутри кольцевой и центральной зоны детектора, кроме того, запоминают значения «критического» числа или доли светочувствительных элементов для кольцевой и центральной зоны. При использовании детектора освещенность светочувствительных элементов внутри схемы детектора меняют, одновременно измеряя текущее значение освещенности элементов внутри схемы. Если разница эталонного и текущего значений освещенности конкретного светочувствительного элемента центральной или кольцевой зоны превысит величину чувствительности названного светочувствительного элемента, такому светочувствительному элементу присваивают значение «единица», а все «единичные» значения суммируют отдельно для центральной и кольцевой зоны. Если сумма единичных значений кольцевой зоны и сумма единичных значений центральной зоны в пределах заданной погрешности оказывается равна соответствующего зоне названного критического числа или названной критической доли светочувствительных элементов, то принимают решение о наличии кольца или пятна, причем площадь проекции такого кольца или пятна приравнивают площади кольцевой зоны или площади центральной зоны Детектора.

Поле детекторов служит для распознавания пятен и/или колец разного размера. Для этого множество детекторов пятна и/или кольца разного размера (Фиг.41) следует размещать на светочувствительной матрице так, чтобы центры каждого из детекторов совпадали (Фиг.42). Предпочтительно центром детекторов выбирают центр полярной системы координат или отметку шкалы главной координатной оси или ее копии. Таким образом, множество светочувствительных элементов детектора меньшего размера являются подмножеством светочувствительных элементов детектора большего размера. Поскольку данные любого светочувствительного элемента самого маленького детектора нужны для работы одновременно всех детекторов большего размера, то данные с каждого светочувствительного элемента передаются для анализа алгоритмам принятия решения разных детекторов.

Для создания поля детекторов пятна и/или кольца на светочувствительной матрице выбирают точку для размещения центров детекторов поля детекторов (далее – Детекторов поля), затем создают множество Детекторов, каждый из которых содержит две концентрические окружности нужного размера, причем радиус внутреннего круга каждого Детектора отличается от радиуса внутреннего круга других Детекторов множества, по меньшей мере, на величину Δ_1 , а радиус внешнего круга каждого из Детекторов пятна и/или кольца или отличается от радиуса внешнего круга других Детекторов множества, по меньшей мере, на величину Δ_2 или является для всех Детекторов пятна и/или кольца одинаковым, все Детекторы поля проецируют на светочувствительную матрицу с центром в выбранной точке; при использовании поля детекторов световой стимул проецируют на детекторы множества, измерения освещенности проводят одновременно для каждого из Детекторов множества отдельно, а решение о наличии пятна и/или кольца и его размере принимают в зависимости от размеров Детектора пятна и/или кольца, освещенность которого соответствовала условиям принятия этих решений.

Известно, что из всех n -угольников, вписанных в окружность, правильный n -угольник обладает максимальной площадью. Зависимость отношения (y) площади правильного многоугольника к площади описанной окружности в зависимости от числа углов (x) правильного многоугольника показана на рисунке (Фиг.43).

Пятно в форме правильного многоугольника проецируют на зону измерений - внутренний круг Детектора пятна таким образом, чтобы углы многоугольника касались границы внутреннего круга, измеренное число единичных значений зоны измерений делят на число всех светочувствительных элементов зоны измерений, а по полученному результату деления делают вывод о возможном числе сторон многоугольника.

Определение направления смещения границы является важным для задач стабилизации изображения (https://en.wikipedia.org/wiki/Image_stabilization). Для определения направления смещения светового стимула и формы его границы можно использовать детектор линейной границы. Для создания детектора смещения линейной границы на светочувствительной матрице выбирают точку, которую используют в качестве центра двух концентрических кругов – внешнего и внутреннего (Фиг.44 и Фиг.45) Для названного детектора определяют главное направление, а для измерения угла между главным направлением и направлением смещения светового стимула (далее - угол смещения) используют зону измерений и зону выключения измерений. В качестве зоны выключения измерений используют центральную зону, а зону измерений создают следующим образом: диаметром, образующим с главным направлением прямой угол, кольцевую зону разбивают на два полукольца и в качестве зоны измерений используют то полукольцо, которое служит входом для главного направления, а полукольцо, служащее для главного направления выходом, не используют. Перед измерением угла смещения измеряют и сохраняют значение эталонной освещенности светочувствительных элементов детектора и число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны, а также выбирают некоторое «критическое» значение числа или доли светочувствительных элементов зоны выключателя измерений и запоминают его. При пересечении световым стимулом названной внешней границы детектора измеряют текущее значение освещенности светочувствительных элементов детектора, а, когда разница эталонного и текущего значений освещенности конкретного светочувствительного элемента зоны измерений или зоны выключения измерений превысит, по меньшей мере, величину

чувствительности названного светочувствительного элемента, такому светочувствительному элементу присваивают значение «единица»; все присвоенные единичные значения суммируют отдельно для зоны измерений и зоны выключения измерений до момента, когда сумма единичных значений зоны выключения измерений окажется равна или больше названного критического числа или названной критической доли светочувствительных элементов. После этого сумму единичных значений активной зоны делят на число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны и умножают на 2π , а результат считают значением в радианах угла γ , заключенного между главным направлением детектора и направлением смещения светового стимула, форма которого представляет собой линейную границу.

Круговой детектор позволяет более точно измерять угол смещения границы в необходимом диапазоне углов благодаря размещению множества детекторов с разными главными направлениями и усреднения измеренных с их помощью значений угла смещения границы (Фиг.46 и Фиг.47). Измерения проводят для каждого Детектора из множества детекторов отдельно с тем, чтобы уточнить угол γ смещения линейной границы и ее наличие.

Для идентификации линейной границы и угла смещения линейной границы образуют круговой детектор, для чего создают детектор линейной границы и используют его в качестве эталона. Создают множество копий эталона, вместе с эталоном образующих множество детекторов, указанное множество детекторов размещают с центром в одной точке, а главные направления для каждого из детекторов множества выбирают так, чтобы они пересекались в центре детектора, а смежные главные направления пересекались в центре и образовывали в пересечении друг с другом угол не менее погрешности измерения угла смещения границы Δ . Для кругового детектора определяют единственное эталонное направление, а угол β_i между главным направлением i -го детектора множества детекторов и эталонным направлением кругового детектора запоминают. При пересечении световым стимулом внешней границы детектора, измерения угла смещения линейной границы проводят для каждого i -го детектора отдельно, отдельно вычисляют названный угол γ_i и вычисляют сумму $\alpha_i = (\beta_i + \gamma_i)$, а полученное множество значений α_i сравнивают между собой с целью усреднения или уточнения значения угла между направлением смещения светового стимула и эталонным направлением кругового детектора, а также подтверждения, что форма границы стимула является линейной.

Углы пересечения любой пары смежных главных направлений из множества предпочтительно делают равными.

Круговые детекторы соответствующего потенциала используют в качестве детекторов первого мерного поля и второго мерного поля, а также в качестве детекторов поля мерных окружностей и радиального мерного поля, причем эталонное направление для всех круговых детекторов выбирают одинаковым с образованием «эталонного направления поля».

Указанные первое и второе мерные поля, а также радиальное мерное поле и поле мерных окружностей, вместе образующих поля измерений, размещают на светочувствительной матрице так, чтобы точка пересечения главных осей первого мерного поля и второго мерного поля совпадала с центром радиального мерного поля и с центром поля мерных окружностей.

Детектор смещения угловой границы отличается от детектора линейной границы формой большей площадью зоны измерений, которая достигается тем, что кольцевую зону делят не диаметром, а радиусами так, что центральный угол зоны измерений оказывается больше π

радиан. А именно для образования детектора угловой границы определяют главное направление для детектора смещения угловой границы и двумя радиусами, образующими с главным направлением углы φ и $-\varphi$ где $\varphi < \frac{\pi}{2}$, названную кольцевую зону разбивают на два сектора так, чтобы сектор с центральным углом $\delta = 2\pi - 2\varphi$, который используют в качестве зоны измерений, служил для главного направления входом, а сектор с центральным углом 2φ – выходом. Для измерения угла между главным направлением и направлением смещения светового стимула (далее - угол смещения) используют зону измерений и зону выключения измерений, причем в качестве зоны выключения измерений используют центральную зону детектора. Перед измерением угла смещения измеряют и сохраняют значение эталонной освещенности светочувствительных элементов светочувствительной матрицы и число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны детектора, а также выбирают и запоминают «критическое» значение числа или доли светочувствительных элементов зоны выключения измерений. При пересечении световым стимулом внешней границы детектора измеряют текущее значение освещенности светочувствительных элементов, а когда разница эталонного и текущего значений освещенности конкретного светочувствительного элемента зоны измерений или зоны выключения измерений превысит, по меньшей мере, величину чувствительности названного светочувствительного элемента, такому светочувствительному элементу присваивают значение «единица». Все присвоенные «единичные» значения суммируют отдельно для зоны измерений и зоны выключения измерений до момента, когда сумма единичных значений зоны выключения измерений окажется равной или большей названного критического числа или названной критической доли светочувствительных элементов. После этого сумму единичных значений зоны измерений делят на число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны детектора и, если Результат Деления превышает $1/2$, то считают, что световой стимул представляет собой угловую границу, а значение в радианах угла γ между главным направлением детектора и направлением смещения светового стимула считают равным Результату Деления, умноженному на 2π радиан.

Круговой детектор позволяет более точно измерять угол смещения границы в необходимом диапазоне углов благодаря размещению множества детекторов с разными главными направлениями и усреднения измеренных с их помощью значений угла смещения границы (Фиг.50 и Фиг.51). Измерения проводят для каждого Детектора из множества детекторов отдельно с тем, чтобы уточнить угол γ смещения линейной границы и ее наличие.

Для идентификации и угла смещения угловой границы образуют круговой детектор, для чего указанный детектор используют в качестве эталона и создают множество копий эталона, вместе с эталоном образующих множество детекторов, указанное множество детектора размещают с центром в одной точке, а главные направления для каждого из детекторов множества выбирают так, чтобы они пересекались в центре детектора, а смежные главные направления пересекались в центре и образовывали в пересечении угол не менее погрешности измерения угла смещения границы Δ , причем для кругового детектора определяют единственное эталонное направление, а угол β_i между главным направлением i -го детектора множества детекторов и эталонным направлением кругового детектора запоминают; при пересечении световым стимулом внешней границы детектора, названные измерения проводят для каждого i -го детектора отдельно, отдельно вычисляют названный угол γ_i и вычисляют сумму $\alpha_i = (\beta_i + \gamma_i)$, полученное множество значений α_i сравнивают между собой с целью усреднения или

уточнения значения угла между направлением смещения стимула и эталонным направлением кругового детектора, а также подтверждения того, что форма внешней границы детектора является угловой.

Углы пересечения любой пары смежных главных направлений из множества предпочтительно делают равными.

Круговые детекторы соответствующего потенциала используют в качестве детекторов первого мерного поля и второго мерного поля, а также в качестве детекторов поля мерных окружностей и радиального мерного поля, причем эталонное направление для всех круговых детекторов выбирают одинаковым с образованием «эталонного направления поля».

Указанные первое и второе мерные поля, а также радиальное мерное поле и поле мерных окружностей, вместе образующих поля измерений, размещают на светочувствительной матрице так, чтобы точка пересечения главных осей первого мерного поля и второго мерного поля совпадала с центром радиального мерного поля и с центром поля мерных окружностей.

Для ломаной линии, имеющей n углов, с помощью Детектора смещения линейной границы измеряют множество углов $(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n)$ смещения отдельных участков ломаной линии, затем вычисляют разницу смежных углов $(\varphi_1 = \gamma_2 - \gamma_1, \dots, \varphi_{n-1} = \gamma_n - \gamma_{n-1})$ или $(\varphi_1 = \gamma_2 - \gamma_1, \dots, \varphi_n = \gamma_1 - \gamma_n)$. Для замкнутой линии разницу смежных углов предпочтительно представляют в виде $(\varphi_1 = \gamma_2 - \gamma_1, \dots, \varphi_n = \gamma_1 - \gamma_n)$. Множество углов $(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n)$ или $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n)$ используют в качестве координат вектора \vec{N} цифрового описания ломаной незамкнутой или замкнутой линии.

Для создания неизменного цифрового описания линии, имеющей n углов и для поиска подобных ей линий на светочувствительную матрицу проецируют световой стимул в форме линии, имеющей n углов, и смещают световой стимул в названных полях измерений, проводят измерения и вычисляют множество значений углов наклона, образуемых названным эталонным направлением поля и каждым из отдельных участков линии $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, и идентифицируют местоположение углов в сочленении участков линии, причем в качестве множества значений углов наклона $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ выбирают значения, отличающиеся друг от друга, по меньшей мере, на величину погрешности измерения угла смещения границы Δ . Выбранные значения ранжируют в порядке возрастания или убывания для получения ранжированной последовательности значений углов $(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$. Углы, образованные в пересечении смежных участков линии, вычисляют как разницу последовательности ранжированных углов наклона смежных участков линии $\beta_i = a'_{i+1} - a'_i$, а ранжированную последовательность углов наклона $(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$ или соответствующую им последовательность разниц углов наклона $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1})$ или $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ используют в качестве множества углов названной линии и в качестве неизменного цифрового описания линии для цифровой идентификации названной линии при поворотах ее проекции в плоскости светочувствительной матрицы и при пропорциональном изменении ее размеров.

Для создания неизменного цифрового описания линии, имеющей n углов и для поиска подобных ей линий в качестве стимула используют замкнутую ломаную линию.

Для установления подобия на светочувствительную матрицу в качестве световых стимулов проецируют две или более линий, подобие которых проверяется. Линии проецируют одновременно или последовательно. Для каждой из линий вычисляют последовательности разниц углов наклона $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1})$ или $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, указанные последовательности сравнивают и, если цифровые описания указанных линий равны, то делают вывод о подобии линий.

Для установления равенства подобных линий образованных линиями фигур, с помощью полей измерения дополнительно измеряют расстояние между идентифицированными местоположениями углов в сочленении участков каждой из линий и, если измеренные расстояния равны, то расположенные между идентифицированными углами линии и/или образованные линиями фигуры считают равными.

Очевидно, что с помощью детектора смещения линейной границы можно измерить направления смещения γ_1 и γ_2 границ двух линий и, если направления смещения равны $\gamma_1 = \gamma_2$ в пределах погрешности измерений, то линии считают параллельными.

В общем случае для идентификации параллельности линий на светочувствительную матрицу в качестве световых стимулов проецируют две или более линии, для которых вычисляют и ранжируют последовательности углов наклона $(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$, указанные ранжированные последовательности сравнивают и, если цифровые описания указанных линий равны, то такие линии и/или соответствующие их участки считают параллельными.

Для цифровой идентификации правильного многоугольника ломаную замкнутую линию проецируют на светочувствительную матрицу и с помощью детектора углов ломаной линии измеряют размер углов смещения линейной границы $(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n)$ замкнутой линии и вычисляют углы $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n)$. Значения каждого из углов $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n)$ замкнутой ломаной линии сравнивают и, если разница значений не превышает известной погрешности измерений, то замкнутую ломаную линию считают правильным многоугольником.

После обнаружения угла (см. Детектор смещения угловой границы), в качестве первого шага, центр полярных координат матрицы смещают в вершину обнаруженного угла. При этом стороны угла окажутся радиусами полярной системы координат пересекая каждое из колец потенциала в двух точках (далее «боковые точки»). На втором шаге центр полярных координат смещают в любом из направлений, расположенных между названными боковыми точками до тех пор, пока боковые точки хотя бы одного кольца потенциалов (далее «граничное кольцо») не сольются в одну «опорную точку», в которой одна из сторон угла касается «граничного кольца». На третьем шаге после касания граничного кольца, центр полярных координат смещают в направлении от опорной точки к центру полярных координат по линии, соединяющей опорную точку и центр полярных координат до тех пор, пока одно из колец потенциалов не окажется граничным к обоим сторонам угла. На пятом шаге положение центра полярной системы координат сохраняют как точку, лежащую на линии симметрии угла. Для поиска других точек линии симметрии центр полярных координат смещают по линии симметрии, соединяющей вершину угла с центром полярной системы координат, а все точки, лежащие на этой линии, запоминают как точки, лежащие на линии симметрии.

Альтернативно для поиска следующих n точек, лежащих на линии симметрии, повторяют n раз цикл шагов со второго по пятый.

Приведенный выше алгоритм работы детектора линии симметрии имеет сходство с алгоритмом градиентного спуска и является относительно быстрым благодаря точному определению радиального направления, что позволяет связать линией произвольную точку кольца потенциалов и центр полярных координат. Однако алгоритм может работать и в случае определения радиального направления не точно, а с некоторой погрешностью. Поскольку рецептивные поля соседних колец равного потенциала в значительной степени пересекаются друг

с другом (Фиг.36), возможность приблизительного определения такого направления представляется очевидной. Тем не менее, для более точного определения радиального направления предпочтительным является использование детектора смещения линейной границы и детектора радиального смещения.

Приведенный выше алгоритм детектора линии симметрии позволяет центру полярных координат двигаться вдоль линии симметрии все время находясь в некоторой окрестности этой линии. Такое движение центра полярных координат светочувствительной матрицы аналогично движению оптического центра глаза вдоль линии симметрии угла.

Как было показано выше с помощью Детектора смещения угловой границы можно идентифицировать вершину угла, с помощью Детектора линии симметрии на сторонах угла можно найти точки, равноудаленные от центра полярных координат, а с помощью Детектора углового размера можно измерить угол θ (Фиг.52).

Поэтому для измерения угла сначала с помощью детектора смещения угловой границы идентифицируют местоположения вершины угла, затем с помощью детектора линии симметрии центр полярной системы смещают вдоль биссектрисы угла, а после касания сторонами угла одного и того же кольца рецептивных зон равного потенциала с помощью детектора измерения угла проводят измерение центрального угла полярной системы θ , а угол α вычисляют по формуле $\alpha = 2\pi - \theta$.

Как видно (Фиг.53) площади соседних рецептивных зон могут перекрывать друг друга, что позволяет увеличить точность измерения радиуса ρ_i , на котором расположен стимул, путем усреднения результата измерений.

Если $\Delta\rho = const$, то радиальную координату расположения центра последовательных рецептивных зон можно выразить так:

$$\rho_{i-1} = \rho_i - \Delta\rho; \quad \rho_i = \rho_i; \quad \rho_{i+1} = \rho_i + \Delta\rho$$

Для усредненного радиуса размещения стимула получим:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_{i-1} + \rho_i + \rho_{i+1}}{3} = \frac{3 * \rho_i + \Delta\rho - \Delta\rho}{3} = \rho_i$$

Если $\Delta\rho_i = f(i)$, то радиальную координату расположения центра последовательных рецептивных зон можно выразить так:

$$\rho_{i-1} = \rho_i - \Delta\rho_i; \quad \rho_i = \rho_i; \quad \rho_{i+1} = \rho_i + \Delta\rho_{i+1}$$

Для усредненного радиуса размещения стимула получим:

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_{i-1} + \rho_i + \rho_{i+1}}{3} = \frac{3 * \rho_i + \Delta\rho_{i+1} - \Delta\rho_i}{3} = \rho_i + \Delta f(i + 1)$$

Таким образом, наложение друг на друга рецептивных зон позволяет повышать точность измерения путем усреднения измерений по множеству рецептивных зон расположенных с перекрытием площадей или с полным совпадением площадей зон.

Хотя рассуждения были проведены для трех рецептивных зон, очевидно, что результат рассуждений будет аналогичным для любого числа рецептивных зон, причем чем меньше разница $\Delta\rho_i$ между радиусами последовательных колец одинакового потенциала полярной системы, тем точнее будет результат определения радиальной координаты $\bar{\rho}$ расположения стимула, путем усреднения результатов измерения по множеству зон.

Проведем аналогичные рассуждения для детекторов смещения линейной границы и для детектора смещения угловой границы.

Для усреднения направления смещения множество N рецептивных зон смещения линейной или угловой границы располагают так, чтобы их площади частично или полностью перекрывались, а зоны работали синхронно. Для полной синхронизации работы названного множества рецептивных зон, предпочтительно чтобы, по меньшей мере, зона выключения измерений была одна для всех зон. Предпочтительно также чтобы рецептивные зоны названного множества полностью совпадали: имели общий центр, одинаковые радиусы внутренней и внешней окружностей, а главное направление f смещения границы i -той зоны менялось по закону $\varphi_{i-1} = \varphi_i - \Delta\varphi_i$.

При смещении линейной границы в глубь множества зон с совпадающими площадями выключение измерений во всех зонах наступит одновременно, поскольку зоны выключения измерений всех зон множества также совпадают. Рассмотрим, как это работает на примере трех рецептивных зон, площади которых полностью совпадают (Фиг. 54, Фиг.55, Фиг.56). В результате полного совпадения зоны измерений, измерения рецептивных зон будут одновременными, но из-за разных главных направлений каждая из зон получит разные значения угла γ между главным направлением f_i зоны (в полярной системе определяется углом φ_i) и направлением смещения границы e стимула (в полярной системе определяется углом φ_s):

$$\gamma_{i-1} = \pi - |\varphi_{i-1} - \varphi_s| = \pi - |(\varphi_i - \Delta\varphi_i) - \varphi_s|;$$

$$\gamma_i = \pi - |\varphi_i - \varphi_s| = \pi - |\varphi_i - \varphi_s|;$$

$$\gamma_{i+1} = \pi - |\varphi_{i+1} - \varphi_s| = \pi - |(\varphi_i + \Delta\varphi_i) - \varphi_s|;$$

При постоянном $\Delta\varphi_i = const$ для усреднения угла получим:

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_{i-1} + \gamma_i + \gamma_{i+1}}{3} = \frac{3\pi - |3\varphi_i - 3\varphi_s - \Delta\varphi_i + \Delta\varphi_i|}{3} = \pi - |\varphi_i - \varphi_s|$$

При переменном $\Delta\varphi_i = f(i)$ для усреднения угла получим:

$$\bar{\gamma} = \pi - |\varphi_i - \varphi_s + \Delta f(i)|$$

Хотя рассуждения были проведены для трех рецептивных зон, очевидно, что результат рассуждений будет аналогичным для любого числа рецептивных зон, причем чем меньше разница углов $\Delta\varphi_i$ между главными направлениями названного множества совпадающих зон, тем точнее будет результат определения направления границы путем усреднения результатов измерения по множеству зон.

Детектор смещения линейной границы позволяет обнаружить сдвиг прямой линии, однако размер линии зачастую выходит за пределы отдельного детектора (рецептивного поля), проходя через несколько детекторов. Для распознавания прямой линии все эти детекторы должны иметь детектор плоской границы, а результаты их работы должны объединяться. Поэтому на матрице создают равномерно или неравномерно распределенное множество детекторов с одинаковым главным направлением. Абсолютно одинаковыми являются детекторы, предназначенные для выявления одного и того же признака, главное направление которых совпадает. Абсолютно одинаковые детекторы могут быть получены путем размещения одного и того же детектора на разные участки светочувствительной матрицы.

«Гомогенным полем детекторов» будем называть множество детекторов, обладающих одинаковым главным направлением, равномерно или неравномерно размещенных на площади светочувствительной матрицы с постоянным или переменным шагом и предназначенных для распознавания одного и того же признака.

Аналогичные рассуждения можно предложить в отношении детектора любого другого признака, например, смещения угловой границы. Поскольку заранее неизвестно в каком месте светочувствительной матрицы может появиться такой признак, то необходимо, чтобы детекторы такого признака были равномерно или неравномерно, с постоянным или переменным шагом распределены по площади матрицы и могли обнаружить появление признака в любом месте матрицы.

Поскольку заранее неизвестно в каком направлении будет смещаться такой признак, то необходимо, чтобы на матрице размещалось множество гомогенных полей, имеющих разные главные направления смещения соответствующего признака.

При быстром движении объекта его проекция на светочувствительную матрицу может оказаться «размазанной». Для снижения эффекта «размазывания» матрицу или оптическую систему матрицы поворачивают в сторону смещения объекта так, чтобы компенсировать смещение проекции светового стимула на матрице. Другой задачей является поддержание неизменным расположения проекции стимула на матрице. Обе задачи относятся к классу задач по компенсации смещения стимула на матрице или стабилизации изображения (https://en.wikipedia.org/wiki/Image_stabilization). Одним из путей решения названных задач является преобразование координат.

Для измерения смещения проекции светового стимула на матрице используют неподвижно закреплённую на матрице Систему Координат Матрицы (СКМ), которая может быть представлена рассмотренными ранее системами координат – декартовой или полярной.

Если смещение матрицы осуществляют приводом с возвратно поступательным ходом исполнительного механизма, то единственной координатой такого привода является линейная координата шарнира оконечника исполнительного механизма, которым исполнительный механизм крепится к матрице. Выдвигаясь или втягиваясь исполнительный механизм привода смещает (поворачивает) матрицу относительно оси, лежащей в плоскости матрицы и перпендикулярной к направлению хода привода или вокруг точки, лежащей в плоскости матрицы. Если спроецировать на матрицу неподвижный световой стимул, а затем привести в движение исполнительный механизм возвратно-поступательного привода и перевести привод из исходного положения в конечное на единицу длины хода привода, то световой стимул сдвинется в направлении, которое мы назовем «направлением привода», по прямой линии из своего исходного в свое конечное местоположение на матрице, пройдя расстояние, соответствующее единице хода привода. Отметив на матрице две точки соответствующие смещению привода из одного крайнего положения в другое крайнее положение привода и соединив полученные точки прямой, мы получим координатную ось Системы Координат Привода (СКП), на которой мы будем отмечать текущее положение шарнира оконечника исполнительного механизма возвратно-поступательного привода. Используя полученную координатную ось в качестве главной координатной оси мерного поля, создадим мерное поле привода. Теперь необходимые измерения можно проводить в любом месте матрицы, где есть мерное поле привода.

Если же смещение матрицы осуществляют приводом с возвратно-вращательным ходом исполнительного механизма, то единственной координатой такого привода является угол поворота исполнительного механизма, который вращаясь по или против часовой стрелке поворачивает матрицу относительно оси, перпендикулярной плоскости матрицы и проходящей через точку,

лежащую в плоскости матрицы, желательную совпадающую с геометрическим центром симметрии матрицы. Если спроецировать на матрицу неподвижный световой стимул, а затем привести в движение исполнительный механизм возвратно-вращательного привода и перевести привод из исходного положения в конечное на единичный угол φ привода, то световой стимул сдвинется на некоторый угол $\pm\omega$ в направлении по или против часовой стрелки, которое мы назовем «направлением привода», по окружности из своего исходного в свое конечное местоположение на матрице, повернувшись на угол, соответствующий единичному углу привода. Отметив на матрице две точки соответствующие смещению привода из одного крайнего положения в другое крайнее положение привода и соединив полученные точки окружностью, мы получим мерный сектор Системы Координат Привода (СКП), на котором мы будем отмечать текущее положение исполнительного механизма возвратно-вращательного привода. Используя полученную мерную окружность в качестве главной мерной окружности поля мерных окружностей создадим поле мерных окружностей привода. Теперь необходимые измерения можно проводить в любом месте матрицы, где есть поле мерных окружностей привода.

Мерное поле и поле мерных окружностей (или поле мерных секторов) используемые в качестве СКП далее станем называть гомогенными полями привода.

Для решения задач стабилизации изображения, компенсации смещения матрицы и преобразования координат матрицы в координаты привода и обратно требуется преобразование координат из СКМ в СКП и обратно (Фиг.57), а предложенное настоящим изобретением решение снижает вычислительную сложность задачи компенсации смещения стимула.

Для измерения пройденного приводом расстояния или угла поворота привода в СКП можно использовать как детекторы без кольцевой зоны, так и детекторы имеющими главное направление. Гомогенное поле привода, образованное с использованием детекторов смещения границы (с кольцевой зоной) и главным направлением, которое совпадает с направлением смещения на матрице неподвижного светового стимула, вызванного смещением исполнительного механизма привода в избранном направлении, позволяет определить направление смещения привода и измерять расстояния смещения привода, при которых направление смещения стимула соответствует избранному направлению привода. Если в мерном поле или поле мерных окружностей главное направление совпадает с направлением увеличения потенциала детекторов, то потенциал детектора в точке начала движения окажется меньше потенциала детектора в точке окончания движения и гомогенное поле будет измерять только положительные расстояния смещения. Аналогично с полем мерных окружностей или секторов, если одно из направлений – по часовой стрелке или против часовой стрелки является для поля мерных окружностей избранным. Например, в качестве детекторов поля мерных окружностей используются детекторы смещения границы, главное направления каждого из которых направлено по касательной к мерной окружности, на шкале которой размещен центр соответствующего детектора, причем главные направления всех детекторов поля мерных окружностей направлены в одну сторону – или по часовой стрелке или против часовой стрелки.

Таким образом, системе двух приводов будет соответствовать два гомогенных поля приводов, а системе трех приводов матрицы будет соответствовать три гомогенных поля приводов матрицы, причем главное направление одного из гомогенных полей приводов должно быть вращательным, поскольку матрица является плоской и имеет только два измерения. Например,

соответствующая двум приводам матрицы, смещающим матрицу в перпендикулярных направлениях (вертикальное и горизонтальное) прямоугольная декартова СКМ должна быть представлена двумя перпендикулярными главными направлениями (вверх или вниз, вправо или влево) или четырьмя попарно перпендикулярными главными направлениями (вверх, вниз, вправо и влево). Вектор смещения проекции объекта по поверхности светочувствительной матрицы в прямоугольной декартовой СКМ представляют как сумму проекций названного вектора на главные направления мерных полей матрицы (Фиг. 36).

Каждое из главных направлений мерных полей Системы Координат Приводов (СКП) матрицы в свою очередь, предпочтительно, представлено направлением поступательного смещения стимула, вызванное движением исполнительного механизма соответствующего привода (Фиг.58). Система Технического Зрения (СТЗ) может оснащаться приводами линейного и/или вращательного движения светочувствительной матрицы. Для перемещения матрицы в произвольном направлении вектор такого смещения представляют как сумму проекций названного вектора на главные направления мерных полей матрицы (Фиг. 36). Смещение матрицы производят, передавая на каждый из приводов команду смещения, соответствующую скалярной величине проекции названного вектора на главное направление соответствующего привода.

Предпочтительно используют два тянуще-толкающих или четыре тянущих (или толкающих) привода с перпендикулярными направлениями перемещения исполнительных механизмов для смещения матрицы в направлениях вверх, вниз, направо и налево. Например, живые мышцы являются примером «тянущего» привода. Поэтому движением глаза в горизонтальном и вертикальном направлении управляют пары тянущих вправо и влево горизонтальных и соответственно вверх и вниз вертикальных прямых мышц глаза. На матрице размещают по одному гомогенному полю детекторов для приводов любого типа, поэтому для тянуще-толкающих приводов достаточно одного поля для двух направлений движения, а для только тянущих или только толкающих приводов необходимо по одному гомогенному полю для каждого из направлений смещения. Предпочтительными главными направлениями названных гомогенных полей детекторов являются соответствующие приводам направления вверх, вниз, направо и налево, причем коллинеарные направления вверх и вниз перпендикулярны коллинеарным направлениям вправо / влево, а все четыре названных направления образуют ортогональную систему декартовых координат (Фиг. 37) направления которой соответствуют или коллинеарны направлениям приводов смещения матрицы.

Для решения задач практического применения преобразования координат СКП в координаты СКМ необходимо знать передаточное отношение привода. Поэтому на матрице определяют, по меньшей мере, одно направление смещения неподвижного светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы, вызванного перемещением исполнительного механизма конкретного привода светочувствительной матрицы (далее «направление привода»), и создают на матрице мерное поле (далее - гомогенное поле привода), направление главной оси которого совпадает с направлением привода. Передаточное отношение привода светочувствительной матрицы вычисляют как отношение изменения потенциала детекторов главной координатной оси гомогенного поля привода или ее копии, на которые воздействовал неподвижный световой стимул до и после указанного линейного смещения светового стимула по

поверхности светочувствительной матрицы к соответствующему изменению местоположения указанного привода.

Рассмотрим работу привода (Фиг.38) и преобразование смещение привода в координаты матрицы. Расстояние смещения в координатах СКМ вертикальной L_v и горизонтальной L_g границ прямо пропорционально степени смещения соответствующих вертикальных D_v и горизонтальных D_g приводов:

$$L_v \propto D_v$$

$$L_g \propto D_g$$

то:

$$L_v = p_v * D_v, \quad \text{где } p_v = \frac{L_v^{max}}{D_v^{max}} \text{ является передаточным отношением вертикального привода.}$$

$$L_g = p_g * D_g, \quad \text{где } p_g = \frac{L_g^{max}}{D_g^{max}} \text{ является передаточным отношением горизонтального привода.}$$

В формулах выше D_v^{max} и D_g^{max} – максимальные вертикальное и горизонтальное смещения привода, а L_v^{max} и L_g^{max} – соответствующее им максимальное вертикальное и горизонтальное смещение стимула на матрице соответственно.

Ранее было показано, что расстояние L_v вертикального смещения стимула пропорционально изменению потенциалов $(S_{i+1,j} - S_{i,j})$ рецептивных зон гомогенного поля с вертикальным главным направлением $L_v = k_v * (S_{i+1,j} - S_{i,j})$, аналогично расстояние горизонтального смещения стимула пропорционально изменению потенциалов рецептивных зон гомогенного поля с горизонтальным главным направлением $L_g = k_g * (S_{i,j+1} - S_{i,j})$. Это позволяет использовать изменение потенциалов рецептивных зон соответствующего гомогенного поля рецептивных зон непосредственно в качестве управляющего сигнала соответствующего привода:

$$D_v = \frac{L_v}{p_v} = \frac{k_v * (S_{i+1,j} - S_{i,j})}{p_v}$$

$$D_g = \frac{L_g}{p_g} = \frac{k_g * (S_{i,j+1} - S_{i,j})}{p_g}$$

При $k_g = k_v = 1$ получим что расстояние смещения привода равно разнице потенциалов начального и конечного местоположения стимула, деленной на передаточное отношение:

$$D_v = \frac{L_v}{p_v} = \frac{(S_{i+1,j} - S_{i,j})}{p_v}$$

$$D_g = \frac{L_g}{p_g} = \frac{(S_{i,j+1} - S_{i,j})}{p_g}$$

Для практических целей бывает необходимо стабилизировать изображение - чтобы подвижное изображение не меняло своего местоположения на светочувствительной матрице. В настоящее время такая задача решается механическим, цифровым или оптическим способами стабилизации. Настоящее изобретение предлагает способ стабилизации изображения с помощью заявленной системы измерений.

Рассмотрим привод матрицы, предназначенный для линейного перемещения матрицы в направлении f (Фиг.59а). Спроецируем на матрицу изображение неподвижного стимула и начнем переводить исполнительных механизм привода из положения D^{min} в положение D^{max} . В результате движения привода неподвижный стимул станет двигаться по матрице в направлении,

соответствующим смещению привода, которое мы станем называть направлением привода на матрице. Для измерения расстояния смещения проекции стимула, вызванного смещением исполнительного механизма привода, создадим на матрице координатную ось со шкалой и с началом в некоторой точке матрицы так, чтобы точки L^{min} и L^{max} соответствующие точкам D^{min} и D^{max} привода, лежали на названной координатной оси и оставались в поле светочувствительной матрицы. Направление такой оси далее будем называть «направлением привода» на матрице. Создадим теперь на матрице полярную или декартову систему координат и закрепим ее на матрице неподвижно (далее «система координат матрицы – СКМ»). Привод обеспечивает смещение матрицы из точки 1 в точку 2 на расстояние $\Delta D = D^2 - D^1$, причем матрица смещается вместе с системой координат матрицы (Фиг.59b). Привод жестко соединен с матрицей шарниром оконечника (далее «шарнир»), поэтому местоположением шарнира в СКМ меняться не будет. Для удобства местоположением шарнира в СКМ можно считать точку, совпадающую с центром СКМ. Поскольку при смещении привода шарнир смещается вдоль оси координат привода (система координат привода – СКП), то начало оси координат привода будет также смещаться по матрице. То есть при движении привода СКМ будет двигаться относительно СКП. СКМ будет смещаться в направлении, соответствующем смещению привода, а начало СКП соответственно в обратном направлении. Если спроецированное на матрицу изображение неподвижно, то смещение матрицы приведет к смещению изображения на матрице на расстояние $\Delta L = L^2 - L^1$, измеренное в СКМ (Фиг. 60), причем расстояние ΔL будет пропорционально смещению привода ΔD , измеренному в СКП. Коэффициент пропорциональности $p = \frac{\Delta L}{\Delta D}$ представляет собой передаточное отношение и позволяет связать расстояние смещения неподвижного изображения на матрице ΔL с расстоянием смещения привода матрицы ΔD . Значение передаточного отношения может быть удобно вычислять как отношение максимальных смещений $p = \frac{\Delta L^{max}}{\Delta D^{max}}$, где $\Delta D^{max} = D^{max} - D^{min}$ и $\Delta L^{max} = L^{max} - L^{min}$.

Для придания матрице трех степеней свободы, матрицу можно поворачивать по направлению часовой стрелки или против него в плоскости полярной системы координат, а для этого матрицу снабжают приводом, поворачивающим матрицу вокруг оси Z , предпочтительно проходящей через центр полярной системы координат матрицы в точке с неизменными координатами $\rho = 0$ и $\varphi = 0$ и перпендикулярной плоскости матрицы. Для измерения угла поворота матрицы вокруг оси Z матрицу снабжают полем мерных окружностей, которое позволяет измерять полярный угол поворота матрицы вокруг оси Z относительно полярного радиуса OA , который в исходном положении полярной системы (Фиг.65) имеет направление с полярным углом $\varphi = 0$, который определен координатами неподвижного стимула $A(\rho, \varphi = 0)$. Угол поворота матрицы τ (Фиг.66) вокруг координатной оси Z считают равным изменению полярного угла φ относительно полярного радиуса OA , взятому с обратным знаком $\tau = -\varphi$. Знак меняет значение из-за того, что поворот матрицы по часовой стрелке вместе с закрепленной на матрице полярной системой приводит к смещению стимула A в направлении против часовой стрелки, так как стимул A является неподвижным. При этом в мерных полях привода (система координат X, Y) стимул A движется по окружности с центром в точке O с радиусом OA .

Выражение передаточного отношения для возвратно-вращательного привода примет вид $p = \frac{\Delta \varphi^{max}}{\Delta \omega^{max}}$, где $\Delta \varphi^{max} = \varphi^{max} - \varphi^{min}$, а φ^{max} и φ^{min} соответственно максимальный и минимальный

углы поворота матрицы, и $\Delta\omega^{max} = \omega^{max} - \omega^{min}$ где ω^{max} и ω^{min} соответствующие максимальный и минимальный углы поворота привода.

Используем размещенную на матрице ранее координатную ось в качестве главной координатной оси для образования на светочувствительной матрице мерного поля (Фиг. 61) и будем измерять в мерном поле расстояние L смещения стимула, вызванное смещением исполнительного механизма привода. Система полярных координат, закрепленная на матрице, будет перемещаться вместе с матрицей в поле оси координат привода вправо и влево. Созданное мерное поле можно использовать для измерения расстояния при движении привода и влево и вправо (Фиг.62) с помощью измерения потенциала детекторов в точке начала и конца движения стимула $L = k * (S_2 - S_1)$, при этом направление смещения привода станем определять по знаку разницы $\Delta L = L^2 - L^1 = k * (S_2 - S_1)$, если знак положительный, то движение стимула происходит в направлении увеличения значений шкалы координатной оси, а если отрицательный, то движение стимула происходит в направлении уменьшения значений.

В другом исполнении для определения направления движения стимула можно использовать детекторы смещения линейной или угловой границы, главное направление которых совпадает с направлением главной координатной оси мерного поля. В таком исполнении для каждого направления движения привода можно использовать два перекрывающихся друг друга мерных поля с противоположными главным направлениями детекторов смещения линейной или угловой границы (Фиг.63).

В качестве нулевой отметки местоположения матрицы в координатах мерного поля привода разумно выбрать среднее между от L^{min} и L^{max} , то есть значение $L = L_{min} + \frac{\Delta L^{max}}{2}$. Это позволяет при необходимости смещать матрицу вправо или влево на расстояние $\pm \frac{\Delta L^{max}}{2}$. Такое решение удобно использовать, если для смещения матрицы в направлении одной оси используются два тянущих привода, то есть два привода, которые могут только сокращаться как мышцы. Так работают пары прямых и косых мышц глаза.

Описанным выше способом можно создать поля привода для привода с любым направлением привода. Для примера (Фиг.64) показана система координат второго привода с вертикальным смещением, направление которого перпендикулярно направлению смещения привода, который мы обсуждали ранее.

В одном из исполнений исходное местоположение матрицы, соответствующее нулевому значению координатной оси местоположения привода (далее «нулевая отметка привода»), может быть смещено в матрицы так, чтобы от нулевой отметки до края матрицы расстояние было равно $\pm \frac{\Delta L^{max}}{2}$ или равно другой величине, определенной целями использования устройства приводов матрицы. При расположении нулевой отметки привода в центре матрицы предпочтительно также, чтобы местоположение на матрице нулевой отметки привода (точка O на Фиг.65) совпало с центром полярной системы координат. В таком исполнении весь диапазон ΔL_y и ΔL_x вертикальной Y и горизонтальной X координатных осей декартовой системы координат приводов окажется разбит на два диапазона $-\frac{\Delta L_y^{max}}{2}$ до $+\frac{\Delta L_y^{max}}{2}$ и от $-\frac{\Delta L_x^{max}}{2}$ до $+\frac{\Delta L_x^{max}}{2}$, а центр полярной системы координат матрицы будет совпадать с центром декартовой системы координат приводов - точкой

O с координатами $L_x = 0$ и $L_y = 0$, (Фиг.65) и текущими координатами точки O в полярной системе будут координаты $\rho = 0$ и $\varphi = 0$.

При воздействии светового стимула B на светочувствительную матрицу (Фиг.67) измеренными координатами стимула в декартовой системе координат привода будут $B(L_x, L_y)$, а в полярной системе координат матрицы $B(\rho, \varphi)$. Для перемещения матрицы в положение, при котором центр полярной системы координат совпадет с местоположением стимула на светочувствительной матрице (Фиг. 68), необходимо переместить вертикальный и горизонтальный приводы соответственно на расстояния $\Delta D_y = p * L_y = p * (\rho * \sin\varphi)$ и $\Delta D_x = p * L_x = p * (\rho * \cos\varphi)$, где ΔD_y и ΔD_x – расстояние смещения приводов по оси Y и по оси X соответственно, p – передаточное отношение привода, ρ и φ – полярные радиус и угол местоположения стимула в полярной системе матрицы перед ее смещением, L_x и L_y – расстояние от начала координатной оси (от нулевой отметки шкалы) до проекции стимула на эту ось.

После перемещения центра полярной системы координат в точку местоположения стимула на светочувствительной матрице, координаты точки O в полярной системе координат изменятся с ρ и φ на ρ и $(\varphi + \pi)$, а координаты $L_x = 0$ и $L_y = 0$ останутся прежними.

Для возвращения центра полярной системы координат в исходную точку O , проекция которой на оси X и Y совпадает с нулевыми отметками шкалы названных осей, приводы необходимо переместить на те же расстояния, но с обратным знаком. Такое перемещение соответствует смещению центра полярной системы на величину радиуса, связывающего центр полярной системы координат и точку O в направлении названного радиуса без изменения значения полярного угла. При этом значение радиуса точки O в полярной системе координат уменьшается до нуля.

Стабилизация изображения на матрице осуществляют следующим образом: перед смещением на матрице светового стимула измеряют «исходный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем исходном местоположении в гомогенном поле привода, соответствующем текущему местоположению привода, а при смещении светового стимула на матрице измеряют «конечный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем конечном местоположении в гомогенном поле привода. Из конечного потенциала вычитают исходный потенциал, а полученную «разницу потенциалов» делят на передаточное отношение привода светочувствительной матрицы, а полученный результат используют в качестве расстояния перемещения привода между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение в гомогенном поле привода на светочувствительной матрице. Если значение разницы потенциалов является положительной величиной, то перемещение привода осуществляют в направлении привода и, если значение разницы потенциалов является отрицательной величиной, то перемещение привода осуществляют в направлении противоположном направлению привода.

Другим способом осуществления стабилизации изображения является использование в качестве детекторов гомогенного поля привода детекторов линейной границы или детекторов угловой границы, главное направление которых совпадает с направлением главной координатной оси гомогенного поля привода. Перед смещением на матрице светового стимула измеряют

«исходный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем исходном местоположении в гомогенном поле привода, соответствующем текущему местоположению привода, а при смещении светового стимула на матрице измеряют «конечный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем конечном местоположении в гомогенном поле привода. Вычисляют разницу между исходным и конечным потенциалами, полученную разницу делят на передаточное отношение привода светочувствительной матрицы и полученный результат используют в качестве расстояния перемещения привода между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение на светочувствительной матрице. При смещении светового стимула на матрице также измеряют значение угла смещения линейной или угловой границы светового стимула и, если значение угла находится в пределах $\frac{\pi}{2} < |\pm\gamma| \leq \pi$, то привод перемещают в направлении привода, а если значение угла находится в пределах $0 \leq |\pm\gamma| < \frac{\pi}{2}$, то привод перемещают в направлении противоположном направлению привода.

Для задач стабилизации изображения, измерения формы, кривизны и размеров стимула может использоваться поле мерных окружностей матрицы. Для создания поля мерных окружностей определяют, по меньшей мере, одно направление смещения неподвижного светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы вдоль окружности с центром неподвижно закрепленным на светочувствительной матрице, вызванного перемещением исполнительного механизма конкретного привода светочувствительной матрицы (далее «направление привода»), и создают поле мерных окружностей (далее - гомогенное поле привода), которое располагают на светочувствительной матрице так, чтобы центр поля мерных окружностей совпадал с центром указанной окружности, а направление привода совпадало с направлением увеличения значений полярного угла; передаточное отношение привода светочувствительной матрицы вычисляют как отношение изменения потенциала детекторов главной мерной окружности гомогенного поля привода или ее копии на которые воздействовал неподвижный световой стимул до и после указанного смещения светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы к соответствующему изменению местоположения указанного привода.

Перед смещением на матрице светового стимула измеряют «исходный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем исходном местоположении в гомогенном поле привода, соответствующем текущему местоположению привода, а при смещении светового стимула на матрице измеряют «конечный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем конечном местоположении в гомогенном поле привода. Из конечного потенциала вычитают исходный потенциал, а полученную «разницу потенциалов» делят на передаточное отношение привода светочувствительной матрицы и полученный результат используют в качестве расстояния перемещения привода между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение гомогенного поля привода на светочувствительной матрице. Если значение разницы потенциалов является положительной величиной, то привод перемещают в направлении привода и, если значение разницы потенциалов является отрицательной величиной, то привод перемещают в направлении противоположном направлению привода.

В реальных условиях светочувствительную матрицу оснащают множеством приводов с возвратно-поступательным или возвратно-вращательным движением исполнительного механизма и для каждого из приводов создают гомогенное поле привода. При смещении светового стимула из исходного местоположения на светочувствительной матрице, соответствующего текущему местоположению каждого из множества приводов, в конечное местоположение светового стимула на светочувствительной матрице, отдельно для каждого из приводов множества рассчитывают расстояние между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение гомогенного поля привода на светочувствительной матрице.

Назовем местоположение стабилизированного изображения эталонным. Для поддержания стимула в эталонном местоположении на матрице создают множество из двух приводов, а для образования декартовой системы гомогенных полей первого и второго приводов используют мерные поля, а соответствующие мерным полям направления приводов выбирают такими, чтобы главные координатные оси мерных полей первого и второго приводов на светочувствительной матрице пересекались под прямым углом и начинались в одной точке с образованием центра системы, на светочувствительной матрице выбирают эталонное местоположение, измеряют потенциалы детекторов гомогенных полей первого и второго приводов для эталонного местоположения и запоминают указанные потенциалы детекторов в качестве потенциалов эталонного местоположения светочувствительной матрицы, соответствующих эталонному местоположению первого и второго приводов; при воздействии светового стимула на детекторы первого и второго гомогенных полей приводов, потенциалы таких детекторов определяют, для первого и второго приводов отдельно рассчитывают расстояние между эталонным местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул займет указанное эталонное местоположение на светочувствительной матрице. Каждый из приводов перемещают с использованием рассчитанного для него расстояния, что позволяет переместить световой стимул в эталонное местоположение матрицы.

Для осуществления измерений полярного угла и радиуса подвижного светового стимула, а также для измерений формы и кривизны стимула в полярной системе координат путем вращения матрицы вокруг центра полярной системы координат дополнительно создают третий привод и для третьего привода используют поле мерных окружностей с соответствующим ему направлением привода и местоположением центра мерных окружностей, закрепленным на светочувствительной матрице в эталонном местоположении. При воздействии светового стимула на детекторы первого и второго гомогенных полей приводов, потенциалы таких детекторов определяют, для первого и второго приводов отдельно рассчитывают расстояние между эталонным местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул займет указанное эталонное местоположение на светочувствительной матрице. Первый и второй приводы перемещают с использованием рассчитанного для них расстояния, что позволяет совместить местоположение стимула с местоположением центра мерных окружностей (полярная система координат), закрепленным на матрице в эталонном местоположении.

В задачах практического применения иногда требуется преобразовать координаты подвижной системы координат в неподвижную и обратно, причем подвижная и неподвижная системы координат могут быть представлены полярной системой координат и декартовой системами координат. В таком случае на светочувствительной матрице создают декартову систему мерных полей по (далее - первая система координат), затем создают копию декартовой системы мерных полей (далее - вторая система координат). Одну из созданных систем координат закрепляют на светочувствительной матрице с образованием неподвижной системы координат, а вторую - перемещают по светочувствительной матрице с образованием подвижной системы координат. Приводы светочувствительной матрицы приводят в некоторое эталонное местоположение приводов, а подвижную и неподвижную системы координат размещают на светочувствительной матрице так, чтобы для эталонного местоположения указанных приводов центр неподвижной системы координат совпадал с центром подвижной системы координат. При перемещении соответствующего привода из начального местоположения в конечное местоположение, определяют расстояние перемещения привода и с помощью названного передаточного отношения привода вычисляют значение смещения центра подвижной системы координат в координатном поле неподвижной системы координат светочувствительной матрицы из начальной в конечную точку, а центр подвижной системы координат смещают так, чтобы потенциал детектора в месте расположения центра подвижной системы координат изменился в соответствии с вычисленным значением. При перемещении центра подвижной системы координат из первой во вторую точку неподвижной системы координат, определяют изменение потенциалов детекторов неподвижной системы координат в первой и второй точках и с помощью передаточного отношения привода светочувствительной матрицы вычисляют смещение привода, соответствующего направлению соответствующей главной оси мерного поля или полярного угла.

Альтернативно подвижная и неподвижная системы координат могут быть представлены декартовыми системами координат. Поэтому на светочувствительной матрице создают декартову систему мерных полей (далее - первая система координат), затем создают полярную систему координат матрицы, радиальная шкала которой совпадает со шкалой главных координатных осей мерных полей (далее - вторая система координат). Одну из созданных систем координат закрепляют на светочувствительной матрице (далее - неподвижная система координат), а вторую - перемещают по светочувствительной матрице (далее - подвижная система координат). Приводы светочувствительной матрицы приводят в эталонное местоположение приводов, а подвижную и неподвижную системы координат размещают на светочувствительной матрице так, чтобы для эталонного местоположения приводов центр неподвижной системы координат совпадал с центром подвижной системы координат. При перемещении соответствующего привода светочувствительной матрицы из начального местоположения в конечное местоположение, определяют расстояние перемещения привода и с помощью его передаточного отношения вычисляют значение смещения центра подвижной системы координат в координатном поле неподвижной системы координат светочувствительной матрицы из начальной в конечную точку, а центр подвижной системы координат смещают так, чтобы потенциал детектора в месте расположения центра подвижной системы координат изменился в соответствии с вычисленным значением. А при перемещении центра подвижной системы координат из первой во вторую точку неподвижной системы координат, определяют изменение потенциалов детекторов неподвижной

системы координат в первой и второй точках и с помощью названного передаточного отношения привода светочувствительной матрицы вычисляют смещение привода, соответствующее направлению соответствующей главной координатной оси мерного поля или полярного угла.

Итак, мы создали на матрице координатную систему из двух мерных полей матрицы для измерения местоположения на матрице точки, соответствующей текущему местоположению приводов, текущему расположению центра полярной системы и текущему положению стимула на матрице, а также полярную систему координат, представленную радиальным мерным полем для измерения полярного радиуса стимула и полем мерных окружностей для измерения полярного угла стимула. Причем поле мерных окружностей позволяет также измерять полярный угол поворота матрицы вокруг оси Z .

Несмотря на то, что в приведенном примере для простоты рассмотрены приводы, осуществляющие перемещение в обе стороны (тянут и толкают), на практике приводы могут быть или только толкающие или только тянущие, поэтому каждое из главных направлений рецептивных полей привода может обслуживаться отдельным приводом.

Если смещение приводов перпендикулярно друг другу, то они образуют прямоугольную систему координат, то есть можно сказать, что два поля второго привода позволяют измерять смещение привода в двух направлениях вдоль оси Y , в то время как два направления первой оси позволяют измерять смещение привода в направлении оси X декартовой прямоугольной системы координат. Понятно, что главные направления полей приводов должны соответствовать (быть условно «соосны») направлениям смещения приводов и потому могут пересекаться углом, соответствующим геометрии расположения приводов.

Инженерам, знакомым с уровнем техники должно быть понятно, что число приводов и их расположение может быть иным и система координат привода может быть любой другой, но общность приведенных выше рассуждений сохранится и позволит такую систему создать с использованием приведенных соображений. Необходимость связывания координат привода с координатами матрицы не изменится и может быть выполнена по аналогии с описанным механизмом осуществления связи систем координат. Знакомым с уровнем техники также очевидно, что вместо самой матрицы перемещать можно оптическую систему, которая проецирует изображение на матрицу, в таком случае приведенный пример будет описывать связь координат перемещения элементов оптической системы с системой координат, закрепленной на матрице.

Проекция на сетчатку аффинного преобразование куба может иметь форму правильного шестиугольника (Фиг.69).

В природе встречаются живые существа и неживые структуры, обладающие формой правильного многоугольника, часто шестиугольника или пятиугольника. Для тетрагональной и гексагональной упаковки светочувствительных элементов матрицы также характерны углы 120° . Для усреднения результатов измерений кругового детектора смещения границы или произвольного множества детекторов смещения границы, необходимо чтобы множество детекторов обладало хотя тремя отличными друг от друга главными направлениями. Поэтому представляется разумным помимо гомогенных полей горизонтального и вертикального края, иметь также гомогенные рецептивные поля трех главных тетрагональных направлений, смещенных относительно главных направлений гомогенных полей вертикального и горизонтального края (Фиг.70).

Результаты измерений освещенности светочувствительными элементами матрицы могут передаваться одновременно разным детекторам. Это позволяет спроецировать на одно и то же место матрицы множество схем различных детекторов, а затем передавать и анализировать значения освещенности каждого светочувствительного элемента для анализа разным детекторам. Кроме того, каждый светочувствительный элемент может быть частью поля смежных рецептивных полей (Фиг.36), а сигналы светочувствительного элемента могут анализироваться одновременно детекторами смежных рецептивных полей. Таким образом, светочувствительные элементы одного и того же рецептивного поля могут одновременно поступать в разные детекторы такого рецептивного поля и анализироваться на предмет формы границы, освещенности, цвету или подвергаться любому другому известному виду анализа. Это позволяет одному и тому же рецептивному полю быть частью гомогенных рецептивных полей разной функциональности, а матрице позволяет анализировать различные стимулы в любом месте светочувствительной матрицы.

На матрице создают множество детекторов смещения линейной границы с одинаковым главным направлением, расположенных на матрице равномерно или неравномерно, с пересечением или без пересечения полей смежных детекторов, а полученные от множества детекторов результаты измерений сравнивают и, если результаты смежных детекторов совпадают в пределах заданной погрешности, то их считают одинаковыми. Направление смещения линейной границы рассчитывают исходя из числа смежных детекторов с одинаковыми результатами измерений направления, а размер плоской границы рассчитывают исходя из числа смежных детекторов с одинаковыми результатами измерений смещения границы, полученными в пределах определенного промежутка времени, а также геометрии размещения детекторов на матрице.

На матрице создают множество детекторов смещения угловой границы с одинаковым главным направлением и конгруэнтной формой активной и пассивной зон, расположенных на матрице равномерно или неравномерно, с пересечением или без пересечения полей смежных детекторов, а полученные от множества детекторов результаты измерений сравнивают и, если результаты смежных детекторов совпадают в пределах заданной погрешности, то их считают одинаковыми, а последовательность получения одинаковых результатов считают направлением смещения пятна. Наличие и направление смещения угловой границы рассчитывают исходя из числа смежных детекторов с одинаковыми результатами измерений наличия угловой границы и направления ее смещения.

На матрице создают множество детекторов пятна, расположенных на матрице равномерно или неравномерно, с пересечением или без пересечения полей смежных детекторов, а полученные от множества детекторов результаты измерений сравнивают и, если результаты смежных детекторов совпадают в пределах заданной погрешности, то их считают одинаковыми, а последовательность получения одинаковых результатов считают направлением смещения пятна. Наличие и направление смещения круговой границы рассчитывают исходя из числа смежных детекторов с одинаковыми результатами измерений наличия угловой границы и направления ее смещения.

Для создания детектора кривизны поверхности выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, перед измерением кривизны поверхности по ее проекции на светочувствительную матрицу площадь светочувствительной матрицы разбивают на два или

более участков эталонного размера или формы и каждый из участков настраивают так, чтобы в условиях одинаковой освещенности всех участков, измеренное разными участками значение освещенности отличалось, для чего к системе измерения освещенности поверхности или подключают долю всех светочувствительных элементов соответствующего участка, а указанную долю уменьшают или увеличивают пропорционально значению D , которое используют в качестве значения плотности подключенных к системе измерения освещенности поверхности светочувствительных элементов участка матрицы, или подключают все светочувствительные элементы соответствующего участка, а измеренное ими значение освещенности снижают или увеличивают пропорционально значению D , которое используют в качестве значения чувствительности светочувствительных элементов.

Поясним это на примере с изменением плотности чувствительных элементов светочувствительной матрицы, хотя вместо плотности изменять можно чувствительность светочувствительных элементов матрицы к уровню освещенности.

Осветим эталонную сферу равномерным световым потоком, и рассмотрим, как меняется освещенность поверхности сферы в ее центральном сечении из-за изменения угла падения света β (Фиг.71).

Заметим, что угол зрения на поверхность α (Фиг.71) связан с углом падения света β выражением $\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta$, поэтому $\sin\alpha = \cos\beta$. Назовем точку максимальной освещенности эталонной сферы P – полюсом ($\beta = 0$; $\alpha = \frac{\pi}{2}$), а освещенность полюса P сферы радиуса R обозначим через E_R^P ; экватором сферы назовем точку с наименьшей освещенностью ($\beta = \frac{\pi}{2}$; $\alpha = 0$), а кратчайшую линию, соединяющую полюс с любой точкой экватора, назовем меридианом. Разместим в центр полярной системы координат в полюсе сферы и станем измерять освещенность точки A меридиана сферы на расстоянии ρ от центра полярных координат.

Известно, что освещенность можно выразить формулой через угол падения света β :

$$E = \frac{I}{d^2} \cos\beta$$

Поэтому отношение освещенностей двух точек сферы бесконечно удаленным источником можно выразить через углы падения:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos\beta_1}{\cos\beta_2}$$

В силу $\alpha = \frac{\pi}{2} - \beta$ для точек эталонной сферы можно записать:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos\beta_1}{\cos\beta_2} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}$$

Поскольку в полюсе P угол $\alpha_p = \frac{\pi}{2}$, то $\sin\alpha_p = \cos\beta_p = 1$ и:

$$\frac{E_A}{E_p} = \cos\beta_A = \sin\alpha_A = \frac{b}{R} = \sqrt{\frac{R^2 - \rho^2}{R^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2}$$

где R – радиус эталонной сферы, E_p – освещенность полюса эталонной сферы, ρ – расстояние от полюса P до точки A .

Известна формула освещенности $E = \frac{d\Phi}{dS}$, где dS – единичная площадь.

Если плотность D светочувствительных элементов матрицы от центра к периферии меняться, то $D = \frac{dN}{dS}$. Тогда $dS = \frac{dN}{D}$ и $E = D \frac{d\Phi}{dN}$. Если две точки матрицы освещены световым потоком одинаковой силы, то отношение измеренных освещенностей этих точек, тем не менее, окажется разным и будет равно отношению плотности светочувствительных элементов в этих точках:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{D_1 \frac{d\Phi}{dN}}{D_2 \frac{d\Phi}{dN}} = \frac{D_1}{D_2}$$

Наложим на светочувствительную матрицу неподвижную полярную систему координат матрицы (СКМ), а систему измерения освещенности матрицы модифицируем так, чтобы плотность D светочувствительных элементов подключенных к системе измерений в любой точке A матрицы, расположенной на расстоянии ρ от центра O полярной системы координат менялась так, будто точка A является точкой эталонной сферы радиуса R , удаленной на расстояние ρ от полюса освещенности эталонной сферы, а точка O является полюсом P эталонной сферы (Фиг.46):

$$D_A = D_p \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2}$$

Или

$$\frac{D_A}{D_p} = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2}$$

Проведем эксперименты освещая равномерным световым потоком плоскую поверхность и сферу и измеряя освещенность модифицированной матрицы световым потоком, отраженном от плоской поверхности и сферы.

Сначала осветим плоскую поверхность равномерным потоком рассеянного света, а в отраженный от поверхности поток поместим модифицированную матрицу. Предположим, что поток отражается от поверхности без потерь и освещенность матрицы равна истинной освещенности поверхности: $E_p = E^{orig}$. Сравним измеренную освещенность модифицированной матрицы e_p отраженным от плоской поверхности потоком с истинной освещенностью E^{orig} плоской поверхности. Так как поверхность плоская, а свет отражается от нее без потерь, то истинная освещенность E^{orig} в точке центра полярных координат O и в произвольной точке A площади модифицированной матрицы будет одинаковой $E_p = E_A = E^{orig}$. Однако из-за снижения плотности светочувствительных элементов от центра к периферии полярной системы координат, измеренная освещенность модифицированной матрицы в названных точках O и A окажется разной: освещенность e_p в центре полярной системы координат и освещенность e_A в точке A на расстоянии ρ от центра координат. Соотношение измеренных освещенностей модифицированной матрицы назовем коэффициентом модификации K , а законом его изменения сделаем закон изменения освещенности эталонной сферы радиуса R :

$$K = \frac{e_A}{e_p} = \frac{D_A}{D_p} = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2}$$

В центре координат $\rho = 0$ и потому $K = 1$, значит измеренная освещенность $e_p = K * E^{orig} = E^{orig}$ не отличается от истинной. В точке A на расстоянии $\rho > 0$ от центра координат $K < 1$ и

поэтому $e_A = K * E^{orig} < E^{orig}$. То есть при равномерной освещенности модифицированной матрицы освещенность центра координат O измеряется без потерь (в идеальном случае), а измеренная освещенность периферии подавляется пропорционально коэффициенту модификации.

Теперь осветим произвольную сферу радиуса r потоком E^{orig} , поместим модифицированную матрицу в отраженный от сферы световой поток, затем совместим точку проекции полюса освещенности сферы P на матрицу с центром полярных координат O модифицированной матрицы и измерим освещенность проекций точек P и A на модифицированную матрицу. Предположим, что полюс сферы отражает весь световой поток без потерь, тогда истинная освещенность проекции полюса сферы на модифицированную матрицу окажется равной $E_p = E^{orig}$, а истинная освещенность проекции точки A сферы на матрицу окажется равной:

$$E_A = k * E^{orig} = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{r}\right)^2} * E^{orig}$$

Поскольку центр полярной системы координат O совмещен с полюсом сферы P , то $\rho = 0$ и коэффициент модификации $K = 1$, и значит измеренная освещенность полюса $e_p = E_p = E^{orig}$. Однако проекция точки A сферы на матрицу находится от полюса на расстоянии $\rho > 0$, коэффициент модификации $K < 1$ и значит $e_A = K * E_A = K * (k * E^{orig}) = K * k * E^{orig}$

Поэтому:

$$\frac{e_A}{e_p} = \frac{K * k * E^{orig}}{E^{orig}} = K * k$$

Теперь переместим центр полярной системы координат матрицы O так, чтобы проекция на матрицу полюса P сферы оказалась на расстоянии ρ от центра координат O , а проекция на матрицу точки A сферы совпадала с центром полярной системы координат O . Теперь в качестве измеренной освещенности точек P и A получим:

$$e_p = K * E_p = K * E^{orig}$$

$$e_A = E_A = k * E^{orig}$$

И тогда:

$$\frac{e_A}{e_p} = \frac{k * E_A}{K * E_p} = \frac{k}{K} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{r}\right)^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2}}$$

Очевидно, что при $\frac{e_A}{e_p} = 1$, радиус измеряемой сферы r соответствует радиусу эталонной сферы $R = r$. Если $\frac{e_A}{e_p} > 1$, то радиус измеряемой сферы r больше радиуса эталонной сферы $R > r$, и если $\frac{e_A}{e_p} < 1$, то радиус проекции сферы r меньше радиуса эталонной сферы $R < r$.

Таким образом, указанное значение D плотности или чувствительности подключенных к системе измерения освещенности светочувствительных элементов указанных участков матрицы, снижают от центра к периферии полярной системы координат согласно закону изменения освещенности эталонной поверхности в направлении от точки максимальной освещенности (далее - полюс освещенности) к периферии; выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, проецируют ее на светочувствительную матрицу и измеряют кривизну с использованием проекции

поверхности на светочувствительную матрицу, для чего на указанной проекции выбирают точку полюса освещенности поверхности – “P”, с которой совмещают центр полярной системы координат – «O», затем центр полярной системы координат O смещают так, чтобы расстояние на светочувствительной матрице между точками O и P увеличивалось, и одновременно измеряют освещенности светочувствительной матрицы в названных точках; если измеренные значения освещенности названных точек O и P равны с допустимой погрешностью ΔE , то принимают решение о том, что радиус кривизны поверхности совпадает с радиусом кривизны эталонной поверхности, если измеренное значение освещенности центра полярной системы координат O превышает измеренное значение освещенности точки полюса освещенности поверхности P более чем на ΔE , то принимают решение о том, что радиус поверхности больше радиуса эталонной поверхности, если измеренное значение освещенности полюса поверхности P превышает измеренное значение освещенности центра полярной системы координат O более, чем на ΔE , то принимают решение о том, что радиус эталонной поверхности больше радиуса измеренной кривизны поверхности.

Для множества $(1, 2, 3, \dots, N)$ эталонных поверхностей с радиусами R_i , где $(1 \leq i \leq N)$ создают множество схем детекторов кривизны, а законы изменения плотности светочувствительных элементов в полярной системе координат для каждой схемы делают разными $D_i \propto f_i(\rho, \varphi = const)$. При измерении кривизны произвольной поверхности R_1 из множества схем детекторов выбирают такую, для которой выполняется $\frac{E_2}{E_1} = 1 \pm \Delta$, где Δ – допустимая погрешность измерений, а радиус кривизны произвольной поверхности R_1 считают равным радиусу R_i эталонной сферы, закон изменения освещенности которой соответствует функции $f_i(\rho, \varphi = const)$ выбранного детектора D_i .

Аналогичные рассуждения можно провести и для измерения кривизны поверхности цилиндра и других поверхностей. Представленный эффект равенства освещенностей в точке полюса и произвольной точке на проекции поверхности на матрицу легко проиллюстрировать (Фиг.72).

Как видно из рисунка (Фиг.72) после смещения центра полярной системы относительно полюса освещенности фигуры, в образовавшемся между ними пространстве пересекаются графики функции изменения освещенности эталонной поверхности и функции изменения плотности светочувствительных элементов, являющейся зеркальным отражением функции изменения освещенности эталонной поверхности. Сумма значений функций в точках O и P окажется одинаковой независимо от смещения точек относительно друг друга.

Можно представить, что окружности разной плотности в полярной системе образуются путем вращения функции изменения плотности светочувствительных элементов вокруг центра полярной системы O . Поэтому при смещении полюса освещенности P поверхности в любую сторону от центра полярной системы O , снижение освещенности в центре полярных координат O компенсируется пропорциональным уменьшением плотности светочувствительных элементов в точке P (Фиг.72), в результате этого измеренная освещенность в точках O и P всегда оказывается одинаковой. Такое равенство измеренных освещенностей будет наблюдаться и при более сложной форме поверхности. На рисунке (Фиг.73) функция изменения освещенности эталонной фигуры показана сплошной линией, а симметричная относительно центра полярной системы O

функция изменения плотности светочувствительных элементов на матрице показана пунктиром. Несмотря на сохранения равенства измеренных освещенностей в точках О и Р, абсолютные значения измеренной освещенности для разных расстояний между точками О и Р будут разными.

Выбор множества функций изменения плотности, подключенных в системе измерения светочувствительных элементов вдоль радиуса полярной системы, позволяет создать множество фильтров измерения формы эталонных поверхностей, чтобы каждая из выбранных функций позволяла измерить кривизну поверхности определенной формы.

Выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, перед измерением кривизны поверхности по ее проекции к системе измерения освещенности поверхности или подключают долю всех светочувствительных элементов, или подключают все светочувствительные элементы соответствующего детектора мерного поля или радиального мерного поля или поля мерных окружностей.

Для измерения кривизны выбранной поверхности произвольной формы в ее проекции на светочувствительную матрицу, измеряют освещенность светочувствительных элементов каждого детектора подключенного к системе измерения освещенности; из множества значений измеренной освещенности детекторов выбирают наибольшее из измеренных значений освещенности, а значение высоты поверхности в месте расположения детектора вычисляют как отношение измеренного детектором значения освещенности к наибольшему из измеренных значений, а полученное значение высоты ставят в соответствие значению местоположения детектора в первой или второй системе координат матрицы.

Построение функции высот поверхности в любой точке можно осуществлять прямым преобразованием измеренного значения освещенности в значение высоты поверхности, не прибегая к изменению плотности подключенных к системе измерений светочувствительных элементов матрицы или их чувствительности.

Ранее было показано, что изменение измеренной освещенности пропорционально изменению кривизны поверхности (Фиг.71):

$$\frac{E_A}{E_p} = \cos\beta_A = \sin\alpha_A = \frac{b}{R} = \sqrt{\frac{R^2 - \rho^2}{R^2}} = \sqrt{1 - \left(\frac{\rho}{R}\right)^2}$$

Или

$$\frac{E_A}{E_p} = \frac{b}{R}$$

В приведенной формуле угол β_A – это угол между касательными к поверхности в точках Р и А, а дробь $\frac{b}{R}$ – это отношение высоты точки А к высоте точки Р по отношению к наблюдателю. И тогда высота b точки А по отношению к высоте R точки Р может быть рассчитана по формуле:

$$b = R * \frac{E_A}{E_p}$$

Поскольку значение R не меняется, то оно не влияет на соотношение высот поверхности и его можно принять равным единице: $R = 1$ и тогда формула приобретет вид:

$$b = \frac{E_A}{E_p}$$

Таким образом, измеряя освещенности двух произвольных точек поверхности мы можем определить разницу высот этих точек относительно наблюдателя. Карту высот удобно строить как

карту изменения высоты множества точек поверхности относительно точки начала измерений кривизны поверхности. В качестве такой точки удобно выбрать точку наибольшей освещенности – полюс освещенности.

Значение E_p можно выбрать произвольно и тогда значение $b = \frac{E_A}{E_p}$ для каждой произвольной точки поверхности будет показывать во сколько раз высота b в такой точке больше или меньше высоты в точке, освещенность которой равна E_p . Для удобства вычислений лучше выбрать $E_p = 1$ и тогда формула вычисления высоты примет вид:

$$b = E_A$$

Таким образом для построения карты высот поверхности произвольной формы (44) выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить. Перед измерением кривизны поверхности по ее проекции к системе измерения освещенности поверхности или подключают долю всех светочувствительных элементов, или подключают все светочувствительные элементы соответствующего детектора мерного поля или радиального мерного поля или поля мерных окружностей.

Для измерения кривизны выбранной поверхности произвольной формы в ее проекции на светочувствительную матрицу, измеряют освещенность светочувствительных элементов каждого детектора подключенного к системе измерения освещенности, а измеренное значение освещенности считают значением высоты поверхности в месте расположения детектора, причем значение отметки шкалы оси координат или мерной окружности соответствующей расположению центра детектора в первой или второй системе координат матрицы ставят в соответствие полученному значению высоты.

В некоторых случаях может оказаться удобным измерять освещенность определенных точек поверхности произвольной формы в ее проекции на матрицу. В других случаях для осмотра сцены необходимо провести изучить форму поверхности в разных местах окружающей панорамы. В описанных и других случаях бывает удобно с помощью приводов смещать матрицу от одной изучаемой точки к другой точке, так чтобы центр неподвижной системы координат совпал с соответствующей точкой измерений в проекции поверхности на матрицу. Аналогичным образом глаз рассматривает окружающий мир поворачиваясь мышцами глаза. Поворот матрицы будет изменять угол β (Фиг.71) между нормалью к плоскости матрицы (обычно это направление оси оптической системы) и нормалью к поверхности в соответствующей точке, которая в качестве стимула была спроецирована на матрицу. Изменение угла β , в свою очередь, станет вносить погрешность в измерение освещенности и вычисление карты высот поверхности. Однако при условно «бесконечном» удалении наблюдателя от поверхности, кривизну которой измеряем, изменение угла β окажется достаточно малым чтобы таким изменением можно было пренебречь.

Для измерения освещенности разных точек поверхности произвольной формы путем поворота матрицы выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, на проекции поверхности на светочувствительную матрицу выбирают точку начала измерений P с которой связывают центр подвижной системы координат, а центр неподвижной системы координат O совмещают с центром подвижной системы координат P , измеряют и запоминают освещенность центра подвижной системы координат E_p , значение высоты поверхности в точке начала измерений принимают равной единице $H_p = 1$, значение высоты связывают с координатами точки P в

подвижной системе координат $H_p(a_p, b_p)$ и запоминают, с помощью приводов светочувствительной матрицы центр O неподвижной системы координат перемещают в первую точку, освещенность которой E_1 отличается от освещенности E_p более, чем на величину погрешности измерений освещенности $|E_1 - E_p| > \Delta E$, измеряют координаты $O_1(a_1, b_1)$ первой точки в подвижной системе координат, а высоте поверхности в первой точке присваивают значение отношения освещенностей в первой точке и в точке начала измерений $H_1 = \frac{E_1}{E_p}$, связывают значение высоты с координатами второй точки $H_2(a_2, b_2)$ и запоминают, причем смещение центра неподвижной системы координат O , измерение значений освещенности точки O , вычисление высоты поверхности, связывание высоты с координатами второй, третьей и так далее i -той точки O и запоминание связанной с координатами i -той точки высоты $H_i(a_i, b_i) = \frac{E_i}{E_p}$ продолжают до тех пор, пока не достигнут необходимого числа n измерений, а полученное распределение высот $(H_1(a_1, b_1), H_2(a_2, b_2), \dots, H_n(a_n, b_n))$, образованной множеством последовательных положений точки O на матрице во время измерений освещенности используют как множество значений высоты поверхности H_i в соответствующих точках поверхности с координатами (a_i, b_i) .

Поясним это на примере. Для измерения освещенности полюса P разместим матрицу так, чтобы точка полюса освещенности совпала с центром неподвижной полярной системы координат матрицы (СКМ) и измерим освещенность полюса получив значение освещенности E_p для полюса освещенности и запомним координаты $P(a_p, b_p)$ полюса освещенности в системе координат матрицы и присвоим этой точке значение высоты $H_p(a_p, b_p)$. Затем выберем точку A_1 матрицы так, чтобы измеренная освещенность этой точки E_1 отличалась от освещенности E_p более чем на величину погрешности измерения освещенности матрицы ΔE :

$$|E_p - E_1| \geq \Delta E$$

Определим и запомним координаты выбранной точки $A_1(a_1, b_1)$, а значение высоты $H_1(a_1, b_1)$ точки A_1 вычислим по формуле:

$$H_1(a_1, b_1) = H_p(a_p, b_p) * \frac{E_1}{E_p}$$

Точку A_2 выберем аналогично тому, как мы выбрали точку A_1 , определим координаты точки (a_2, b_2) , измерим освещенность E_2 и определим высоту $H_2(a_2, b_2)$:

$$H_2(a_2, b_2) = H_p(a_p, b_p) * \frac{E_2}{E_p}$$

и так далее для точки A_i измерим координаты (a_i, b_i) и освещенность E_i и определим высоту $H_i(a_i, b_i)$:

$$H_i(a_i, b_i) = H_p(a_p, b_p) * \frac{E_i}{E_p}$$

Поскольку величина $H_p(a_p, b_p)$ не известна, то ее можно принять равной единице $H_p(a_p, b_p) = 1$ и тогда:

$$H_i(a_i, b_i) = \frac{E_i}{E_p}$$

Измеряя множество освещенностей $(E_1, E_2, E_3, \dots, E_n)$ поверхности в точках $(O_1, O_2, O_3, \dots, O_n)$, затем рассчитывая множество высот $(H_1, H_2, H_3, \dots, H_n)$ и аппроксимируя множество высот функцией $H_i = f(E_i)$ получаем функцию изменения высоты поверхности. Приведенный способ

измерения освещенности поверхности позволяет прямо преобразовывать измеренную освещенность в высоту поверхности.

Известно, что отражение света поверхностью зависит от угла падения света на поверхность и материала поверхности. Если материал поверхности однороден, а поверхность плоская, то освещенность всех точек плоскости должна быть одинаковой. Это справедливо для поверхностей с небольшой глубиной (передний край поверхности находится значительно от наблюдателя чем дальний край), так как из-за существенно увеличения глубины зрения меняется угол зрения и на плоскость. Поэтому для плоских поверхностей с небольшой глубиной справедливо следующее: если для множества детекторов светочувствительной матрицы (a_i, b_i) , дисперсия измеренной освещенности не превышает величины погрешности ΔE , то принимают решение о том, что множество точек образует связное пространство точек плоской поверхности, а освещенности E_i всех точек множества (a_i, b_i) приравнивают значению освещенности E одной выбранной точки последовательности (a, b) .

Из сказанного выше следует, что если есть две пересекающиеся плоскости, то освещенность всех точек в пределах каждой из плоскостей будет одинаковой, однако освещенности пары точек разных плоскостей будут в большинстве случаев отличаться. Они могут оказаться равными только если угол отражения света от обеих плоскостей для наблюдателя окажется одинаковым. Это свойство позволяет идентифицировать пересекающиеся плоскости как два связных плоских пространства точек и рассчитать значение угла μ , образуемого плоскостями в своем пересечении.

Выбирают любую точку на участке поверхности с постоянной освещенностью (первая поверхность) и измеряют освещенность в выбранной точке. Затем выбирают участок поверхности (вторая поверхность) с постоянной освещенностью, отличной от освещенности первой поверхности. Предполагая, что на освещенную поверхность свет падает под углом $\beta_1 = 0$, угол падения такого света на вторую поверхность вычисляют как разницу $\beta_2 = (\alpha_1 - \alpha_2) = \arccos\left(\frac{E_2}{E_1}\right)$, где α_1 и α_2 – углы зрения на первую и вторую поверхности, а E_1 и E_2 освещенности на первую и вторую поверхности соответственно. Множество $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n)$ полученных разниц углов падения света на последовательные пары поверхностей, используют в качестве цифрового описания поверхности, а также для вычисления углов зрения, или идентификатора множества углов падения света на поверхность. Угол зрения α_1 вычисляют по формуле $\alpha_2 = \alpha_1 - \beta_2$, где $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$, а оставшиеся углы зрения $\alpha_3, \dots, \alpha_i$ соответственно вычисляют как разницу $\alpha_i = \alpha_{i-1} - \beta_i$ и множество $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n)$ также используют в качестве цифрового описания поверхности.

Ранее было показано, что отношение освещенностей двух точек, расположенных на пересекающихся плоскостях равно отношению синусов углов зрения α на эти плоскости:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos\beta_1}{\cos\beta_2} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}$$

Если освещенность пересекающихся плоскостей, помещенных в световой поток I , отличается, то отличается и угол падения светового потока на эти плоскости (Фиг.74а). Более освещенной окажется поверхность 1 с меньшим углом падения β_1 . Поскольку истинный световой поток I нам не известен, то представим, что истинным является световой поток, перпендикулярный плоскости 1: $I_1 = I \cos\beta_1$

Для того чтобы освещенность плоскости 2 в потоке I_1 оставалась такой, какой она была в потоке I , необходимо симметрично отобразить плоскость 2 относительно направления AB истинного потока I и тогда плоскость 2 будет представлена плоскостью CD (Фиг.74b), а угол падения потока I_1 на плоскость 2 окажется равным $\beta = (\alpha_1 - \alpha_2)$ и можно записать:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos 0}{\cos \beta} = \frac{1}{\cos (\alpha_1 - \alpha_2)}$$

$$\beta = (\alpha_1 - \alpha_2) = \arccos \left(\frac{E_2}{E_1} \right)$$

Если имеем дело с объемной фигурой, то выбирая самую освещенную сторону фигуры с освещенностью E , а также зная освещенности всех других сторон фигуры $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ пользуясь приведенной выше формулой для β можно посчитать углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$, однозначно определив таким образом разницу углов падения света на разные стороны объемной фигуры.

Таким образом, если при измерении освещенности светового стимула принято решение о наличии двух связанных пространств точек с разными измеренными освещенностями E_1 и E_2 то принимают решение о том, что световой стимул является проекцией на светочувствительную матрицу двух плоских поверхностей с освещенностями E_1 и E_2 , образующих в пересечении угол β , указанные освещенности E_1 и E_2 располагают в порядке или снижения или увеличения освещенности, а в качестве неизменного цифрового описания угла β используют отношение измеренных освещенностей E_2/E_1 или арккосинуса отношения $\arccos \left(\frac{E_2}{E_1} \right)$.

А если при измерении освещенности светового стимула принято решение о наличии n связанных пространств точек с разными измеренными освещенностями, то принимают решение о том, что световой стимул является проекцией на светочувствительную матрицу n плоских поверхностей, образующих в пересечении друг с другом множество углов, а измеренные значения освещенности ранжируют в порядке уменьшения или увеличения освещенности E_1, E_2, \dots, E_n , затем рассчитывают отношения названных освещенностей $\frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_n}{E_{n-1}}$, а последовательность $\arccos \frac{E_2}{E_1}, \arccos \frac{E_3}{E_2}, \dots, \arccos \frac{E_n}{E_{n-1}}$ или используют в качестве неизменного цифрового описания для идентификации названной объемной фигуры или для идентификации множества углов $\beta_1 = \frac{E_2}{E_1}, \beta_2 = \frac{E_3}{E_2}, \dots, \beta_{n-1} = \frac{E_n}{E_{n-1}}$ или $\beta_1 = \arccos \frac{E_2}{E_1}, \beta_2 = \arccos \frac{E_3}{E_2}, \dots, \beta_{n-1} = \arccos \frac{E_n}{E_{n-1}}$, образуемых множеством плоскостей в пересечении друг с другом.

Легко заметить, что схемы разных детекторов настоящего изобретения имеют сходные элементы: все такие детекторы имеют круглую форму, ограниченную внешним кругом. Это позволяет использовать одно и то же множество светочувствительных элементов, расположенных внутри названных кругов, одновременно в схемах разных детекторов.

Для этого на светочувствительной матрице размещают множество круглых рецептивных зон, каждая из которых ограничена снаружи внешним кругом определенного диаметра, который может быть одинаковым или отличаться для разных рецептивных зон. Перед началом работы схему каждого из детекторов проецируют на поверхность светочувствительной матрицы внутри названной круглой рецептивной зоны и запоминают значение эталонной освещенности каждого светочувствительного элемента внутри схемы детектора, а также запоминают «критическое» значение числа или доли светочувствительных элементов зоны выключателя измерений, предпочтительно 50% светочувствительных элементов зоны. При использовании детектора

освещенность светочувствительных элементов внутри схемы детектора меняют, одновременно измеряя текущее значение освещенности элементов. Если разница эталонного и текущего значений освещенности конкретного светочувствительного элемента превысит, по меньшей мере, величину чувствительности названного светочувствительного элемента, такому светочувствительному элементу присваивают значение «единица», а все «единичные» значения суммируют отдельно для каждого из детекторов соответствующим способом для получения результата измерений.

Способ размещения на матрице множества рецептивных зон и проецирования в каждую из рецептивных зон множества схем различных детекторов, отличающихся видом измерений или их направлением, позволяет в каждой отдельной рецептивной зоне матрицы одновременно выявлять присутствие различных признаков, то есть каждое рецептивное поле становится многофункциональным. Равномерное размещение рецептивных зон по полю матрицы с равным или переменным шагом, размер которого, по меньшей мере, равен или превышает разрешающую способность матрицы, позволяет проводить необходимый набор измерений в любом месте светочувствительной матрицы, где размещены такие рецептивных зоны.

Для создания бинокулярной системы технического зрения (БСТЗ) используют две оптических системы с зависимыми, с частично зависимыми или с независимыми приводами, при этом изображение от каждой оптической системы может проецировать изображение на собственную светочувствительную матрицу и тогда в системе используют две матрицы (Фиг. 78), или обе оптические системы могут проецировать изображения на единственную матрицу системы.

Для работы с монокулярным изображением, полученным от одной из оптических систем, используют все способы обработки моно изображений, описанные в настоящей работе. БСТЗ используют для получения информации об удалении предметов в сцене, для определения направлений – верх/низ/право/лево, для совмещения центров полярных систем правого и левого полей зрения, для выявления симметрии в правой/левой и верхней/нижней частях полей зрения, а также для сравнения данных выявленных при анализе моно изображений, полученных от каждой из двух оптических систем.

Центры обеих оптических систем располагают на одной из линий симметрии – вертикальной или горизонтальной, в зависимости от назначения системы. Тем не менее, соединяющую оптические центры двух оптических систем линию, в дальнейшем для удобства восприятия будем считать линией горизонтальной симметрии.

Для каждой из оптических систем Бинокулярной Системы Технического Зрения (БСТЗ) на матрице создают полярную систему координат, а совмещение изображений контролируют по совпадению вертикальной и горизонтальной осей симметрии полярных систем названных оптических систем. После полного совмещения осей симметрии оптических систем, полученные от систем изображения сравнивают и, если изображения не совпадают, оптические оси оптических систем сдвигают так, чтобы изображения совпали.

Для снижения трудоемкости сравнения изображений перед сравнением их разбивают на части по линиям симметрии.

Для совмещения изображений, полученных от двух оптических систем БСТЗ, изображения разбивают на две части правая и левая или верхняя и нижняя и совмещают отдельно две правые и две левые части (Фиг.75) или две верхние и две нижние (Фиг. 76).

Изображения можно разбивать и на четверти и сравнивать четверти изображений до их полного совпадения.

Предпочтительно, чтобы некоторому исходному положению оптических осей оптических систем БСТЗ соответствовало такое среднее местоположение приводов, которое характеризуется равной удаленностью от любого из крайних местоположений привода. После определения среднего местоположения приводов обеспечивают параллельность оптических осей, а для этого бесконечно удаленный предмет располагают на линии перпендикулярной линиям симметрии БСТЗ и проходящей через точку их пересечения, затем фокусируют оптические системы на бесконечно удаленном предмете и одновременно совмещают изображения как описано выше (Фиг.75, Фиг. 76), а соответствующее местоположение приводов каждой из оптических систем запоминают в качестве исходного местоположения приводов.

Для определения дальности произвольного предмета оптические системы БСТЗ фокусируют на предмете, затем определяют местоположение приводов и с использованием названных местоположений вычисляют значение углового смещения каждой из оптических осей относительно ее исходного положения, находят разницу угловых смещений и используя разницу вычисляют дальность предмета в сцене.

Для уточнения дальности на близких дистанциях используют измерение фокусного расстояния оптических систем.

Для измерения дальности животные используют способ известный как параллакс зрения (Фиг.77).

Расстояние до предмета при этом можно вычислить по формуле:

$$D = \frac{L}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Аналогично можно вычислить расстояние до стимула по изображениям, полученным с двух камер, для этого измеряют местоположение стимула в полярной системе координат каждой из матриц (Фиг.67), затем смещают центр полярной системы каждой из матрицы в местоположение стимула (Фиг.68) и измерив смещение приводов с помощью поля привода как это было показано в разделе «Предобразовании полярных координат в координаты привода». Поскольку смещение полярной системы относительно исходного состояния происходит путем поворота камеры в шарнире под действием линейного привода, то из документации или конструкции системы всегда известно расстояние L между оптическими осями камер бинокулярной системы, а также передаточное отношение привода $k_c = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$, где Δx – смещение привода, соответствующее повороту оптической оси камеры на угол $\Delta\alpha$. Поскольку в нашем примере (Фиг.78) измеренное с помощью мерных полей матрицы смещение оптической оси правой камеры от исходного положения равно $-L_x$ и левой камеры L_x , то суммарное отклонение равно $\Delta x = L_x - (-L_x) = 2 * L_x$, соответственно угол $\Delta\alpha = k_c * \Delta x = 2 * k_c * L_x$ и наконец удаление стимула можем вычислить по формуле параллакса зрения:

$$D = \frac{L}{2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Для определения удаления стимула от БСТЗ для БСТЗ используют две матрицы, которые располагают так, чтобы в исходном положении поверхности матриц лежали в одной плоскости,

полярные системы матриц были одинаковыми, оптические оси оптических систем каждой из матриц были параллельны и находились на расстоянии L друг от друга, а одинаковые приводы матриц при этом находились в таком эталонном положении, чтобы при смещении приводов из эталонного в любое предельное положение матрица также смещалась в соответствующее предельное положение; для измерения дальности светового стимула каждую из матриц с помощью приводов матрицы поворачивают так, чтобы названный световой стимул оказался в центре неподвижной системы координат соответствующей матрицы, измеряют значение местоположения каждого из приводов и, если значения отличаются, то вычисляют значение угла конвергенции или дивергенции оптических осей БСТЗ, соответствующего разнице значений местоположения приводов, а значение дальности вычисляют с использованием значения названного угла и названного расстояния L между оптическими осями по формуле параллакса зрения.

Для пояснения сущности заявленного изобретения представлены следующие графические материалы:

Фиг. 1. Монокулярная СТЗ. Нет критерия направления верх/низ/право/лево.

Фиг. 2. Бинокулярная СТЗ. Есть правая и левая камера, поэтому можно определить и направления верх/низ.

Фиг. 3. Ядро матрицы свертки.

Фиг. 4. Тетрагональная упаковка светочувствительных элементов матрицы.

Фиг. 5. Гексагональная упаковка светочувствительных элементов матрицы.

Фиг. 6. Ортогональная квадратная упаковка светочувствительных элементов матрицы.

Фиг. 7. Ортогональная крестообразная упаковка светочувствительных элементов матрицы.

Фиг. 8. Трансформация гексагональной упаковки в близкую к ортогональной упаковке при переносе из полярных координат сетчатки в декартовы координаты коры.

Фиг. 9. Трансформация окружностей в вертикальные прямые линии при переносе из полярных координат сетчатки в декартовы координаты коры.

Фиг. 10. Трансформация лучей в прямые горизонтальные линии при переносе из полярных координат сетчатки в декартовы координаты коры.

Фиг. 11. Трансформация спирали в прямые наклонные линии при переносе из полярных координат сетчатки в декартовы координаты коры.

Фиг. 12. Выбранное направление со шкалой образуют координатную ось.

Фиг. 13. Создание координатной оси. Отметки шкалы от 1 до n представлены круглыми рецептивными зонами (детекторами) с частичным перекрытием.

Фиг. 14. Создание координатной оси. Отметки шкалы от 1 до n представлены рецептивными зонами (детекторами) в форме трапеций.

Фиг. 15. Рецептивная зона круглой формы.

Фиг. 16. Мерное поле одной оси координат.

Фиг. 17. Создание радиального мерного поля.

Фиг. 18. Кольца одинакового потенциала с рецептивными зонами в форме сегмента.

Фиг. 19. Мерная окружность для измерения углов в диапазоне $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ с горизонтально ориентированной осью.

Фиг. 20. Мерная окружность для измерения углов.

Фиг. 21. Измерение углов в диапазоне θ .

Фиг.22. Мерная окружность обладает горизонтальной линией симметрии, двумя избранными направлениями по часовой стрелке (верхний полукруг) и против часовой стрелки (нижний полукруг), измерением угла в двух диапазонах в пределах $0 \leq \varphi \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq -\pi$. Расположение симметричных стимулов показаны штриховкой.

Фиг.23. Мерная окружность обладает вертикальной линией симметрии, двумя избранными направлениями по часовой стрелке (верхний полукруг) и против часовой стрелки (нижний полукруг), измерением угла в двух диапазонах в пределах $0 \leq \varphi \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq -\pi$. Расположение симметричных стимулов показаны штриховкой.

Фиг. 24. Мерная окружность обладает горизонтальной линией симметрии, две шкалы имеют направления измерений - по часовой стрелке (нижний полукруг) и против часовой стрелки (верхний полукруг) и позволяют измерять угол в двух диапазонах $0 \leq \varphi \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq -\pi$. Расположение симметричных стимулов показаны штриховкой.

Фиг. 25. Мерная окружность обладает вертикальной линией симметрии, две шкалы имеют направления измерений - по часовой стрелке (левый полукруг) и против часовой стрелки (правый полукруг) и позволяют измерять угол в двух диапазонах $0 \leq \varphi \leq \pi$ и $0 \leq \varphi \leq -\pi$. Расположение симметричных стимулов показаны штриховкой.

Фиг.26. Мерная окружность обладает вертикальной и горизонтальной линиями симметрии. У мерной окружности четыре шкалы – две направлены по часовой стрелке (левая верхняя и правая нижняя четверть) и две направлены против часовой стрелки (правая верхняя и левая нижняя четверть). Каждая шкала позволяет измерять углы в одном из двух диапазонов $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ и $0 \leq \varphi \leq -\frac{\pi}{2}$. Симметричные относительно любой из осей симметрии детекторы показаны штриховкой, причем симметричные детекторы имеют одинаковые потенциалы.

Фиг. 27. Мерная окружность обладает вертикальной и горизонтальной линиями симметрии. У мерной окружности четыре шкалы – две направлены по часовой стрелке (левая нижняя и правая верхняя четверть) и две направлены против часовой стрелки (правая нижняя и левая верхняя четверть). Каждая шкала позволяет измерять углы в одном из двух диапазонов $0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ и $0 \leq \varphi \leq -\frac{\pi}{2}$. Симметричные относительно любой из осей симметрии детекторы показаны штриховкой, причем симметричные детекторы имеют одинаковые потенциалы.

Фиг.28. Поле мерных окружностей для измерения углов.

Фиг.29. Поле мерных окружностей с избранным направлением для измерения углов.

Фиг.30. Мерное поле системы двух осей координат.

Фиг.31. Полярная система координат светочувствительной матрицы.

Фиг.32. Поиск центра симметрии (поиск равноудаленной точки) между двух точек А и В. Состояние перед поиском симметрии.

Фиг.33. Поиск центра симметрии (поиск равноудаленной точки) между двух точек А и В. Состояние после поиска.

Фиг.34. Поворот полярной системы для измерения кривизны линии. Состояние перед поворотом системы координат.

Фиг.35. Поворот полярной системы для измерения кривизны линии. Состояние после поворота системы координат.

Фиг.36. Пример размещения рецептивных зон на матрице. 1 – круглая рецептивная зона, 2 – кольцевая рецептивная зоны с центральной круглой зоной «выключателя измерений», 3, 4 – кольцевая рецептивная зона с активной и пассивной частями кольцевой зоны и центральной круглой зоной «выключателя измерений».

Фиг.37. Рецептивная зона в виде измерительного кольца с центральным выключателем измерений.

Фиг.38. Рецептивная зона с несимметричными сегментами а и b.

Фиг.39. Рецептивная зона с симметричными сегментами а и b.

Фиг.40. Детекторы ON и OFF типов.

Фиг. 41. Соосные Детекторы разного размера виртуально накладывают друг на друга.

Фиг.42. Соосные Детекторы разного размера после виртуального наложения друг на друга размещают на светочувствительной матрице с центрами в одной точке.

Фиг.43. График зависимости отношения площадей правильного многоугольника и описанной вокруг него окружности от числа сторон многоугольника, где: ось y – отношение площади правильного многоугольника к площади описанной окружности, ось x – число углов правильного многоугольника.

Фиг.44. Положение линейной границы стимула b перед контактом с рецептивной зоной детектора: граница стимула касается границы детектора. Серым обозначена пассивная зона и белым активная зона детектора, f – главное (эталонное) направление детектора, g- линейная граница между активной и пассивной зонами детектора.

Фиг.45. Положение линейной границы стимула b после контакта с рецептивной зоной детектора: площадь детектора полностью накрыта стимулом. Серым обозначена пассивная зона и белым активная зона детектора, f – главное (эталонное) направление детектора, g - линейная граница между активной и пассивной зонами детектора.

Фиг.46. Множество детекторов смещения линейной границы с разными главными направлениями f перед их виртуальным совмещением на матрице.

Фиг.47. Множество детекторов смещения линейной границы с разными главными направлениями f после их виртуального совмещения на матрице. Совмещение детекторов позволяет с одинаковой эффективностью измерять угол смещения независимо от направления смещения стимула.

Фиг.48. Детектор с большой активной зоной. Серым обозначена пассивная зона и белым активная, f – главное направление, g- угловая граница между активной и пассивной зонами, γ - угол между главным направлением и границей g.

Фиг.49. Детектор с малой активной зоной. Серым обозначена пассивная зона и белым активная, f – главное направление, g- угловая граница между активной и пассивной зонами, γ - угол между главным направлением и границей g.

Фиг.50. Множество детекторов смещения угловой границы с разными главными направлениями f перед их виртуальным совмещением на матрице.

Фиг.51. Множество детекторов смещения угловой границы с разными главными направлениями f после их виртуального совмещения на матрице.

Фиг.52. Измерение угла с помощью кольца рецептивных зон равного потенциала.

Фиг.53. Перекрытие площадей соседних рецептивных зон.

Фиг.54. Рецептивная зона ($l - 1$) из множества совпадающих рецептивных зон с разными главными направлениями f .

Фиг.55. Рецептивная зона (i) из множества совпадающих рецептивных зон с разными главными направлениями f .

Фиг.56. Рецептивная зона ($l + 1$) из множества совпадающих рецептивных зон с разными главными направлениями f .

Фиг. 57. Представление вектора смещения стимула в виде суммы векторов горизонтального и вертикального смещения.

Фиг. 58. Главные направления матрицы и совпадающие с ними главные направления приводов.

Фиг. 59. Ход привода в направлении f .

Фиг. 60. Смещение стимула в результате работы приводов.

Фиг. 61. Первое мерное поле первого привода для измерения смещения первого привода в направлении «вправо».

Фиг.62. Положение полярной системы координат матрицы (закреплена на матрице), в первом мерном поле первого привода.

Фиг.63. Второе мерное поле первого привода с направлением $-f$ для измерения смещения первого привода в направлении «влево».

Фиг.64. Мерные поля для вертикального направления смещения привода.

Фиг.65. Исходное положение матрицы с закрепленной на ней полярной системой в координатах двух перпендикулярных проводов.

Фиг.66. Поворот матрицы вокруг центра полярной системы координат на угол τ .

Фиг. 67. Воздействие стимула на матрицу

Фиг. 68. Смещение центра полярной системы координат матрицы в местоположение стимула на матрице.

Фиг.69. Проекция куба в виде правильного шестиугольника.

Фиг.70. Минимальное число главных направлений детекторов и их полей.

Фиг.71. Освещенность эталонной сферы.

Фиг.72. Пунктиром показана функция изменения плотности светочувствительных элементов матрицы, а сплошной линией показано изменение освещенности эталонной поверхности.

Фиг.73. Пунктиром показана функция изменения плотности светочувствительных элементов полярной системы матрицы от центра O к периферии на полярном радиусе $-R \leq \rho \leq +R$, а сплошной линией показана функция изменения освещенности эталонной поверхности с полюсом P .

Фиг.74. I – световой поток, направленный на грани параллелепипеда.

Фиг.75. Сравнение между собой правых и левых частей изображений двух оптических систем БСТЗ.

Фиг.76. Сравнение между собой верхних и нижних частей изображений двух оптических систем БСТЗ.

Фиг.77. Параллакс зрения.

Фиг.78. БСТЗ: параллакс зрения, вычисление расстояния до стимула.

Формула изобретения

1. Способ определения местоположения светового стимула на светочувствительной матрице, состоящей из множества светочувствительных элементов, характеризующийся тем, что на светочувствительной матрице создают по меньшей мере одну координатную ось для чего выбирают шкалу, содержащую последовательность отметок с соответствующими им значениями расстояний от начала шкалы, выбирают точку начала и направление координатной оси, после чего начало шкалы совмещают с началом координатной оси и накладывают названную шкалу вдоль выбранного направления координатной оси; определяют расположение отметок шкалы на светочувствительной матрице и в местах расположения каждой из отметок размещают центр, по меньшей мере, одной рецептивной зоны (далее - детектора), после чего каждый из детекторов настраивают таким образом, что при воздействии на детектор или его часть световым стимулом, детектор порождает такое значение измеряемой характеристики сигнала (далее - потенциал), которое равно или пропорционально с коэффициентом пропорциональности k значению отметки шкалы в месте размещения центра детектора; при этом значение потенциала, порожденного детектором, на который воздействовали световым стимулом, считают или значением отметки местоположения светового стимула на шкале или пропорциональным названному значению с коэффициентом пропорциональности k , а расстояние между двумя местоположениями световых стимулов на шкале приравнивают или к разнице потенциалов детекторов, на которые воздействовали световыми стимулами или к разнице потенциалов детекторов с коэффициентом пропорциональности k , при этом изменение освещенности одного или более светочувствительных элементов светочувствительной матрицы, при котором измеренное значение освещенности меняется на заданную величину, кратную погрешности измерения освещенности, за заданный период времени, кратный минимально доступному времени измерения освещенности, считают воздействием светового стимула на матрицу.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что между смежными детекторами координатной оси образуют взвешенные связи, направленные от детектора с большим потенциалом к детектору с меньшим потенциалом; каждой взвешенной связи присваивают вес, равный расстоянию между отметками шкалы, в которых расположены центры смежных детекторов, соответствующих указанным отметкам шкалы; для измерения расстояния между проекцией светового стимула на матрицу и началом шкалы световой стимул проецируют на детекторы матрицы и идентифицируют детектор, на который воздействует световой стимул (далее - активный детектор), веса множества связей, расположенных между активным детектором и началом шкалы, складывают, а результат сложения считают расстоянием между световым стимулом и началом координатной оси.

3. Способ по любому из пунктов 1-2, отличающийся тем, что детекторы выполнены в форме круга, при этом в качестве потенциала детектора используют значение площади круга или его части, выраженных или числом пикселей, или числом светочувствительных элементов светочувствительной матрицы, ограниченных снаружи окружностью, являющейся внешней границей детектора.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что детекторы располагают на светочувствительной матрице или без перекрытия, или с частичным перекрытием, или с полным перекрытием детекторов

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что создают множество копий главной координатной оси, которая представляет собой координатную ось с размещенными на ней детекторами, множество копий главной координатной оси размещают на светочувствительной матрице параллельно друг другу с образованием мерного поля, причем первую копию сдвигают по поверхности светочувствительной матрицы на расстояние Δy_1 относительно главной координатной оси в направлении, образующим угол ω с названной главной координатной осью, затем вторую копию сдвигают в том же направлении на расстояние Δy_2 относительно первой копии, затем аналогично размещают третью и следующие копии главной координатной оси до тех пор, пока не достигнут первого края светочувствительной матрицы; после этого процесс сдвига и размещения копий главной координатной оси продолжают, сдвигая их в противоположном направлении, образующим угол $(\omega + \pi)$ с главной координатной осью, до тех пор, пока не достигнут второго края светочувствительной матрицы, противоположного первому краю; при воздействии одним или более световыми стимулами на детектор, расположенный в любом месте мерного поля на главной координатной оси или любой ее копии, извлекают потенциал детектора и определяют или значение отметки шкалы местоположения светового стимула или расстояние между местоположениями двух световых стимулов.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что дополнительно создают второе мерное поле, которое располагают на светочувствительной матрице так, чтобы главная координатная ось первого мерного поля (первая главная координатная ось) и главная координатная ось второго мерного поля (вторая главная координатная ось) начинались в одной точке (далее «центр системы») и образовывали между собой угол σ ; при воздействии одним или более световыми стимулами на любое место светочувствительной матрицы, местоположение определенного светового стимула и расстояние между местоположениями двух световых стимулов определяют в первом и/или втором мерном поле.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что углу σ и углу ω присваивают значение $\frac{\pi}{2}$ с образованием прямоугольной декартовой системы, а отметки шкалы используют в качестве координат прямоугольной декартовой системы.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что создают по меньшей мере одно множество из N копий главной координатной оси, представляющей собой координатную ось с размещенными на ней детекторами, указанное множество копий главной координатной оси размещают на светочувствительной матрице с началом в точке начала главной координатной оси с образованием радиального мерного поля, при этом для образования углового направления радиального мерного поля первую копию поворачивают вокруг точки начала главной координатной оси на поверхности светочувствительной матрицы по часовой или против часовой стрелки на угол $\Delta\varphi_1$ относительно главной координатной оси, вторую копию поворачивают в том же направлении на угол $\Delta\varphi_2$ относительно первой копии главной координатной оси,

аналогично размещают третью и следующие копии главной координатной оси до тех пор, пока не достигнут заданной суммы углов $\varphi = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j$; при воздействии одним или более световыми стимулами на детектор, расположенный в любом месте радиального мерного поля на главной координатной оси или любой ее копии, извлекают потенциал этого детектора и определяют или значение отметки шкалы соответственно главной координатной оси или любой ее копии, соответствующее местоположению светового стимула, или расстояние между местоположениями двух световых стимулов.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что в качестве угла поворота N копий главной координатной оси выбирают угол $\Delta\varphi_j \leq \frac{2\pi}{N}$, а отметки шкалы используют в качестве координат полярного радиуса в полярной системе координат, центр которой совпадает с началом главной координатной оси.

10. Способ по п.8, отличающийся тем, что образуют по меньшей мере один мерный сектор по меньшей мере одной мерной окружности для чего создают окружность с центром в начале главной координатной оси и радиусом, равным значению первой отметки шкалы главной координатной оси, причем точку пересечения мерной окружности с главной координатной осью в первой отметке шкалы главной координатной оси также используют в качестве отметки начала круговой шкалы мерной окружности с нулевым значением полярного угла $\varphi_0 = 0$, а соответствующую точку пересечения мерной окружности с j -той копией главной координатной оси в первой отметке j -той копии главной координатной оси также используют в качестве соответствующей i -той отметки круговой шкалы мерной окружности, значение полярного угла i -той отметки считают равным $\varphi_i = \sum_{j=1}^i \Delta\varphi_j$, а центральный угол мерного сектора равным названной заданной сумме углов $\varphi = \varphi_N = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j$; в местах расположения отметок круговой шкалы мерной окружности размещают центры рецептивных зон (далее – детекторов), после чего каждый из детекторов настраивают таким образом, что при воздействии на него световым стимулом детектор порождает такое значение измеряемой характеристики сигнала детектора (далее – потенциал), которое равно или пропорционально с коэффициентом пропорциональности k значению отметки круговой шкалы в месте размещения детектора; при этом значение потенциала, порожденного расположенным на мерной окружности детектором, на который воздействовали световым стимулом, считают или значением отметки полярного угла местоположения светового стимула на круговой шкале или пропорциональным названному значению полярного угла с коэффициентом пропорциональности k , а значение полярного угла между местоположениями двух световых стимулов на мерной окружности приравнивают или к разнице потенциалов детекторов, на которые воздействовали световыми стимулами или к разнице потенциалов детекторов с коэффициентом пропорциональности k .

11. Способ по п.10, отличающийся тем, что создают множество копий главной мерной окружности, представляющей собой мерную окружность с размещенными на ней детекторами, а в качестве радиуса для каждой из последовательных копий главной мерной окружности выбирают значение последовательных отметок шкалы главной координатной оси, причем для образования поля мерных окружностей каждую из копий главной мерной

окружности размещают на светочувствительной матрице так, чтобы центр окружности копии совпадал с центром главной мерной окружности, и используют для измерения значений полярного угла; а при воздействии световым стимулом на конкретный детектор, центр которого совпадает с отметкой шкалы главной мерной окружности или любой из ее копий, извлекают порожденное значение потенциала детектора и вычисляют соответствующее этому потенциалу значение полярного угла.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что при воздействии световым стимулом на светочувствительную матрицу выявляют конкретный детектор шкалы главной мерной окружности или любой из копий главной мерной окружности и одновременно конкретный детектор шкалы главной координатной оси или любой из копий главной координатной оси, извлекают порожденные значения потенциалов детекторов круговой шкалы главной мерной окружности или любой из ее копий и шкалы главной координатной оси или любой из ее копий и вычисляют соответствующее извлеченным потенциалам значение полярного угла и полярного радиуса, которые используют в качестве значений системы двух координат, образующих полярную систему координат матрицы.

13. Способ по п.10, отличающийся тем, что для создания поля мерных окружностей образуют пару половин мерной окружности, используя пару мерных секторов, центральный угол каждого из которых равен 180° , или образуют две пары четвертей мерной окружности, используя две пары мерных секторов, центральный угол каждого из которых равен 90° ; для создания радиального мерного поля каждой половины мерной окружности используют соответственно одну пару множеств копий главной координатной оси с противоположными угловыми направлениями, и каждое из множеств копий главной координатной оси содержит N копий главной координатной оси с заданным углом суммы поворотов копий главной координатной оси равным $\varphi = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j = 180^\circ$, или для образования радиального мерного поля каждой четверти из двух пар четвертей мерной окружности используют две пары множеств копий главной координатной оси с противоположными угловыми направлениями, и каждое из множеств копий главной координатной оси содержит N копий главной координатной оси с заданным углом суммы поворотов копий главной координатной оси равным $\varphi = \sum_{j=1}^N \Delta\varphi_j = 90^\circ$, а для того, чтобы потенциалы детекторов, симметричных относительно линии симметрии, образованной границей, разделяющей смежные половины или четверти, были равными, половины или четверти мерной окружности размещают на мерной окружности так, чтобы вершина центрального угла половины или четверти лежала в центре мерной окружности, половины или четверти с противоположными угловыми направлениями были смежными и не пересекались; а при воздействии световым стимулом на конкретный детектор круговой шкалы мерного сектора извлекают порожденное значение потенциала детектора и вычисляют соответствующего этому потенциалу значение полярного угла.

14. Способ по п.13, отличающийся тем, что при воздействии двух световых стимулов на два детектора одинакового потенциала, расположенные в смежных мерных секторах поля мерных окружностей, делают вывод о симметричном расположении световых стимулов относительно линии симметрии, разделяющей названные смежные

сектора поля мерных окружностей, а также о том, что все точки, равноудаленные от обоих световых стимулов, расположены на линии симметрии.

15. Способ по п.12, отличающийся тем, что в произвольные места светочувствительной матрицы проецируют два световых стимула и измеряют потенциалы детекторов радиального мерного поля, на которые воздействовали названными световыми стимулами, затем выбирают световой стимул с избыточным потенциалом и начинают смещать центр полярной системы координат в сторону светового стимула с избыточным потенциалом, одновременно измеряя потенциалы детекторов радиального мерного поля, на которые воздействуют названные точечные световые стимулы, при смещении стимулов по поверхности светочувствительной матрицы; названное измерение потенциалов и смещение центра полярной системы координат останавливают, когда потенциал первого светового стимула станет равным с некоторой допустимой погрешностью потенциалу второго, а местоположение, по меньшей мере, центра полярных координат на светочувствительной матрице после останова смещения считают точкой равноудаленной от названных световых стимулов.

16. Способ по п.15, отличающийся тем, что на поверхность светочувствительной матрицы проецируют кривую линию, представленную неподвижным на светочувствительной матрице световым стимулом, запоминают местоположение на светочувствительной матрице центра полярной системы координат, и в радиальном мерном поле ищут точку «минимума» светового стимула, для чего измеряют значение потенциалов всех точек стимула и находят единственную точку с наименьшим из измеренных потенциалов; затем с помощью поля мерных окружностей ищут точку «максимума» названного светового стимула, полярный угол которой максимально отличается от полярного угла точки минимума; для названной первой пары точек находят равноудаленную от них первую точку, которую считают точкой симметрии, и запоминают ее местоположение на матрице, затем в поперечном к линии соединяющей названную первую пару точек направлении смещают полярную систему координат, продолжая измерение потенциалов точек кривой в радиальном мерном поле до тех пор, пока не обнаружат новую точку минимума, после чего повторяют поиск точки максимума, а затем поиск следующей точки симметрии, местоположение которой на матрице запоминают; процесс поиска точек симметрии повторяют необходимое количество раз, при этом местоположением линии симметрии светового стимула на матрице считают местоположение на матрице множества найденных точек симметрии.

17. Способ по п.1, отличающийся тем, что детектор ограничивают снаружи окружностью радиуса R и проецируют на детектор окружность радиуса $r < R$ так, чтобы центры окружностей совпадали, при этом множество светочувствительных элементов, расположенных в кольцевой и в центральной зонах детектора пересчитывают, а результаты сохраняют в качестве значения площади или потенциала соответственно кольцевой и центральной зоны детектора.

18. Способ по п.17, отличающийся тем, что детектор настраивают на одновременное измерение освещенностей светочувствительных элементов кольцевой и центральной зон, число освещенных элементов соответствующей зоны сравнивают с

числом всех светочувствительных элементов зоны и, если в пределах некоторой погрешности все светочувствительные элементы кольцевой зоны не освещены, а все светочувствительные элементы центральной зоны освещены, то принимают решение о том, что световой стимул имеет форму пятна, площадь проекции которого сравнима с площадью центральной зоны детектора в пределах названной погрешности, или, если в пределах некоторой погрешности все светочувствительные элементы центральной зоны не освещены, а все светочувствительные элементы кольцевой зоны освещены, то принимают решение о том, что световой стимул имеет форму кольца, площадь проекции которого сравнима с площадью кольцевой зоны детектора в пределах названной погрешности.

19. Способ по п.18, отличающийся тем, что дополнительно создают поле детекторов пятна и/или кольца для чего на светочувствительной матрице выбирают точку для размещения центров детекторов поля детекторов (далее – Детекторов поля), затем создают множество Детекторов, каждый из которых содержит две концентрические окружности нужного размера, причем радиус внутреннего круга каждого Детектора отличается от радиуса внутреннего круга других Детекторов множества, по меньшей мере, на величину Δ_1 , а радиус внешнего круга каждого из Детекторов пятна и/или кольца или отличается от радиуса внешнего круга других Детекторов множества, по меньшей мере, на величину Δ_2 или является для всех Детекторов пятна и/или кольца одинаковым, все Детекторы поля проецируют на светочувствительную матрицу с центром в выбранной точке; при использовании поля детекторов световой стимул проецируют на детекторы множества, измерения освещенности проводят одновременно для каждого из Детекторов множества отдельно, а решение о наличии пятна и/или кольца и его размере принимают в зависимости от размеров Детектора пятна и/или кольца, освещенность которого соответствовала условиям принятия этих решений.

20. Способ по п.17, отличающийся тем, что для образования детектора линейной границы для названного детектора определяют главное направление, а для измерения угла между главным направлением и направлением смещения светового стимула (далее - угол смещения) используют зону измерений и зону выключения измерений, причем в качестве зоны выключения измерений используют центральную зону, а зону измерений создают: диаметром, образующим с главным направлением прямой угол, кольцевую зону разбивают на два полукольца и в качестве зоны измерений используют то полукольцо, которое служит входом для главного направления, а полукольцо, служащее для главного направления выходом, не используют; перед измерением угла смещения измеряют и сохраняют значение эталонной освещенности светочувствительных элементов детектора и число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны, а также выбирают некоторое «критическое» значение числа или доли светочувствительных элементов зоны выключателя измерений и запоминают его; при пересечении световым стимулом названной внешней границы детектора измеряют текущее значение освещенности светочувствительных элементов детектора, а, когда разница эталонного и текущего значений освещенности конкретного светочувствительного элемента зоны измерений или зоны выключения измерений превысит, по меньшей мере,

величину чувствительности названного светочувствительного элемента, такому светочувствительному элементу присваивают значение «единица»; все присвоенные единичные значения суммируют отдельно для зоны измерений и зоны выключения измерений до момента, когда сумма единичных значений зоны выключения измерений окажется равна или больше названного критического числа или названной критической доли светочувствительных элементов, после чего сумму единичных значений активной зоны делят на число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны и умножают на 2π , а результат считают значением в радианах угла γ , заключенного между главным направлением детектора и направлением смещения светового стимула, представляющего собой линейную границу.

21. Способ по п.20 отличающийся тем, что образуют круговой детектор, для чего указанный детектор используют в качестве эталона и создают множество копий эталона, вместе с эталоном образующих множество детекторов, указанное множество детекторов размещают с центром в одной точке, а главные направления для каждого из детекторов множества выбирают так, чтобы они пересекались в центре детектора, а смежные главные направления пересекались в центре и образовывали в пересечении друг с другом угол не менее погрешности измерения угла смещения границы Δ , причем для кругового детектора определяют единственное эталонное направление, а угол β_i между главным направлением i -го детектора множества детекторов и эталонным направлением кругового детектора запоминают; при пересечении световым стимулом внешней границы детектора, названные измерения проводят для каждого i -го детектора отдельно, отдельно вычисляют названный угол γ_i и вычисляют сумму $\alpha_i = (\beta_i + \gamma_i)$, а полученное множество значений α_i сравнивают между собой с целью усреднения или уточнения значения угла между направлением смещения светового стимула и эталонным направлением кругового детектора, а также подтверждения, что форма границы стимула является линейной.

22. Способ с по п.17, отличающийся тем, что для образования детектора угловой границы определяют главное направление для названного детектора и двумя радиусами, образующими с главным направлением углы φ и $-\varphi$ где $\varphi < \frac{\pi}{2}$, названную кольцевую зону разбивают на два сектора так, чтобы сектор с центральным углом $\delta = 2\pi - 2\varphi$, который используют в качестве зоны измерений, служил для главного направления входом, а сектор с центральным углом 2φ - выходом, а для измерения угла между главным направлением и направлением смещения светового стимула (далее - угол смещения) используют зону измерений и зону выключения измерений, причем в качестве зоны выключения измерений используют центральную зону детектора; перед измерением угла смещения измеряют и сохраняют значение эталонной освещенности светочувствительных элементов светочувствительной матрицы и число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны детектора, а также выбирают и запоминают «критическое» значение числа или доли светочувствительных элементов зоны выключения измерений; при пересечении световым стимулом внешней границы детектора измеряют текущее значение освещенности светочувствительных элементов, а когда разница эталонного и текущего значений освещенности конкретного светочувствительного элемента зоны измерений или

зоны выключения измерений превысит, по меньшей мере, величину чувствительности названного светочувствительного элемента, такому светочувствительному элементу присваивают значение «единица», все присвоенные «единичные» значения суммируют отдельно для зоны измерений и зоны выключения измерений до момента, когда сумма единичных значений зоны выключения измерений окажется равной или большей названного критического числа или названной критической доли светочувствительных элементов, после чего сумму единичных значений зоны измерений делят на число всех светочувствительных элементов кольцевой зоны детектора и, если Результат Деления превышает $1/2$, то считают, что световой стимул представляет собой угловую границу, а значение в радианах угла γ между главным направлением детектора и направлением смещения светового стимула считают равным Результату Деления, умноженному на 2π радиан.

23. Способ по п.22, отличающийся тем, что образуют круговой детектор, для чего указанный детектор используют в качестве эталона и создают множество копий эталона, вместе с эталоном образующих множество детекторов, указанное множество детектора размещают с центром в одной точке, а главные направления для каждого из детекторов множества выбирают так, чтобы они пересекались в центре детектора, а смежные главные направления пересекались в центре и образовывали в пересечении угол не менее погрешности измерения угла смещения границы Δ , причем для кругового детектора определяют единственное эталонное направление, а угол β_i между главным направлением i -го детектора множества детекторов и эталонным направлением кругового детектора запоминают; при пересечении световым стимулом внешней границы детектора, названные измерения проводят для каждого i -го детектора отдельно, отдельно вычисляют названный угол γ_i и вычисляют сумму $\alpha_i = (\beta_i + \gamma_i)$, полученное множество значений α_i сравнивают между собой с целью усреднения или уточнения значения угла между направлением смещения стимула и эталонным направлением кругового детектора, а также подтверждения того, что форма внешней границы детектора является угловой.

24. Способ по п.6, отличающийся тем, что в качестве детекторов первого мерного поля и второго мерного поля используют круговые детекторы по п. 21 и/или круговые детекторы по п. 23 соответствующего потенциала, причем эталонное направление для всех круговых детекторов выбирают одинаковым с образованием «эталонного направления поля».

25. Способ по п.12, отличающийся тем, что в качестве детекторов поля мерных окружностей и радиального мерного поля используют круговые детекторы по п. 21 и/или круговые детекторы по п.23 соответствующего потенциала, причем эталонное направление для всех круговых детекторов выбирают одинаковым с образованием «эталонного направления поля».

26. Способ по любому из пп.24-25, отличающийся тем, что указанные первое и второе мерные поля, а также радиальное мерное поле и поле мерных окружностей, вместе образующих поля измерений, размещают на светочувствительной матрице так, чтобы

точка пересечения главных осей первого мерного поля и второго мерного поля совпадала с центром радиального мерного поля и с центром поля мерных окружностей.

27. Способ по п.26, отличающийся тем, что на светочувствительную матрицу проецируют световой стимул в форме линии, имеющей n углов, и смещают световой стимул в названных полях измерений, проводят измерения и вычисляют множество значений углов наклона, образуемых названным эталонным направлением поля и каждым из отдельных участков линии $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, и идентифицируют местоположение углов в сочленении участков линии, причем в качестве множества значений углов наклона $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ выбирают значения, отличающиеся друг от друга, по меньшей мере, на величину погрешности измерения угла смещения границы Δ , выбранные значения ранжируют в порядке возрастания или убывания для получения ранжированной последовательности значений углов $(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$, углы, образованные в пересечении смежных участков линии, вычисляют как разницу последовательности ранжированных углов наклона смежных участков линии $\beta_i = a'_{i+1} - a'_i$, а ранжированную последовательность углов наклона $(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$ или соответствующую им последовательность разниц углов наклона $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1})$ или $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ используют в качестве множества углов названной линии и в качестве неизменного цифрового описания линии для цифровой идентификации названной линии при поворотах ее проекции в плоскости светочувствительной матрицы и при пропорциональном изменении ее размеров.

28. Способ по п.27, отличающийся тем, что дополнительно на светочувствительную матрицу в качестве световых стимулов проецируют две или более линий, для которых вычисляют последовательности разниц углов наклона $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1})$ или $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$, указанные последовательности сравнивают и, если цифровые описания указанных линий равны, то делают вывод о подобии линий.

29. Способ по п.28, отличающийся тем, что с помощью полей измерения дополнительно измеряют расстояние между идентифицированными местоположениями углов в сочленении участков линии и, если измеренные расстояния равны, то расположенные между идентифицированными углами линии и/или образованные линиями фигуры считают равными.

30. Способ по п.27, отличающийся тем, что дополнительно на светочувствительную матрицу в качестве световых стимулов проецируют две или более линии, для которых вычисляют и ранжируют последовательности углов наклона $(a'_1, a'_2, \dots, a'_n)$, указанные ранжированные последовательности сравнивают и, если цифровые описания указанных линий равны, то такие линии и/или соответствующие их участки считают параллельными.

31. Способ по п.27, отличающийся тем, что в качестве светового стимула используют замкнутую ломаную линию.

32. Способ по п.31, отличающийся тем, что значения каждого из углов замкнутой ломаной линии сравнивают и, если разница значений не превышает известной погрешности измерений, то замкнутую ломаную линию считают правильным многоугольником.

33. Способ по п.5, отличающийся тем, что определяют, по меньшей мере, одно направление смещения неподвижного светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы, вызванного перемещением исполнительного механизма конкретного привода светочувствительной матрицы (далее «направление привода»), и создают на матрице мерное поле (далее - гомогенное поле привода), направление главной оси которого совпадает с направлением привода; передаточное отношение привода светочувствительной матрицы вычисляют как отношение изменения потенциала детекторов главной координатной оси гомогенного поля привода или ее копии на которые воздействовал неподвижный световой стимул до и после указанного линейного смещения светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы к соответствующему изменению местоположения указанного привода.

34. Способ по п.33, отличающийся тем, что перед смещением на матрице светового стимула измеряют «исходный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем исходном местоположении в гомогенном поле привода, соответствующем текущему местоположению привода, а при смещении светового стимула на матрице измеряют «конечный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем конечном местоположении в гомогенном поле привода, из конечного потенциала вычитают исходный потенциал, а полученную «разницу потенциалов» делят на передаточное отношение привода светочувствительной матрицы; полученный результат используют в качестве расстояния перемещения привода между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение в гомогенном поле привода на светочувствительной матрице; при этом, если значение разницы потенциалов является положительной величиной, то перемещение привода осуществляют в направлении привода и, если значение разницы потенциалов является отрицательной величиной, то перемещение привода осуществляют в направлении противоположном направлению привода.

35. Способ по п.33, отличающийся тем, что в качестве детекторов гомогенного поля привода используют детекторы линейной границы по п. 20 или детекторы угловой границы по п. 22, главное направление которых совпадает с направлением главной координатной оси гомогенного поля привода; перед смещением на матрице светового стимула измеряют «исходный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем исходном местоположении в гомогенном поле привода, соответствующем текущему местоположению привода, а при смещении светового стимула на матрице измеряют «конечный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем конечном местоположении в гомогенном поле привода, вычисляют разницу между исходным и конечным потенциалами, полученную разницу делят на передаточное отношение привода светочувствительной матрицы и полученный результат используют в качестве расстояния перемещения привода между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение на светочувствительной матрице; при смещении светового стимула на матрице также

измеряют значение угла смещения линейной или угловой границы светового стимула и, если значение угла находится в пределах $\frac{\pi}{2} < |\pm\gamma| \leq \pi$, то привод перемещают в направлении привода, а если значение угла находится в пределах $0 \leq |\pm\gamma| < \frac{\pi}{2}$, то привод перемещают в направлении противоположном направлению привода.

36. Способ по п.11, отличающийся тем, что определяют, по меньшей мере, одно направление смещения неподвижного светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы вдоль окружности с центром неподвижно закрепленным на светочувствительной матрице, вызванного перемещением исполнительного механизма конкретного привода светочувствительной матрицы (далее «направление привода»), и создают поле мерных окружностей (далее - гомогенное поле привода), которое располагают на светочувствительной матрице так, чтобы центр поля мерных окружностей совпадал с центром указанной окружности, а направление привода совпадало с направлением увеличения значений полярного угла; передаточное отношение привода светочувствительной матрицы вычисляют как отношение изменения потенциала детекторов главной мерной окружности гомогенного поля привода или ее копии на которые воздействовал неподвижный световой стимул до и после указанного смещения светового стимула по поверхности светочувствительной матрицы к соответствующему изменению местоположения указанного привода.

37. Способ по п.36, отличающийся тем, что перед смещением на матрице светового стимула измеряют «исходный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем исходном местоположении в гомогенном поле привода, соответствующем текущему местоположению привода, а при смещении светового стимула на матрице измеряют «конечный потенциал» детектора, на который воздействует световой стимул в своем конечном местоположении в гомогенном поле привода, из конечного потенциала вычитают исходный потенциал, а полученную «разницу потенциалов» делят на передаточное отношение привода светочувствительной матрицы, а полученный результат используют в качестве расстояния перемещения привода между текущим местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение гомогенного поля привода на светочувствительной матрице; при этом, если значение разницы потенциалов является положительной величиной, то привод перемещают в направлении привода и, если значение разницы потенциалов является отрицательной величиной, то привод перемещают в направлении противоположном направлению привода.

38. Способ по любому из пп.34, 34, 37, отличающийся тем, что светочувствительную матрицу оснащают множеством приводов с возвратно-поступательным или возвратно-вращательным движением исполнительного механизма и для каждого из приводов создают гомогенное поле привода, а при смещении светового стимула из исходного местоположения на светочувствительной матрице, соответствующего текущему местоположению каждого из множества приводов, в конечное местоположение светового стимула на светочувствительной матрице, отдельно для каждого из приводов множества рассчитывают расстояние между текущим

местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул вернется в исходное местоположение гомогенного поля привода на светочувствительной матрице.

39. Способ по п.38, отличающийся тем, что создают множество из трех приводов, а для образования декартовой системы гомогенных полей первого и второго приводов используют мерные поля по п.33, а соответствующие мерным полям направления приводов выбирают такими, чтобы главные координатные оси мерных полей первого и второго приводов на светочувствительной матрице пересекались под прямым углом и начинались в одной точке с образованием центра системы, а для третьего привода используют поле мерных окружностей по п.36 с соответствующим ему направлением привода и местоположением закрепленного на светочувствительной матрице центра мерных окружностей; измеряют потенциалы детекторов гомогенных полей первого и второго приводов для местоположения центра поля мерных окружностей третьего гомогенного поля привода и запоминают указанные потенциалы детекторов в качестве потенциалов эталонного местоположения на светочувствительной матрице, соответствующих эталонному местоположению первого и второго приводов; при воздействии светового стимула на детекторы первого и второго гомогенных полей приводов, потенциалы таких детекторов определяют, для первого и второго приводов отдельно рассчитывают расстояние между эталонным местоположением привода светочувствительной матрицы и местоположением привода светочувствительной матрицы, при котором световой стимул займет указанное эталонное местоположение на светочувствительной матрице.

40. Способ по п.38, отличающийся тем, что дополнительно на светочувствительной матрице создают декартову систему мерных полей по (далее - первая система координат), затем создают копию декартовой системы мерных полей (далее - вторая система координат), причем одну из созданных систем координат закрепляют на светочувствительной матрице с образованием неподвижной системы координат, а вторую - перемещают по светочувствительной матрице с образованием подвижной системы координат; приводы светочувствительной матрицы приводят в некоторое эталонное местоположение приводов, а подвижную и неподвижную системы координат размещают на светочувствительной матрице так, чтобы для эталонного местоположения указанных приводов центр неподвижной системы координат совпадал с центром подвижной системы координат; при перемещении соответствующего привода из начального местоположения в конечное местоположение, определяют расстояние перемещения привода и с помощью названного передаточного отношения привода вычисляют значение смещения центра подвижной системы координат в координатном поле неподвижной системы координат светочувствительной матрицы из начальной в конечную точку, а центр подвижной системы координат смещают так, чтобы потенциал детектора в месте расположения центра подвижной системы координат изменился в соответствии с вычисленным значением, а при перемещении центра подвижной системы координат из первой во вторую точку неподвижной системы координат, определяют изменение потенциалов детекторов неподвижной системы координат в первой и второй

точках и с помощью передаточного отношения привода светочувствительной матрицы вычисляют смещение привода, соответствующего направлению соответствующей главной оси мерного поля или полярного угла.

41. Способ по п.38, отличающийся тем, что на светочувствительной матрице создают декартову систему мерных полей (далее - первая система координат), затем создают полярную систему координат матрицы, радиальная шкала которой совпадает со шкалой главных координатных осей мерных полей (далее - вторая система координат), причем одну из созданных систем координат закрепляют на светочувствительной матрице (далее - неподвижная система координат), а вторую - перемещают по светочувствительной матрице (далее - подвижная система координат); приводы светочувствительной матрицы приводят в эталонное местоположение приводов, а подвижную и неподвижную системы координат размещают на светочувствительной матрице так, чтобы для эталонного местоположения приводов центр неподвижной системы координат совпадал с центром подвижной системы координат; при перемещении соответствующего привода светочувствительной матрицы из начального местоположения в конечное местоположение, определяют расстояние перемещения привода и с помощью его передаточного отношения вычисляют значение смещения центра подвижной системы координат в координатном поле неподвижной системы координат светочувствительной матрицы из начальной в конечную точку, а центр подвижной системы координат смещают так, чтобы потенциал детектора в месте расположения центра подвижной системы координат изменился в соответствии с вычисленным значением, а при перемещении центра подвижной системы координат из первой во вторую точку неподвижной системы координат, определяют изменение потенциалов детекторов неподвижной системы координат в первой и второй точках и с помощью названного передаточного отношения привода светочувствительной матрицы вычисляют смещение привода, соответствующее направлению соответствующей главной координатной оси мерного поля или полярного угла.

42. Способ по п.39, отличающийся тем, что выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, перед измерением кривизны поверхности по ее проекции на светочувствительную матрицу площадь светочувствительной матрицы разбивают на два или более участков эталонного размера или формы, измеряют и запоминают местоположение каждого из участков в системе координат матрицы; каждый из участков настраивают так, чтобы в условиях одинаковой освещенности всех участков, измеренное разными участками значение освещенности отличалось, для чего к системе измерения освещенности поверхности или подключают долю всех светочувствительных элементов соответствующего участка, а указанную долю уменьшают или увеличивают пропорционально значению D , которое используют в качестве значения плотности подключенных к системе измерения освещенности поверхности светочувствительных элементов участка матрицы, или подключают все светочувствительные элементы соответствующего участка, а измеренное ими значение освещенности снижают или увеличивают пропорционально значению D , которое используют в качестве значения чувствительности светочувствительных элементов.

43. Способ по п.42, отличающийся тем, что указанное значение D плотности или чувствительности подключенных к системе измерения освещенности светочувствительных элементов указанных участков матрицы, снижают от центра к периферии полярной системы координат согласно закону изменения освещенности эталонной поверхности в направлении от точки максимальной освещенности (далее - полюс освещенности) к периферии; выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, проецируют ее на светочувствительную матрицу и измеряют кривизну с использованием проекции поверхности на светочувствительную матрицу, для чего на указанной проекции выбирают точку полюса освещенности поверхности – "P", с которой совмещают центр полярной системы координат - «O», затем центр полярной системы координат O смещают так, чтобы расстояние на светочувствительной матрице между точками O и P увеличивалось, и одновременно измеряют освещенности светочувствительной матрицы в названных точках; если измеренные значения освещенности названных точек O и P равны с допустимой погрешностью ΔD , то принимают решение о том, что радиус кривизны поверхности совпадает с радиусом кривизны эталонной поверхности, если измеренное значение освещенности центра полярной системы координат O превышает измеренное значение освещенности точки полюса освещенности поверхности P более чем на ΔE , то принимают решение о том, что радиус поверхности больше радиуса эталонной поверхности, если измеренное значение освещенности полюса поверхности P превышает измеренное значение освещенности центра полярной системы координат O более, чем на ΔE , то принимают решение о том, что радиус эталонной поверхности больше радиуса измеренной кривизны поверхности.

44. Способ по любому из пп.40 - 41, отличающийся тем, что выбирают поверхность, кривизну которой следует измерить, перед измерением кривизны поверхности по ее проекции к системе измерения освещенности поверхности или подключают долю всех светочувствительных элементов, или подключают все светочувствительные элементы соответствующего детектора мерного поля или радиального мерного поля или поля мерных окружностей.

45. Способ по п.44, отличающийся тем, что на проекции поверхности на светочувствительную матрицу выбирают точку начала измерений P с которой связывают центр подвижной системы координат, а центр неподвижной системы координат O совмещают с центром подвижной системы координат P , измеряют и запоминают освещенность центра подвижной системы координат E_p , значение высоты поверхности в точке начала измерений принимают равной единице $H_p = 1$, значение высоты связывают с координатами точки P в подвижной системе координат $H_p(a_p, b_p)$ и запоминают; с помощью приводов светочувствительной матрицы центр O неподвижной системы координат перемещают в первую точку, освещенность которой E_1 отличается от освещенности E_p более, чем на величину погрешности измерений освещенности $|E_1 - E_p| > \Delta E$, измеряют координаты $O_1(a_1, b_1)$ первой точки в подвижной системе координат, а высоте поверхности в первой точке присваивают значение отношения освещенностей в первой точке и в точке начала измерений $H_1 = \frac{E_1}{E_p}$, связывают значение высоты с координатами второй точки

$H_1(a_1, b_1)$ и запоминают, причем смещение центра неподвижной системы координат O , измерение значений освещенности точки O , вычисление высоты поверхности, связывание высоты с координатами второй, третьей и так далее i -той точки O и запоминание связанной с координатами i -той точки высоты $H_i(a_i, b_i) = \frac{E_i}{E_p}$ продолжают до тех пор, пока не достигнут необходимого числа n измерений, а полученное распределение высот $(H_1(a_1, b_1), H_2(a_2, b_2), \dots, H_n(a_n, b_n))$, образованной множеством последовательных положений точки O на матрице во время измерений освещенности используют как множество значений высоты поверхности H_i в соответствующих точках поверхности с координатами (a_i, b_i) .

46. Способ по п.44, отличающийся тем, что измеряют освещенность светочувствительных элементов каждого детектора подключенного к системе измерения освещенности, а измеренное значение освещенности считают значением высоты поверхности в месте расположения детектора, причем значение отметки шкалы оси координат или мерной окружности соответствующей расположению центра детектора в первой или второй системе координат матрицы ставят в соответствие полученному значению высоты.

47. Способ по любому из пп.46-47, отличающийся тем, что, если для множества детекторов светочувствительной матрицы (a_i, b_i) , дисперсия измеренной освещенности не превышает величины погрешности ΔE , то принимают решение о том, что множество точек образует связное пространство точек плоской поверхности, а освещенности E_i всех точек множества (a_i, b_i) приравнивают значению освещенности E одной выбранной точки последовательности (a, b) .

48. Способ по п.47, отличающийся тем, что если при измерении освещенности светового стимула принято решение о наличии двух связных пространств точек с разными измеренными освещенностями E_1 и E_2 то принимают решение о том, что световой стимул является проекцией на светочувствительную матрицу двух плоских поверхностей с освещенностями E_1 и E_2 , образующих в пересечении угол β , указанные освещенности E_1 и E_2 располагают в порядке или снижения или увеличения освещенности, а в качестве неизменного цифрового описания угла β используют отношение измеренных освещенностей E_2/E_1 или арккосинуса отношения $\arccos\left(\frac{E_2}{E_1}\right)$.

49. Способ по п.47, отличающийся тем, что, если при измерении освещенности светового стимула принято решение о наличии n связных пространств точек с разными измеренными освещенностями, то принимают решение о том, что световой стимул является проекцией на светочувствительную матрицу n плоских поверхностей, образующих в пересечении друг с другом множество углов, а измеренные значения освещенности ранжируют в порядке уменьшения или увеличения освещенности E_1, E_2, \dots, E_n , затем рассчитывают отношения названных освещенностей $\frac{E_2}{E_1}, \frac{E_3}{E_2}, \dots, \frac{E_n}{E_{n-1}}$, а последовательность $\arccos\frac{E_2}{E_1}, \arccos\frac{E_3}{E_2}, \dots, \arccos\frac{E_n}{E_{n-1}}$ или используют в качестве неизменного цифрового описания для идентификации названной объемной фигуры или для идентификации множества углов $\beta_1 = \frac{E_2}{E_1}, \beta_2 = \frac{E_3}{E_2}, \dots, \beta_{n-1} = \frac{E_n}{E_{n-1}}$ или $\beta_1 = \arccos\frac{E_2}{E_1}, \beta_2 =$

$\arccos \frac{E_3}{E_2}, \dots, \beta_{n-1} = \arccos \frac{E_n}{E_{n-1}}$, образуемых множеством плоскостей в пересечении друг с другом.

50. Способ определения удаления светового стимула от бинокулярной системы технического зрения (БСТЗ), характеризующийся тем, что для БСТЗ используют две матрицы, которые располагают так, чтобы в исходном положении матрицы лежали в одной плоскости, полярные системы матриц были одинаковыми, оптические оси оптических систем каждой из матриц были параллельны и находились на расстоянии L друг от друга, а одинаковые приводы матриц при этом находились в таком эталонном положении, чтобы при смещении приводов из эталонного в любое предельное положение матрица также смещалась в соответствующее предельное положение; для измерения дальности светового стимула каждую из матриц с помощью приводов матрицы поворачивают так, чтобы названный световой стимул оказался в центре неподвижной системы координат соответствующей матрицы, измеряют значение местоположения каждого из приводов и, если значения отличаются, то вычисляют значение угла конвергенции или дивергенции оптических осей БСТЗ, соответствующего разнице значений местоположения приводов, а значение дальности вычисляют с использованием значения названного угла и названного расстояния L между оптическими осями по формуле параллакса зрения.

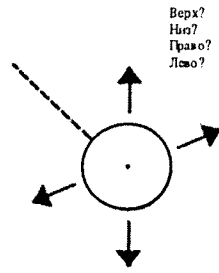


Fig. 1

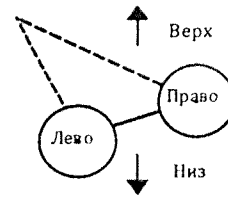


Fig. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	2							
3		3						
4			4					
5				5				
6					6			
7						7		
8							8	
9								9

Fig. 3

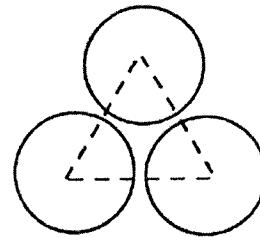


Fig. 4

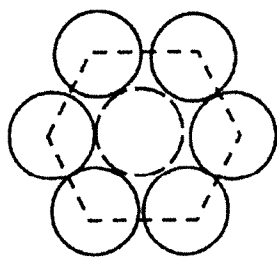


Fig. 5

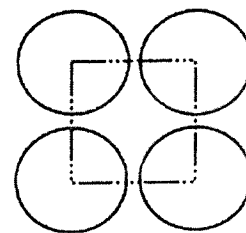


Fig. 6

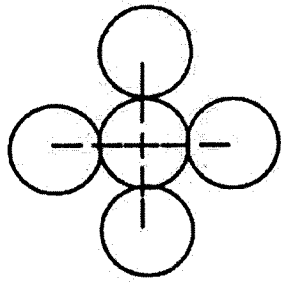


Fig. 7

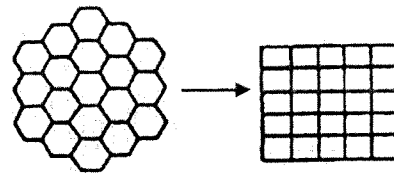


Fig. 8

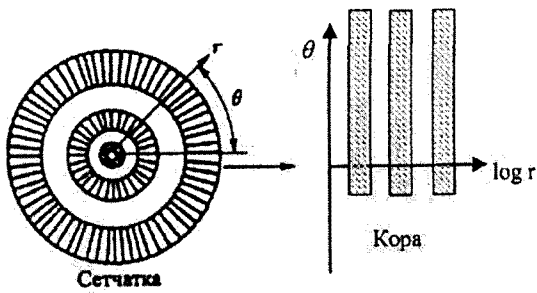


Fig. 9

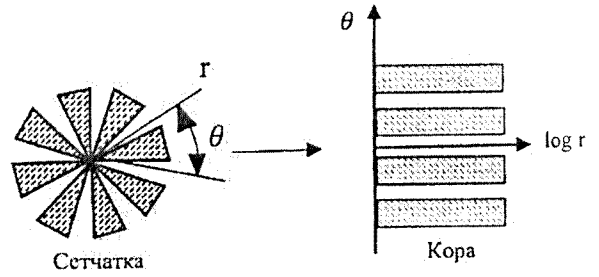


Fig. 10

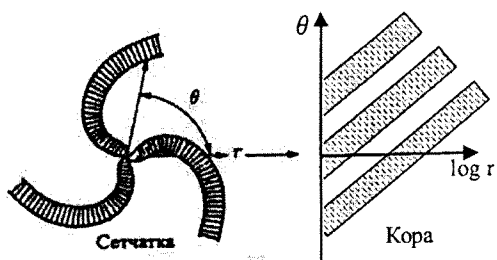


Fig. 11

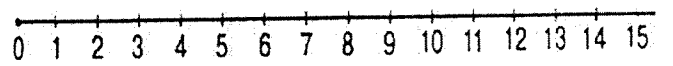


Fig. 12

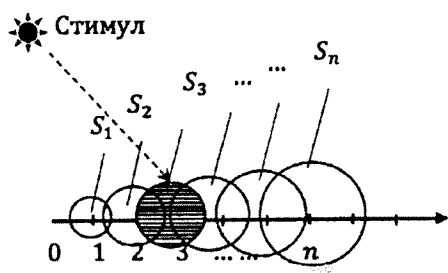


Fig. 13

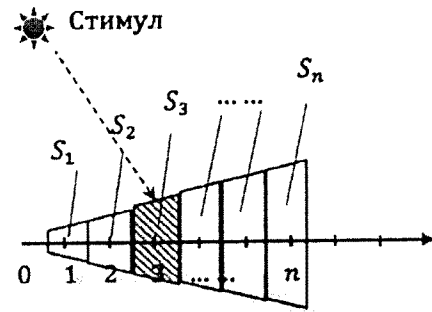


Fig. 14

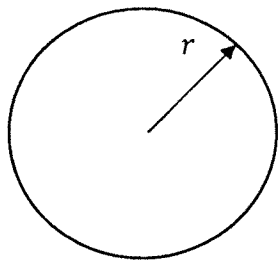


Fig. 15

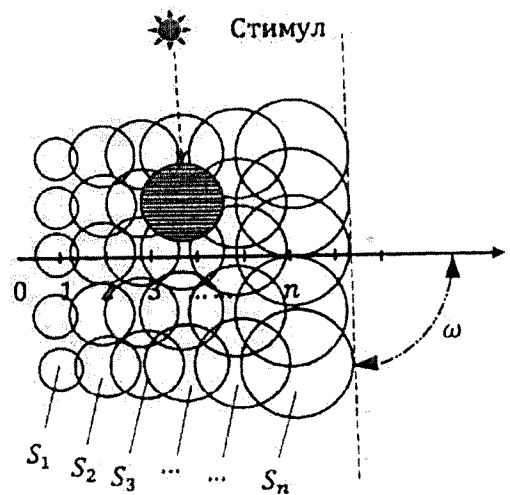


Fig. 16

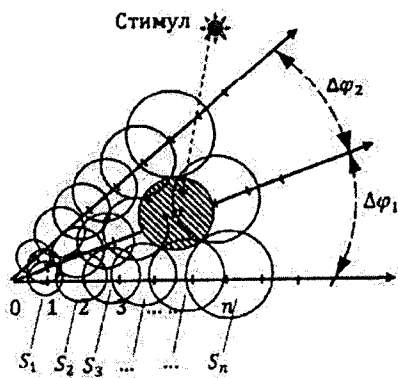


Fig. 17

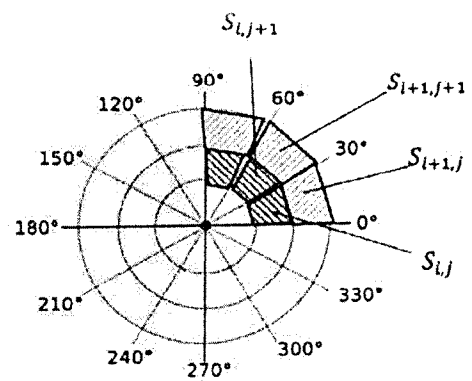


Fig. 18

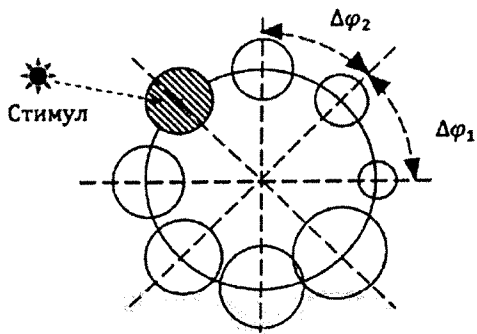


Fig. 19

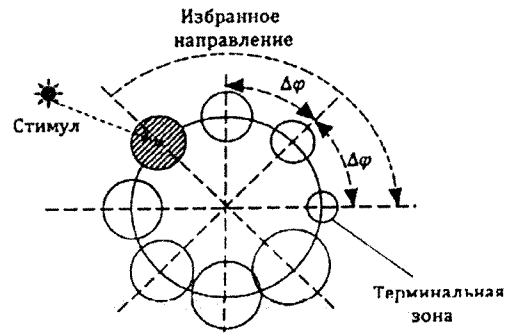


Fig. 20

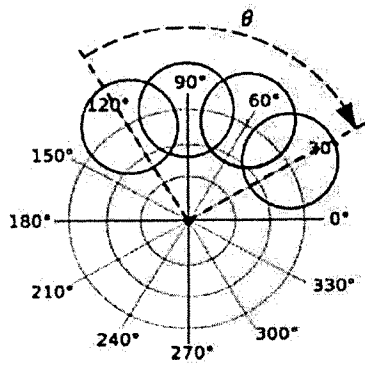


Fig. 21

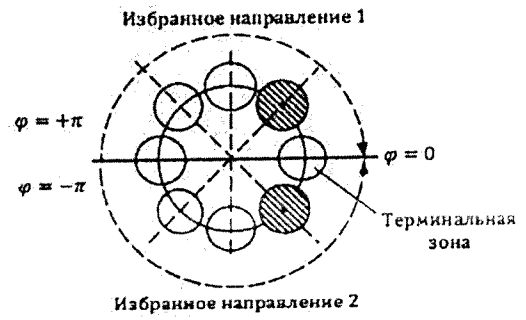


Fig. 22

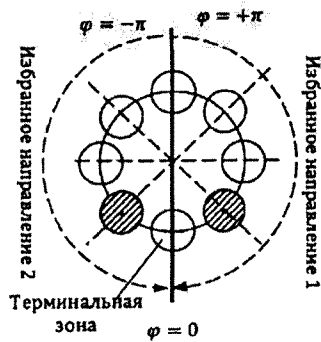


Fig. 23

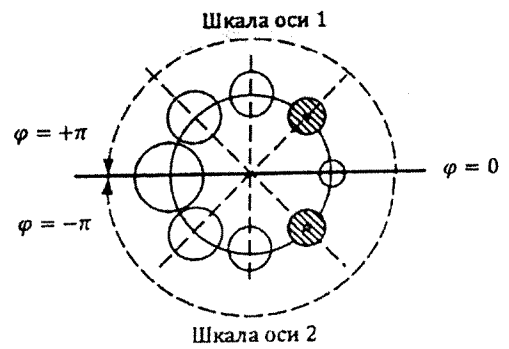


Fig. 24

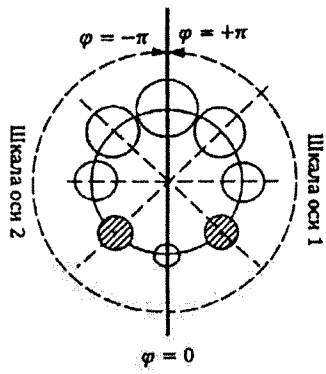


Fig. 25

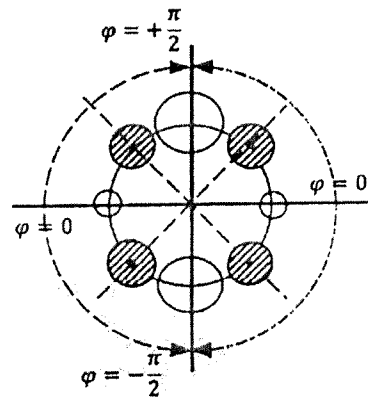


Fig. 26

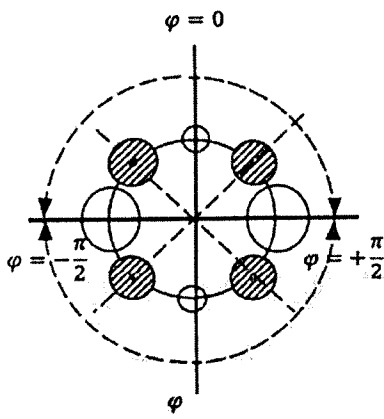


Fig. 27

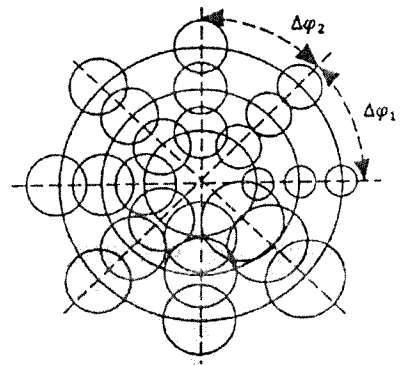


Fig. 28

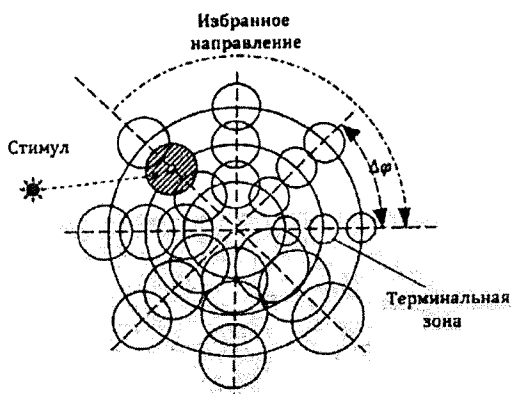


Fig. 29

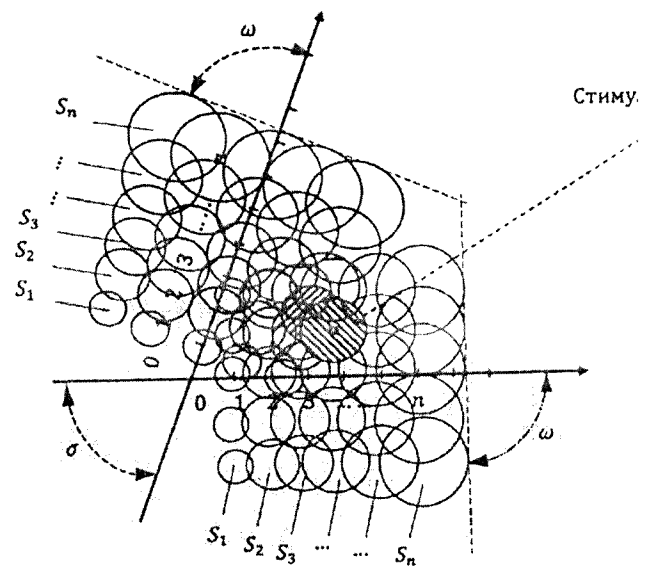


Fig. 30

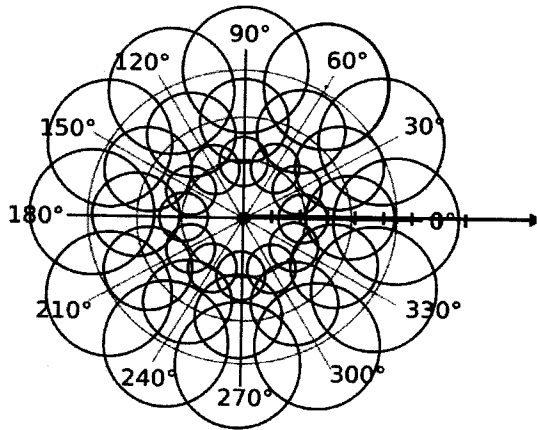


Fig. 31

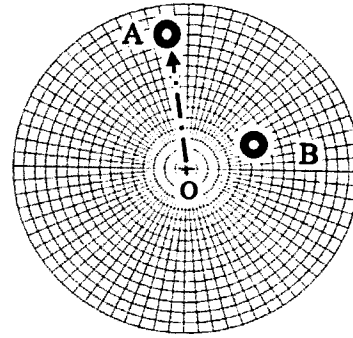


Fig. 32

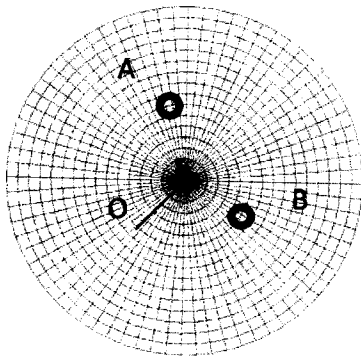


Fig. 33

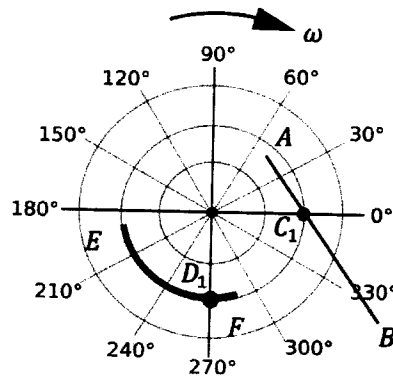


Fig. 34

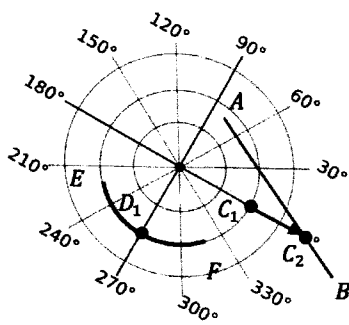


Fig. 35

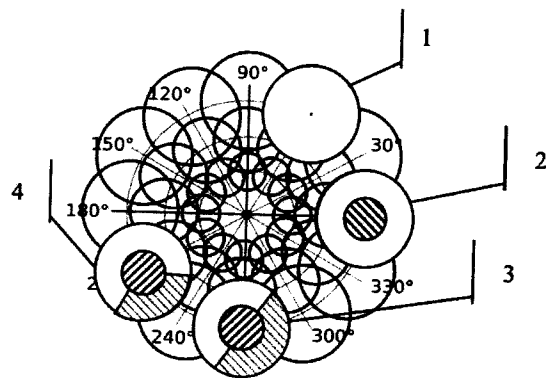


Fig. 36

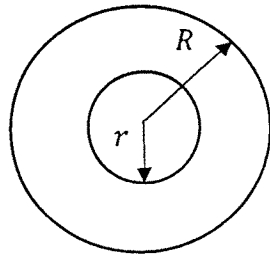


Fig. 37

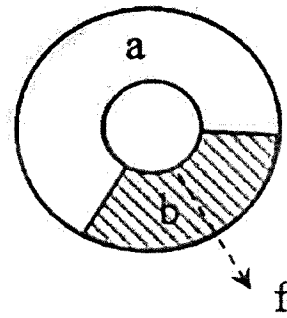


Fig. 38

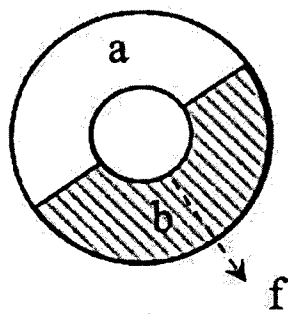


Fig. 39

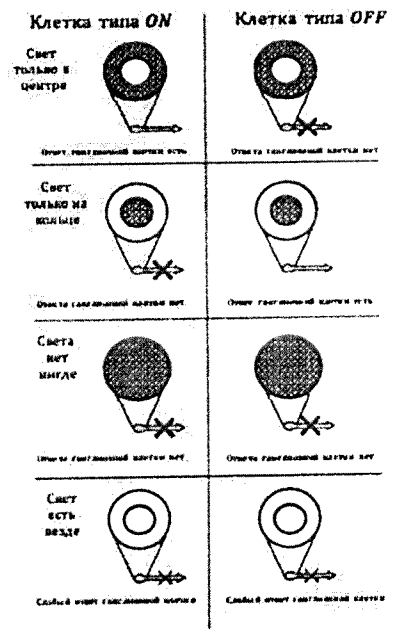


Fig. 40

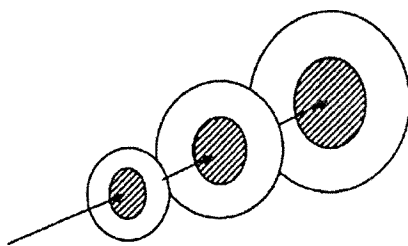


Fig. 41

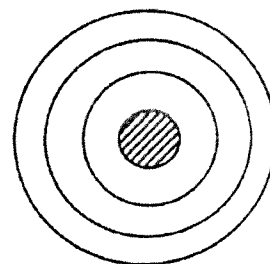


Fig. 42

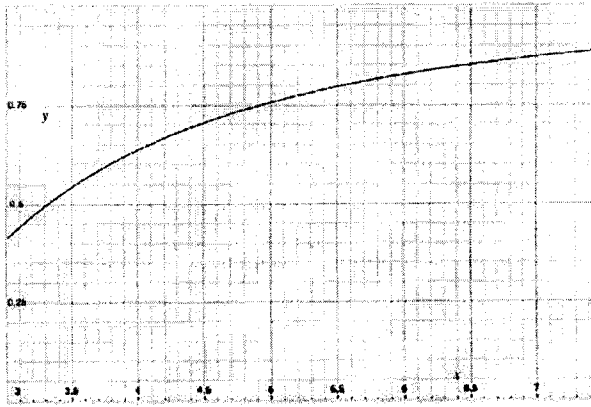


Fig. 43

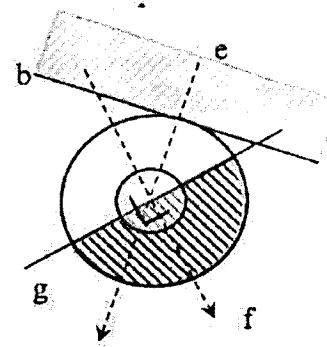


Fig. 44

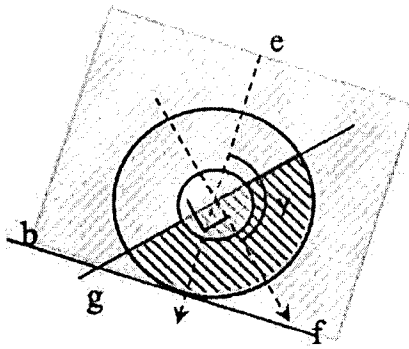


Fig. 45

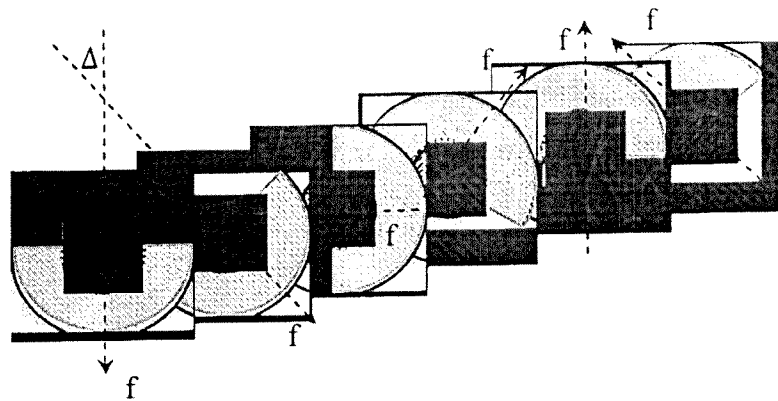


Fig. 46

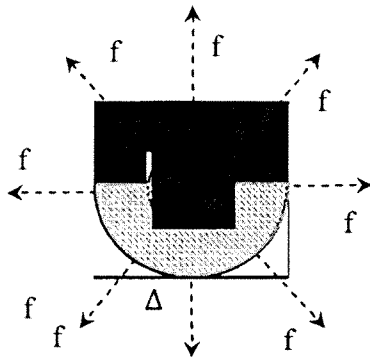


Fig. 47

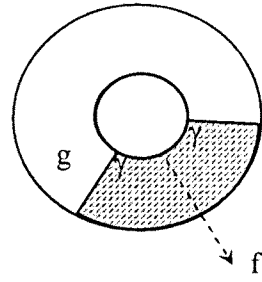


Fig. 48

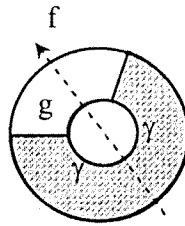


Fig. 49

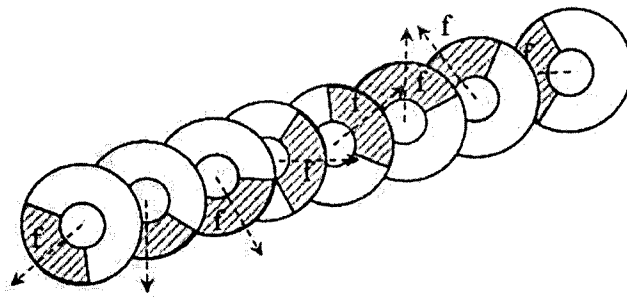


Fig. 50

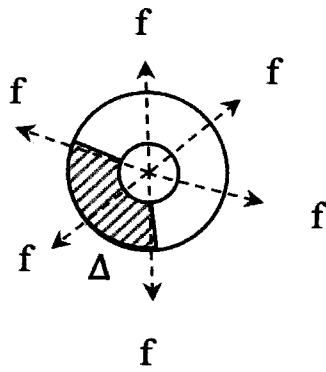


Fig. 51

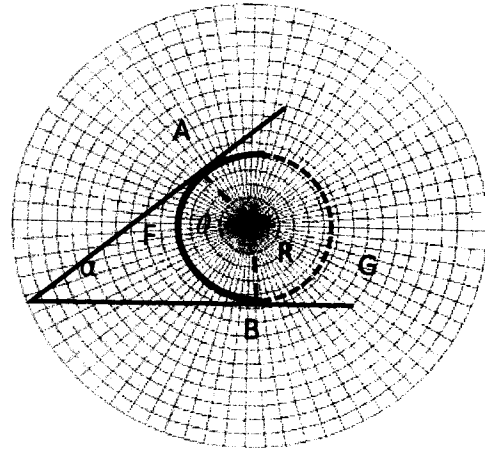


Fig. 52

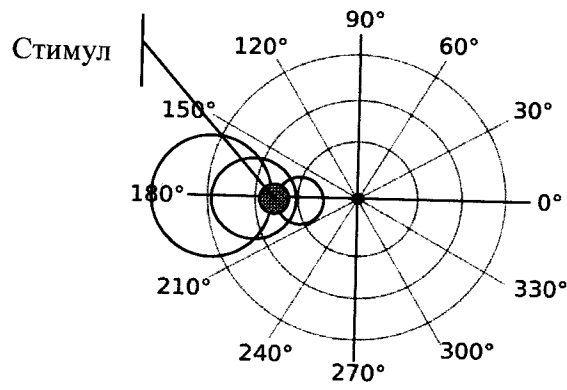


Fig. 53

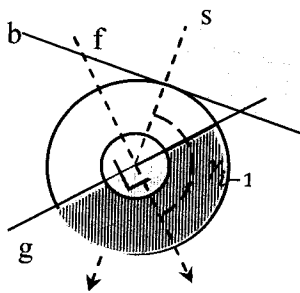


Fig. 54

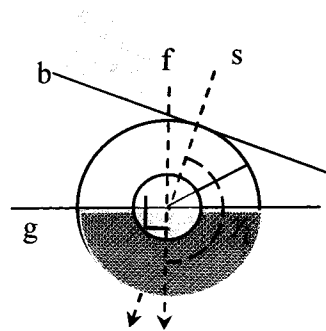


Fig. 55

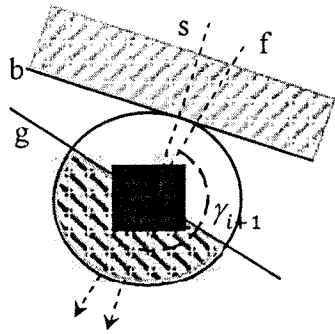


Fig. 56

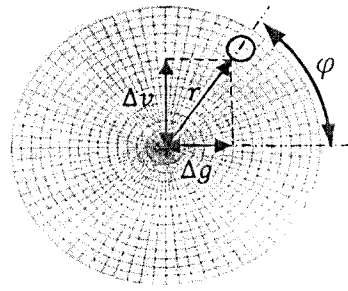


Fig. 57

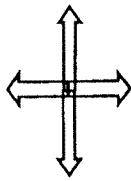


Fig. 58

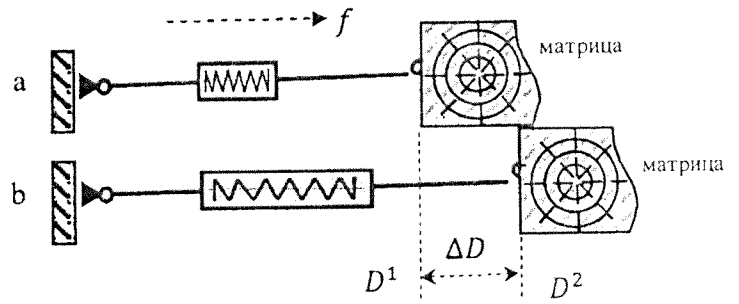


Fig. 59

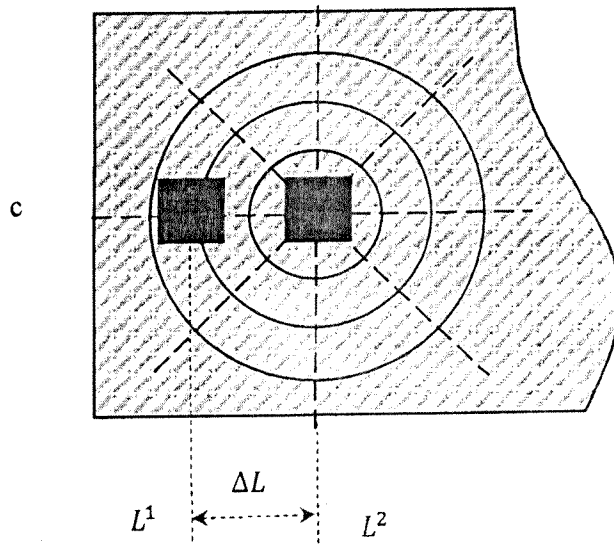


Fig. 60

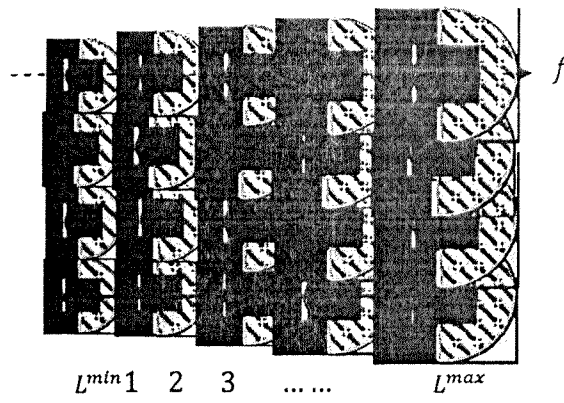


Fig. 61

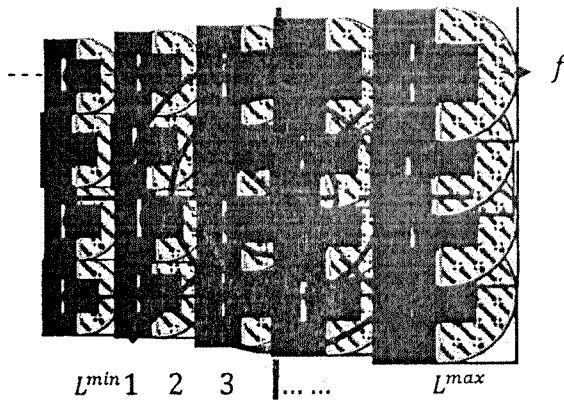


Fig. 62

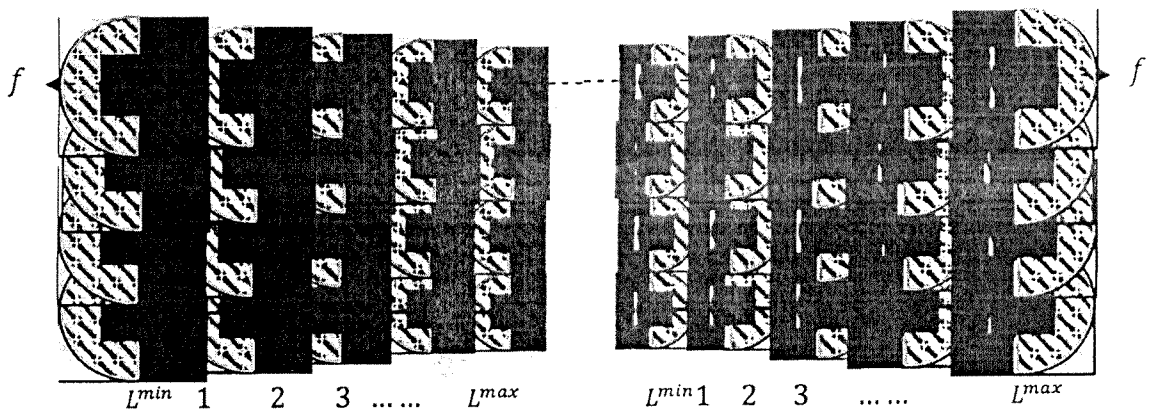


Fig. 63

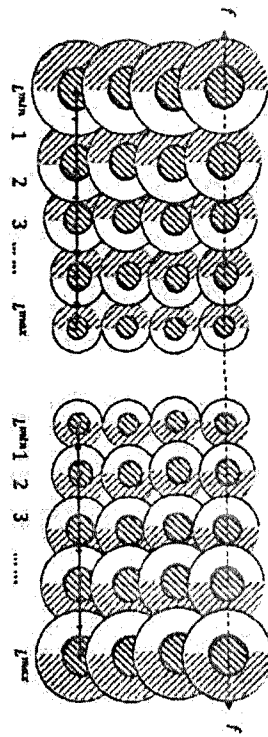


Fig. 64

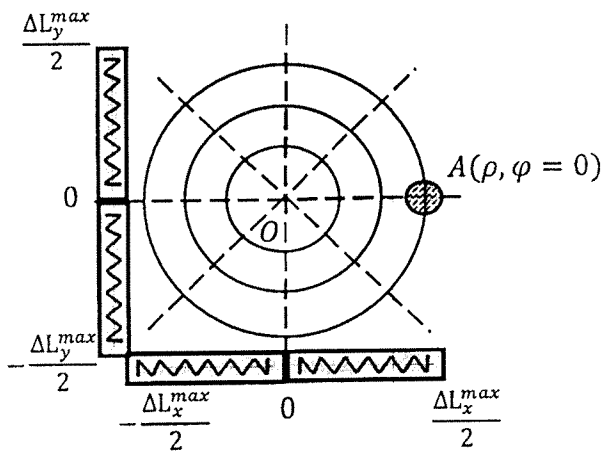


Fig. 65

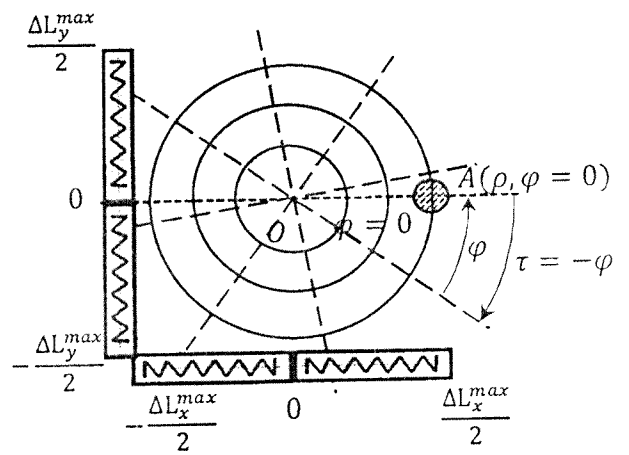


Fig. 66

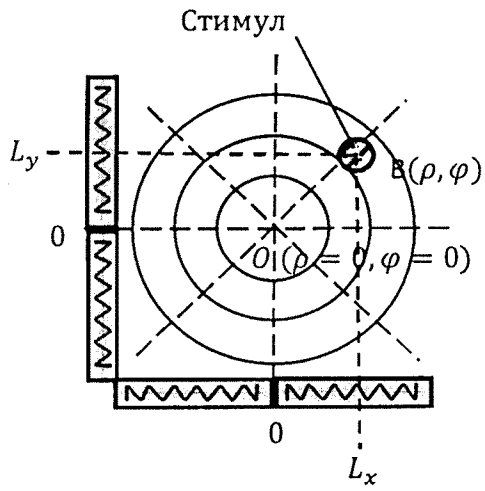


Fig. 67

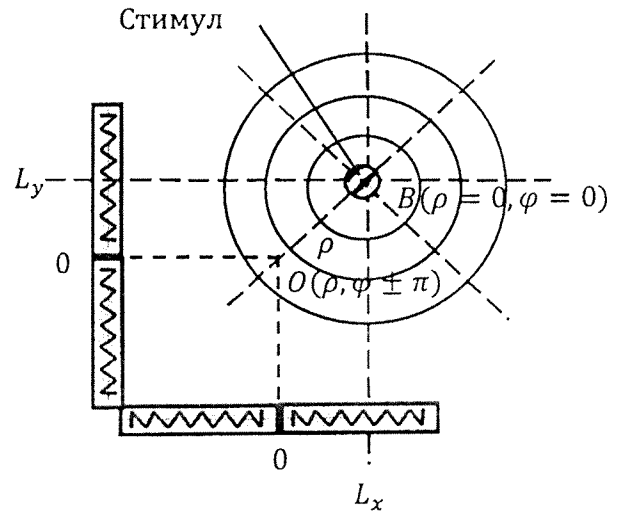


Fig. 68

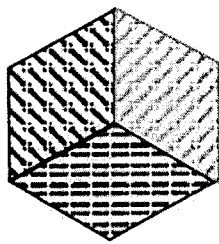


Fig. 69

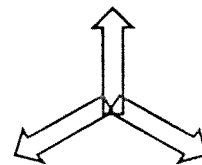


Fig. 70

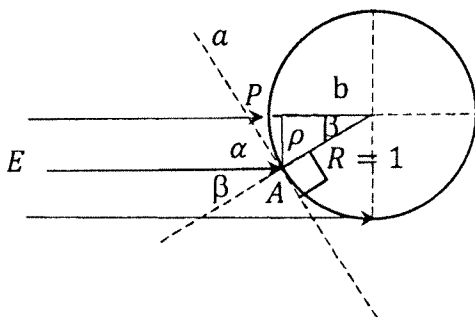


Fig. 71

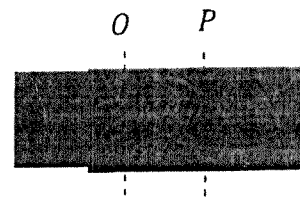


Fig. 72

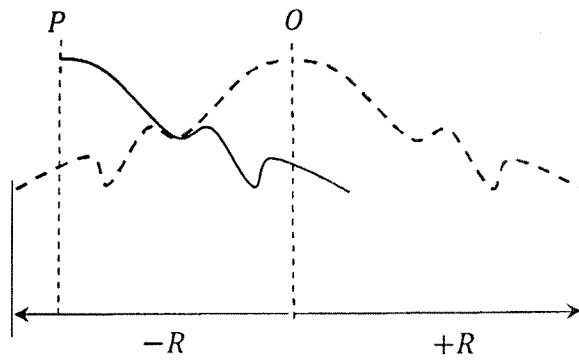


Fig. 73

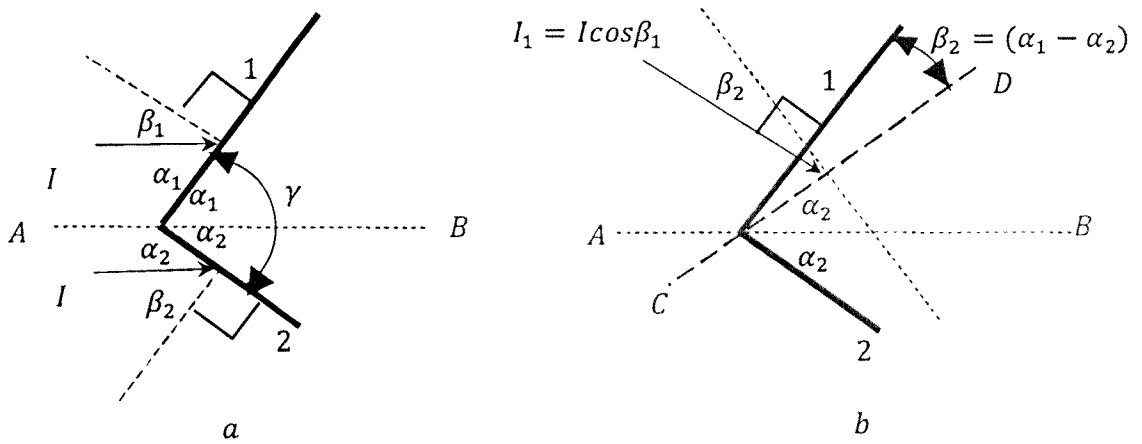


Fig. 74

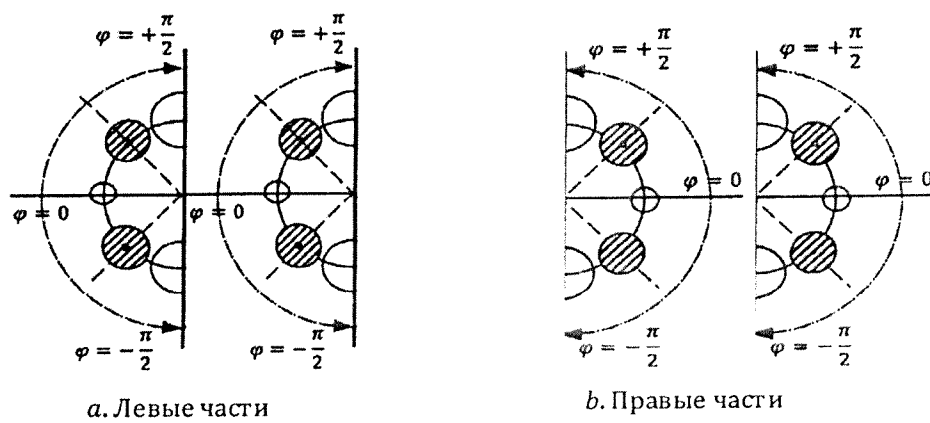


Fig. 75

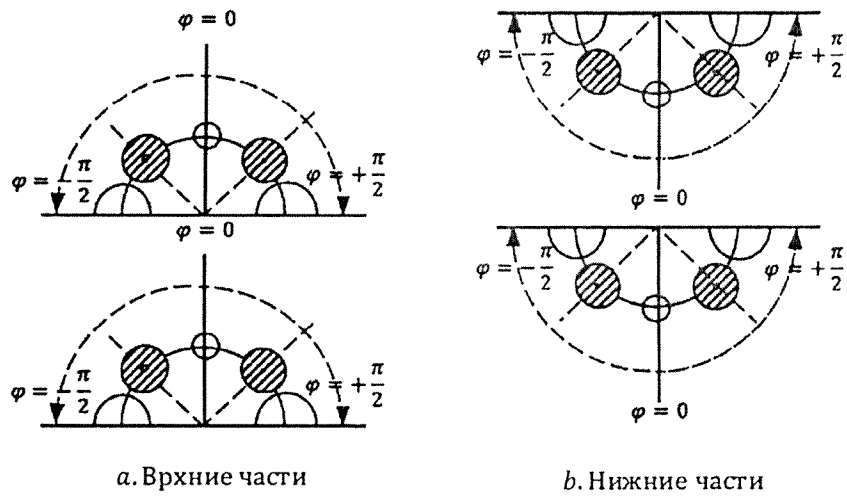


Fig. 76

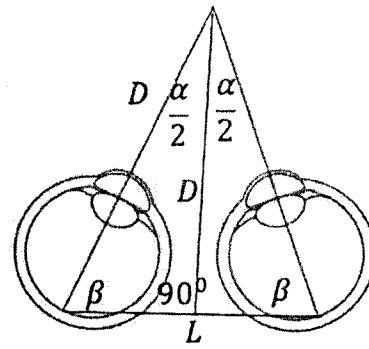


Fig. 77

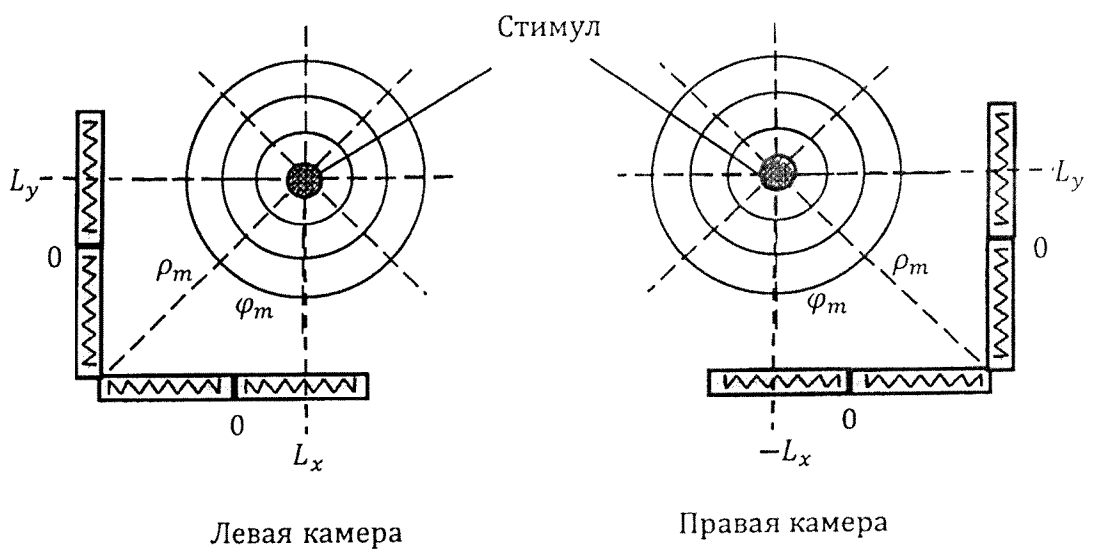


Fig. 78

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 2021/000052

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER *G01C 3/08 (2006.01)* *G01S 17/02 (2020.01)*
G01C 3/10 (2006.01) *G06T 1/40 (2006.01)*
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01C 3/00-3/10, G01S 17/00-17/02, G06T 1/00-1/40, H04N 7/00-7/18, 5/00-5/335

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, Information Retrieval System of FIPS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011/0211068 A1 (SOICHIRO YOKOTA) 01.09.2011	1-3, 5-50
A	US 2014/0333787 A1 (PELICAN IMAGING CORPORATION) 13.11.2014	1-3, 5-50
A	US 2008/0165257 A1 (MICRON TECHNOLOGY INC) 10.07.2008	1-3, 5-50

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 28 September 2021 (28.09.2021)	Date of mailing of the international search report 07 October 2021 (07.10.2021)
Name and mailing address of the ISA/ RU	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 2021/000052

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

- 2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

- 3. Claims Nos.: 4
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

- 1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

- 4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2021/000052

<p>A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ</p> <p><i>G01C 3/08 (2006.01)</i> <i>G01C 3/10 (2006.01)</i> <i>G01S 17/02 (2020.01)</i> <i>G06T 1/40 (2006.01)</i></p> <p>Согласно Международной патентной классификации МПК</p>														
<p>B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА</p> <p>Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)</p> <p>G01C 3/00-3/10, G01S 17/00-17/02, G06T 1/00-1/40, H04N 7/00-7/18, 5/00-5/335</p> <p>Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки</p> <p>Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)</p> <p>PatSearch (RUPTO internal), USPTO, PAJ, Esp@cenet, Information Retrieval System of FIPS</p>														
<p>C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Категория*</th> <th>Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей</th> <th>Относится к пункту №</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>US 2011/0211068 A1 (SOICHIRO YOKOTA) 01.09.2011</td> <td>1-3, 5-50</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2014/0333787 A1 (PELICAN IMAGING CORPORATION) 13.11.2014</td> <td>1-3, 5-50</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2008/0165257 A1 (MICRON TECHNOLOGY INC) 10.07.2008</td> <td>1-3, 5-50</td> </tr> </tbody> </table>			Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №	A	US 2011/0211068 A1 (SOICHIRO YOKOTA) 01.09.2011	1-3, 5-50	A	US 2014/0333787 A1 (PELICAN IMAGING CORPORATION) 13.11.2014	1-3, 5-50	A	US 2008/0165257 A1 (MICRON TECHNOLOGY INC) 10.07.2008	1-3, 5-50
Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №												
A	US 2011/0211068 A1 (SOICHIRO YOKOTA) 01.09.2011	1-3, 5-50												
A	US 2014/0333787 A1 (PELICAN IMAGING CORPORATION) 13.11.2014	1-3, 5-50												
A	US 2008/0165257 A1 (MICRON TECHNOLOGY INC) 10.07.2008	1-3, 5-50												
<p><input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы C. <input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении</p>														
<p>* Особые категории ссылочных документов:</p> <p>“А” документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным</p> <p>“D” документ, цитируемый заявителем в международной заявке</p> <p>“E” более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее</p> <p>“L” документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)</p> <p>“O” документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.</p> <p>“P” документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета</p> <p>“T” более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение</p> <p>“X” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности</p> <p>“Y” документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста</p> <p>“&” документ, являющийся патентом-аналогом</p>														
<p>Дата действительного завершения международного поиска</p> <p>28 сентября 2021 (28.09.2021)</p>		<p>Дата отправки настоящего отчета о международном поиске</p> <p>07 октября 2021 (07.10.2021)</p>												
<p>Наименование и адрес ISA/RU: Федеральный институт промышленной собственности, Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59, ГСП-3, Россия, 125993 Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37</p>		<p>Уполномоченное лицо: Токарев А.Г. Телефон № (495) 531-64-81</p>												

Графа II Замечания для случая, когда некоторые пункты формулы не подлежат поиску
(Продолжение пункта 2 первого листа)

Настоящий отчет о международном поиске не был подготовлен в отношении некоторых пунктов формулы в соответствии со статьей 17(2)(a) по следующим причинам:

1. пункты №:
т.к. они относятся к объектам, по которым данный Международный поисковый орган не обязан проводить поиск, а именно:

2. пункты №:
т.к. они относятся к частям международной заявки, настолько не соответствующим установленным требованиям, что по ним нельзя провести полноценный международный поиск, а именно:

3. пункты №: 4
т.к. они являются зависимыми пунктами и не составлены в соответствии со вторым и третьим предложениями Правила 6.4(a).

Графа III Замечания для случая несоблюдения единства изобретения
(Продолжение пункта 3 первого листа)

Настоящий Международный поисковый орган обнаружил несколько групп изобретений в данной международной заявке, а именно:

1. Т.к. все необходимые дополнительные пошлины были уплачены своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает все пункты формулы изобретения, по которым можно провести поиск.
2. Т.к. все пункты формулы, по которым можно провести поиск, могут быть рассмотрены без затрат, оправдывающих дополнительную пошлину, Международный поисковый орган не требовал оплаты дополнительной пошлины.
3. Т.к. только некоторые из требуемых дополнительных пошлин были уплачены заявителем своевременно, настоящий отчет о международном поиске охватывает лишь те пункты формулы, за которые была произведена оплата, а именно пункты №:

4. Необходимые дополнительные пошлины своевременно не были уплачены заявителем. Следовательно, настоящий отчет о международном поиске ограничивается группой изобретений, упомянутой первой в формуле изобретения; а именно пунктами №:

- Замечания по возражению**
- Уплата дополнительных пошлин за поиск сопровождалась возражением заявителя и, если применимо, уплатой пошлины за возражение.
 - Уплата дополнительных пошлин за поиск сопровождалась возражением заявителя, но соответствующие пошлины за возражение не были уплачены в течение срока, указанного в предложении.
 - Уплата дополнительных пошлин за поиск не сопровождалась возражением заявителя.