

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **047048**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

- |  |  |
|--|--|
| (45) Дата публикации и выдачи патента<br><b>2024.05.28</b> | (51) Int. Cl. <b>B07C 5/00</b> (2006.01)<br><b>G01C 11/18</b> (2006.01)<br><b>G01C 11/26</b> (2006.01)<br><b>G01B 11/03</b> (2006.01)<br><b>G01B 11/25</b> (2006.01)<br><b>H04N 13/204</b> (2018.01) |
| (21) Номер заявки<br><b>202393096</b>                      |  |
| (22) Дата подачи заявки<br><b>2023.12.04</b>               |  |

---

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА РАЗВАЛА ГОРНОЙ МАССЫ**

---

- |  |  |
|--|--|
| (31) <b>2023113622</b>   | (56) JP-A-2021008754,<br>А.В. ГОРЕВОЙ, В.Я. КОЛЮЧКИН:<br>"Методы восстановления трехмерной структуры объектов для многоканальных систем регистрации с использованием структурированной подсветки",<br>Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, сер.<br>"Приборостроение", 2012, с. 185-201, ISSN:<br>0236-3933, весь документ<br>US-A1-20200041264 |
| (32) <b>2023.05.25</b>   |  |
| (33) <b>RU</b>   |  |
| (43) <b>2024.05.23</b>   |  |
| (71)(73) Заявитель и патентовладелец:<br><b>ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ<br/>ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ<br/>"ДАВТЕХ" (RU)</b> |  |
| (72) Изобретатель:<br><b>Дремин Александр Владимирович,<br/>Марков Юрий Викторович (RU)</b>                    |  |
| (74) Представитель:<br><b>Левкин А.Ю. (RU)</b>   |  |

- 
- (57) Изобретение относится к способам определения гранулометрического состава развалов горной массы на основе изображений, полученных стереоскопической камерой. Сущность изобретения заключается в том, что определение геометрических параметров фрагментов развалов горной массы при определении гранулометрического состава развалов осуществляют на основе построенного объемного рельефа поверхности развалов горной массы. Технический результат, на достижение которого направлено изобретение, заключается в повышении точности определения размеров и количества кусков горной массы вычислительным блоком электронного устройства.

**B1**

**047048**

**047048**

**B1**

Изобретение относится к способам определения гранулометрического состава развала горной массы на основе изображений, полученных стереоскопической камерой, и может быть применено для автоматического измерения фракционного состава горной массы, разрушенной или раздробленной в результате взрывных и иных работ на карьерах, забоях и других объектах горной промышленности.

Анализ гранулометрического состава взорванной горной массы проводят с целью оптимизации временных и материальных затрат при проведении горных разработок, а также иных работах. Результаты анализа позволяют специалистам горной промышленности определять параметры взрывных работ, таких как шаг и глубина бурения скважин, а также с высокой точностью рассчитывать количество взрывчатого вещества, которое необходимо закладывать в скважины. Точное определение параметров взрывных работ позволит уменьшить затраты на избыточное бурение скважин и излишнее количество используемых взрывчатых веществ.

Из уровня техники известен способ определения гранулометрического состава развала горной массы [RU 2388998, дата публикации: 20.10.2009 г.]. При выполнении способа в любом доступном месте укладывают произвольно ориентируемый масштабирующий прямоугольник с произвольными выбранными длинами сторон, фотографируют развал горной массы под любым углом, фотопланограмму вводят в компьютер, на ней формируют четырехугольный расчетный контур произвольного размера и положения, оконтуривают площади кусков горной массы, задают классы крупности в пределах расчетного контура и с использованием компьютерной программы рассчитывают гранулометрический состав раздробленной горной массы путем отнесения площадей оконтуренных кусков горной массы к площади расчетного контура.

Недостатком известного технического решения является низкая безопасность и точность определения гранулометрического состава развала горной массы из-за необходимости применения в процессе фотосъемки масштабирующего прямоугольника, малоэффективного при малых углах наклона развала ввиду протяженности сцены фотосъемки в перспективу, а также необходимости нахождения персонала в опасных зонах развалов при размещении масштабирующего прямоугольника, что существенно снижает технологичность способа.

В качестве прототипа выбран способ определения гранулометрического состава развала горной массы [JP 7117273, дата публикации: 12.08.2022 г.]. В предложенном способе посредством стереоскопической камеры получают стереоизображение развала горной массы, выделяют участки на полученном изображении с помощью персонального компьютера, после чего попиксельно определяют размеры и количество кусков развала горной массы с применением нейронной сети и затем определяют гранулометрический состав развала горной массы.

Преимуществом прототипа перед известным техническим решением является его более высокая технологичность за счет получения снимков развала посредством стереоскопической камеры и определения размеров и количества кусков путем применения нейронной сети без необходимости размещения на развале масштабирующего прямоугольника, вследствие чего повышается точность и безопасность данного способа. Однако недостатком прототипа может являться недостаточно высокая точность определения размеров и количества кусков горной массы нейронной сетью, поскольку расстояние до фрагмента может быть вычислено не точно, а следовательно не точно может быть вычислен и его геометрический размер, вследствие чего может снижаться точность определения фракции и количества кусков развала и ее гранулометрического состава. Техническая проблема, на решение которой направлено изобретение, заключается в необходимости повышения точности определения гранулометрического состава развала горной массы.

Технический результат, на достижение которого направлено изобретение, заключается в повышении точности определения размеров и количества кусков горной массы вычислительным блоком электронного устройства.

Сущность изобретения заключается в следующем.

Способ определения гранулометрического состава развала горной массы заключается в том, что посредством стереоскопической камеры получают стереоизображение развала горной массы;

на основе полученного стереоизображения развала горной массы строят объемный рельеф поверхности развала горной массы, представляющий собой набор дальностей от матрицы стереоскопической камеры до выбранных участков поверхности развала горной массы и соответствующих им номерам строк и столбцов в матрице изображения, для чего

определяют величину пиксельного разнесения пары стереоизображений для выбранных участков развала горной массы;

определяют дальность от матрицы стереоскопической камеры до поверхности выбранных участков развала горной массы на основе величины пиксельного разнесения пары стереоизображений, величины углового размера пикселя матрицы и величины стереобазы камеры;

на основе построенного объемного рельефа поверхности развала горной массы определяют размеры кусков развала горной массы и их количество с применением нейронной сети;

определяют гранулометрический состав развала горной массы на основе размеров кусков развала горной массы и их количества.

Стереоскопическая камера обеспечивает построение изображения с пространственной глубиной с

помощью двух идентичных объективов, размещенных на расстоянии стереобазы друг от друга. В качестве вычислительного блока может быть представлен модуль обработки данных самой стереоскопической камеры либо может быть задействован вычислительный блок любого другого устройства, в том числе планшетного компьютера, смартфона, персонального компьютера, сервера и др.

Стереοизображение представляет собой стереопару плоских изображений одной и той же сцены, полученных под разным углом смещения. Стереοизображение развала горной массы могут получать путем установки стереоскопической камеры напротив развала посредством устройств крепления камеры или за счет фиксации на неподвижных предметах. Поскольку на изображении, полученном камерой, все объекты, в том числе и фрагменты горной массы, представляются в виде группы пикселей, необходимо обеспечить преобразование пиксельных размеров в линейные, для чего первоначально строят объемный рельеф поверхности развала горной массы. Объемный рельеф представляет собой набор дальностей от матрицы стереоскопической камеры до поверхности выбранных участков развала горной массы и соответствующих им номеров строк и столбцов в матрице изображения.

Для построения объемного рельефа поверхности на стереοизображении выбирают участки развала горной массы и для выбранных участков определяют величину пиксельного разнесения пары стереοизображений. Поскольку любое изображение представляет собой матрицу, состоящую из набора строк и столбцов, то величина пиксельного разнесения обеспечивает возможность получения данных о величине сдвига двух плоских изображений в некоторых строках или столбцах друг относительно друга. При этом для привязки выбранных участков поверхности развала горной массы к номерам строк и столбцов в матрице изображения могут использовать квадратную решетку, наложенную на стереοизображение, или иные методы. Участки поверхности развала горной массы при этом могут выбирать рядом с узлами квадратной решетки. При этом величину пиксельного разнесения могут вычислять на основе сдвига максимума построчной или постолбцовой взаимной корреляционной функции (ВКФ) относительно нуля, в которую подставляют содержимое строк или столбцов выбранного участка на стереοизображении с одним и тем же номером строки и столбца в матрице изображения.

После этого определяют дальность от матрицы стереоскопической камеры до поверхности каждого выбранного участка развала горной массы. Для этого используют полученную ранее величину пиксельного разнесения пары стереοизображений, величину углового размера пикселя матрицы и величину стереобазы камеры. При этом для каждого выбранного участка и соответствующей ему дальности рассчитывают свою величину пиксельного разнесения. Под величиной углового размера (угловым разрешением) пикселя матрицы подразумевается отношение полного угла зрения камеры к ее разрешению по соответствующей оси. Под стереобазой подразумевается расстояние между оптическими центрами объективов стереоскопической камеры, сведения о котором содержатся в технической документации к используемой стереоскопической камере. Определение геометрических параметров осуществляют на основе построенного объемного рельефа поверхности горной массы. Для этого сначала строят аппроксимацию рельефа откоса ко всей поверхности развала на изображении, что позволяет определить угол наклона откоса к оптической оси камер и рассчитать калибровочные коэффициенты для перевода пиксельных размеров кусков в линейные.

Аппроксимация может быть построена по известному в математике методу наименьших квадратов (МНК) путем решения дифференциального уравнения. Возможно построение двумерной аппроксимации в центральной плоскости вертикального сечения, при которой рассчитывают параметры прямой, имеющей наименьшее среднеквадратичное отклонение от рельефа поверхности. Дополнительно для повышения точности определения размеров и количества кусков развала горной массы вычислительным блоком электронного устройства может быть осуществлено построение трехмерной аппроксимации плоскостью по всему объему в кадре, при которой рассчитанные параметры плоскости будут иметь минимальное среднеквадратическое отклонение от неровной поверхности развала и позволят получить наиболее точные значения точности измерения размеров кусков при сравнительно невысокой ресурсоемкости вычислений.

На основе параметров аппроксимации затем определяют расстояние от матрицы стереоскопической камеры до каждой точки поверхности развала на стереοизображении и на его основе рассчитывают эквивалентное пиксельное разнесение для данной точки, получая за счет этого калибровочные коэффициенты для каждой точки. Полученные калибровочные коэффициенты используют для определения размеров всех обнаруженных кусков.

Построенную аппроксимацию затем используют для определения калибровочных коэффициентов для всех участков поверхности развала горной массы, что позволяет осуществить построение объемного рельефа на основе ВКФ только единожды, что снижает ресурсоемкость вычислений.

Размеры и количество кусков развала горной массы определяют на основе построенного объемного рельефа поверхности развала горной массы с применением нейронной сети, что позволяет определить контуры размеров кусков горной массы и подсчитать количество пикселей внутри каждого фрагмента. Количество пикселей при этом может быть приведено к линейным размерам контура, исходя из кубической модели фрагмента. Для повышения точности определения размеров и количества кусков развала горной массы вычислительным блоком электронного устройства в качестве нейронной сети могут применяться нечеткие нейронные сети.

На основе полученных данных определяют гранулометрический состав развала горной массы. Для этого может быть применен статистический анализ, в результате которого данные выводятся в виде графиков, гистограмм и диаграмм, основанных на подсчете количества кусков массы различных размеров.

Изобретение может быть выполнено из известных материалов с помощью известных средств, что свидетельствует о его соответствии критерию патентоспособности "промышленная применимость".

Изобретение характеризуется ранее неизвестной из уровня техники совокупностью существенных признаков, отличающейся тем, что

на основе полученного стереоизображения развала горной массы строят объемный рельеф поверхности развала горной массы, для чего

определяют величину пиксельного разнесения пары стереоизображений для выбранных участков развала горной массы;

определяют дальность от матрицы стереоскопической камеры до поверхности выбранных участков развала горной массы на основе величины пиксельного разнесения пары стереоизображений, величины углового размера пикселя матрицы и величины стереобазы камеры;

размеры и количество кусков развала горной массы определяют на основе построенного объемного рельефа поверхности развала горной массы с применением нейронной сети.

Совокупность существенных признаков изобретения обеспечивает возможность построения объемного рельефа поверхности развала горной массы в дискретном виде, на основании которого с высокой точностью рассчитываются калибровочные коэффициенты, позволяющие перевести пиксельные размеры размеров кусков горной массы в линейные, что, в свою очередь, позволяет с высокой точностью определить контуры, а на их основе размеры, а также количество кусков горной развала посредством нейронной сети.

Благодаря этому обеспечивается достижение технического результата, заключающегося в повышении точности определения размеров и количества кусков развала горной массы вычислительным блоком электронного устройства, тем самым повышается точность определения гранулометрического состава развала горной массы.

Изобретение обладает ранее неизвестной из уровня техники совокупностью существенных признаков, что свидетельствует о его соответствии критерию патентоспособности "новизна".

Из уровня техники не известен предложенный авторами настоящего изобретения принцип построения объемного рельефа поверхности развала горной массы, представляющего собой набор дальностей от матрицы стереоскопической камеры до поверхности выбранных участков развала горной массы и соответствующих им номерам строк и столбцов в матрице изображения, на основе которого впоследствии определяют размеры и количество кусков развала горной массы, позволяющий с высокой точностью определить гранулометрический состав развала горной массы на основе стереоизображения.

Ввиду этого изобретение соответствует критерию патентоспособности "изобретательский уровень".

Изобретение поясняется следующими фигурами.

На фиг. 1 показано схематическое изображение рельефа развала горной массы, на котором изображены дальности от матрицы стереоскопической камеры до выбранных участков развала, плоскость трехмерной аппроксимации рельефа откоса, а также оптическая ось стереоскопической камеры.

На фиг. 2 показан алгоритм определения электронным вычислительным устройством гранулометрического состава развала горной массы.

Для иллюстрации возможности реализации и более полного понимания сути изобретения ниже представлен вариант его осуществления, который может быть любым образом изменен или дополнен, при этом настоящее изобретение ни в коем случае не ограничивается представленным вариантом.

Система для определения гранулометрического состава развала горной массы включает стереоскопическую камеру 100, установленную на треноге напротив развала горной массы, и вычислительный блок электронного устройства.

Способ определения гранулометрического состава развала горной массы осуществляют следующим образом.

После проведения буро-взрывных работ напротив образовавшейся развала устанавливают стереоскопическую камеру 100 и на этапе 200 получают стереоизображение поверхности развала горной массы, которое затем обрабатывают с помощью вычислительного блока, осуществляя стереоскопический анализ полученного изображения. Одновременно с этим вычислительный блок на основе нейронной сети проводит контурный анализ снимков и определяет количество кусков породы в кадре и пиксельные размеры (количество пикселей в контуре)  $P_s$  для каждого контура куса породы. Исходя из кубической модели фрагмента можно определить линейные размеры кусков породы как

$$P_k = \sqrt[3]{P_s}$$

В процессе обработки стереоизображения первоначально на этапе 300 определяют величину AP пиксельного разнесения пары стереоизображений для выбранных участков развала горной массы. Для привязки выбранных участков поверхности развала горной массы к определенным номерам строк и столбцов в матрице изображения используют узлы квадратной решетки, наложенной на изображение.

Поскольку цифровое стереоизображение представляет собой прямоугольную матрицу, состоящую

из определенного числа строк и столбцов, то для определения величины  $\Delta P$  вычисляют построчную или постолбцовую (при вертикальном измерении) взаимную корреляционную функцию (ВКФ) в пределах выбранных в узлах квадратной решетки участков поверхности в виде

$$S(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\tau)S_2(t - \tau)d\tau,$$

или в дискретном виде

$$S(i) = \sum_j S_{1j}S_{2i+j},$$

где  $S_1$  и  $S_2$  - содержимое одних и тех же строк двух изображений участков поверхности, выбранных рядом с узлами квадратной решетки.

Поскольку при съемке одной и той же сцены стереоскопической камерой 100 с разных ракурсов содержимое одних и тех же строк двух изображений будет иметь высокий уровень взаимной корреляции, то в ВКФ различим хорошо заметный максимум. При этом сдвиг максимума ВКФ относительно нуля равен сдвигу строк друг относительно друга, т.е. пиксельному разнесению. Таким образом, для каждого участка поверхности развала вычисляют свое пиксельное разнесение  $\Delta P$ .

После этого на этапе 400 осуществляют построение объемного рельефа поверхности развала горной массы. Для этого определяют величины дальностей  $H_n$  (поз. 410) от матрицы стереоскопической камеры до поверхности каждого выбранного участка развала горной массы.

Для этого используют полученную величину  $\Delta P$  пиксельного разнесения пары стереоизображений, величину углового размера пикселя матрицы и величину стереобазы камеры (расстояние между оптическими центрами объективов камеры). Величину последнего параметра берут из технической документации к используемой стереоскопической камере.

Для определения дальности  $H_n$  до каждого выбранного участка используют следующее выражение:

$$H_n = \frac{\Delta L}{\tan(\Delta P \cdot \alpha_p)},$$

где  $\Delta L$  - величина стереобазы камеры;

$\alpha_p$  - величина углового размера пикселя матрицы камеры, который вычисляют как отношение полного угла зрения камеры к ее разрешению по соответствующей оси.

На этапе 500 определяют размеры и количество кусков развала горной массы. Для этого используют полученные величины дальностей  $H_n$  и на их основе строят трехмерную аппроксимацию рельефа 505 откоса, образованного плоскостью 510, ко всему объему в кадре, а также определяют угол наклона плоскости 510 к оптической оси 515 объектива камеры 100. В случае построения трехмерной аппроксимации рассчитанные параметры плоскости имеют минимальное среднеквадратическое отклонение от неровной поверхности развала и позволяют получить наиболее точные значения точности измерения размеров кусков при сравнительно невысокой ресурсоемкости вычислений.

На основе параметров плоскости 510 рассчитывают расстояние  $H_n$  от матрицы стереоскопической камеры 100 до каждой точки поверхности развала и на его основе рассчитывают эквивалентное пиксельное разнесение  $\Delta P'$  для данной точки, используя следующее выражение:

$$\Delta P' = \frac{1}{\alpha_p} \cdot \arctan\left(\frac{\Delta L}{H}\right),$$

где  $\Delta L$  - величина стереобазы камеры;

$\alpha_p$  - величина углового размера пикселя матрицы камеры.

На основе величины  $\Delta P'$  определяют калибровочный коэффициент  $l$  для данной точки, используя для этого следующее выражение:

$$l = \frac{\Delta L}{\Delta P'},$$

где  $\Delta L$  - величина стереобазы камеры;

$\Delta P'$  - эквивалентное пиксельное разнесение для данной точки.

На основе полученного калибровочного коэффициента  $l$  определяют размеры  $L_k$  всех обнаруженных размеров кусков, используя для этого выражение:

$$L_k = l \cdot P_k,$$

где  $P_k$  - пиксельные размеры фрагмента.

Построенная аппроксимация позволяет с высокой точностью определять калибровочные коэффициенты для всех участков, без необходимости проводить высокоточный расчет ВКФ для каждого отдельного участка.

При этом на основе величины  $\Delta P'$  для каждого участка поверхности определяют калибровочный коэффициент для этого участка и определяют размеры всех обнаруженных кусков.

На этапе 600 определяют гранулометрический состав развала горной массы, для чего применяют статистический метод. Для представления результатов результаты размеров кусков и их количество отображают на графиках, таблицах или гистограммах, тем самым получая информацию о гранулометрическом составе развала.

Таким образом, обеспечивается достижение технического результата, заключающегося в повышении точности определения размеров и количества кусков развала горной массы вычислительным блоком

электронного устройства, тем самым повышается точность определения гранулометрического состава развала горной массы.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения гранулометрического состава развала горной массы, заключающийся в том, что

посредством стереоскопической камеры получают стереоизображение развала горной массы;

на основе полученного стереоизображения развала горной массы строят объемный рельеф поверхности развала горной массы, представляющий собой набор дальностей от матрицы стереоскопической камеры до выбранных участков поверхности развала горной массы и соответствующих им номерам строк и столбцов в матрице изображения, для чего

определяют величину пиксельного разнесения пары стереоизображений для выбранных участков развала горной массы;

определяют дальность от матрицы стереоскопической камеры до поверхности каждого выбранного участка развала горной массы на основе величины пиксельного разнесения пары стереоизображений, величины углового размера пикселя матрицы и величины стереобазы камеры;

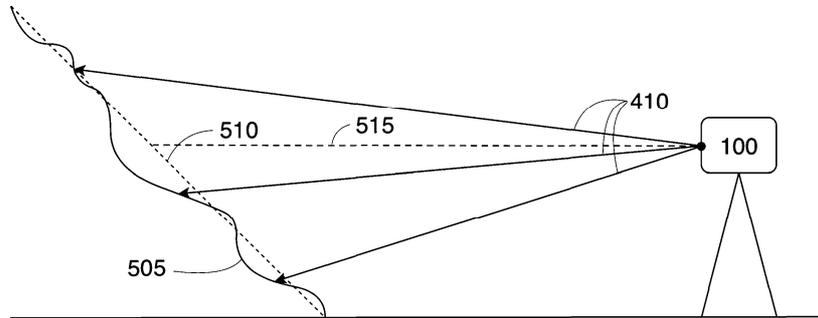
на основе построенного объемного рельефа поверхности определяют размеры и количество кусков развала горной массы с применением нейронной сети;

определяют гранулометрический состав развала горной массы на основе размеров кусков развала горной массы и их количества.

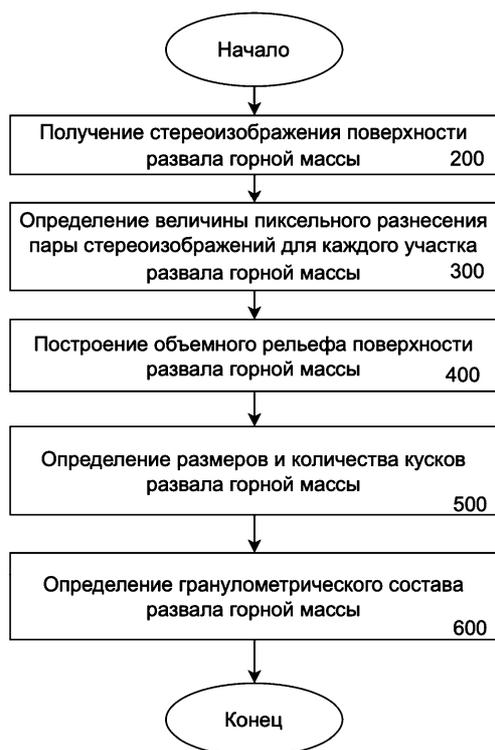
2. Способ по п.1, при выполнении которого величину пиксельного разнесения пары стереоизображений вычисляют на основе сдвига максимума построчной или постолбцовой взаимной корреляционной функции относительно нуля, в которую при этом подставляют содержимое строк или столбцов выбранного участка на стереоизображении с одним и тем же номером.

3. Способ по п.1, при выполнении которого в процессе определения размеров и количества кусков развала горной массы строят трехмерную аппроксимацию рельефа откоса плоскостью ко всей поверхности развала на стереоизображении.

4. Способ по п.1, при выполнении которого в процессе определения размеров и количества кусков развала горной массы применяют нечеткие нейронные сети.



Фиг. 1



Фиг. 2