

В.А. Еременко**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ПОИСКА ГРАНИЦ
ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ
ДЕФОРМИРУЕМОЙ СКВАЖИНЫ***

Для оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород при подземной разработке рудных участков месторождений применен алгоритм поиска границ для обнаружения границ деформируемой скважины, удовлетворяющий трем критериям: хорошее обнаружение, хорошая локализация и единственный отклик на одну границу. Данный алгоритм позволяет определять в натуральных условиях параметры деформирования скважин и рассчитывать относительные деформации напряженного массива горных пород, а также определить направление действия максимальных напряжений.

Ключевые слова: скважина, массив горных пород, деформации, алгоритм поиска границ деформируемой скважины, градиент.

При съемке видеоэндоскопом скважин в натуральных условиях на удароопасных рудниках Горой Шории и Хакасии получены снимки деформируемых скважин [1, 2] (рис. 1). В реальных условиях для облегчения дальнейших расчетов деформаций массива горных пород фото и видео данные необходимо качественно обрабатывать. Для этого больше всего подходит алгоритм определения границ объектов на изображении [3].



Рис. 1. Деформируемая скважина диаметром 105 мм

Детектор границ – это оператор обнаружения границ изображения. Для выявления границ деформируемой скважины использован многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра границ в изображениях. Проведены исследования математической проблемы получения фильтра, оптимального по критериям выделения, локализации и минимизации нескольких откликов одного края сегмента изображения. Доказано, что искомым фильтром является суммой четырех экспонент. Также, что этот фильтр может быть хорошо приближен первой производной гауссианы [3]. Введено понятие подавления не максимумов, которое означает, что пикселями границ объявляются пиксели, в которых достигается локальный максимум градиента в направлении вектора градиента.

Развитие алгоритма:

Целью является применение оптимального алгоритма обнаружения границ деформируемой скважины, удовлетворяющего трем критериям:

* Работа выполнена в рамках государственного контракта Российского научного фонда – грант № 14-37-00050.

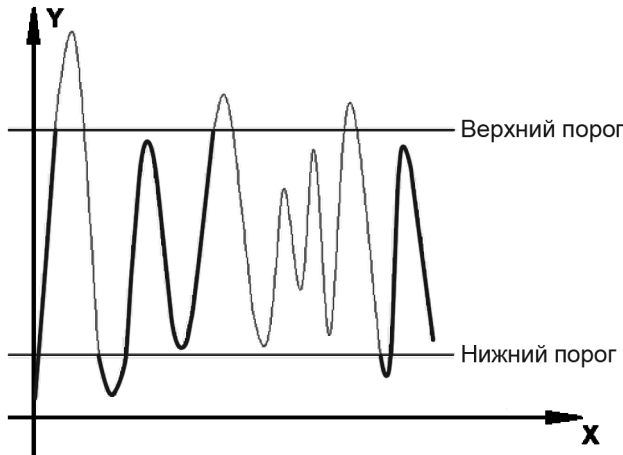


Рис. 2. Удаление слабых границ изображения деформируемой скважины: X – время прослеживания фрагмента границы; Y – значение градиента на прослеживаемом фрагменте

- хорошее обнаружение (повышенные отношения сигнал/шум);
- хорошая локализация (правильное определение положения границы);
- единственный отклик на одну границу.

Из этих критериев затем строится целевая функция стоимости ошибок, минимизацией которой находится «оптимальный» линейный оператор для свертки с изображением деформируемой скважины. Алгоритм детектора границ не ограничивается вычислением градиента сглаженного изображения. В контуре границы оставляются только точки максимума градиента изображения, а не максимальные точки, лежащие рядом с границей, удаляются. Здесь также используется ин-

формация о направлении границы для того, чтобы удалять точки именно рядом с границей и не разрывать саму границу вблизи локальных максимумов градиента. Затем с помощью двух порогов удаляются слабые границы (рис. 2). Фрагмент границы при этом обрабатывается как целое. Если значение градиента где-нибудь на прослеживаемом фрагменте превысит верхний порог, то этот фрагмент остается также «допустимой» границей и в тех местах, где значение градиента падает ниже этого порога, до тех пор, пока она не станет ниже нижнего порога. Если на всем фрагменте нет ни одной точки со значением большим верхнего порога, то он удаляется. Такой гистерезис позволяет снизить число разры-

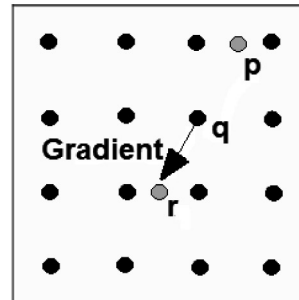
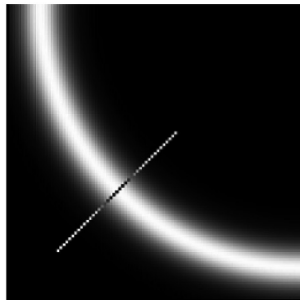


Рис. 3. Поиск локальных максимумов

вов в выходных границах. Включение в алгоритм шумоподавления с одной стороны повышает устойчивость результатов, а с другой – увеличивает вычислительные затраты и приводит к искажению и даже потере подробностей границ. Так, например, таким алгоритмом скругляются углы объектов и разрушаются границы в точках соединений.

При определении границ используются два порога: для уменьшения влияния шума для инициализации кривой – верхний порог, и чтобы «не потерять хвост», используется нижний порог при прослеживании.

Проверяя, является ли пиксель локальным максимумом вдоль направления вектора градиента, приходится интерполировать «нецелые» пиксели p и r (рис. 3).

Основные этапы алгоритма:

1. Сглаживание. Размытие изображения для удаления шума. Детектор использует фильтр, который может быть хорошо приближен к первой производной гауссианы [3], например, для сетки 5×5 , $\sigma = 1,4$:

$$B = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \cdot A.$$

2. Поиск градиентов. Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение. Они могут иметь различное направление, поэтому алгоритм в методе использует четыре фильтра для обнаружения горизонтальных, вертикальных и диагональных ребер в размытом изображении (G – значение вектора градиента):

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2},$$

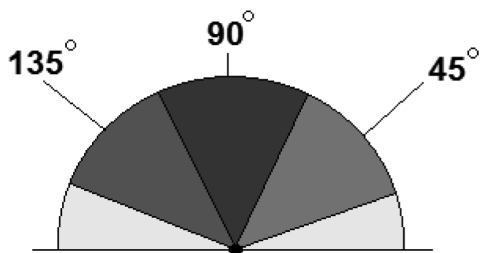


Рис. 4. Направление вектора градиента

где G_x , G_y – значение градиента изображения для первой производной в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Угол направления вектора градиента (θ) округляется и может принимать значения: 0° , 45° , 90° , 135° (рис. 4):

$$\theta = \text{arctg} \left(\frac{G_y}{G_x} \right).$$

Затем идет проверка того, достигнет ли величина градиента локального максимума в соответствующем направлении. Так, например, для сетки 3×3 :

- если угол направления градиента равен нулю, точка будет считаться границей, если ее интенсивность больше чем у точки выше и ниже рассматриваемой точки;
- если угол направления градиента равен 90° , точка будет считаться границей, если ее интенсивность больше чем у точки слева и справа рассматриваемой точки;
- если угол направления градиента равен 135° , точка будет считаться границей, если ее интенсивность больше чем у точек, находящихся в верхнем левом и нижнем правом углу от рассматриваемой точки;
- если угол направления градиента равен 45° , точка будет считаться границей, если ее интенсивность больше чем у точек, находящихся в верхнем правом и нижнем левом углу от рассматриваемой точки.

3. Подавление не максимумов. Только локальные максимумы отмечаются как границы.



Рис. 5. Определение границ деформирования скважины с помощью алгоритма поиска границ

4. Двойная пороговая фильтрация. Потенциальные границы определяются порогами.

5. Трассировка области неоднозначности. Итоговые границы определяются путем подавления всех краев, несвязанных с определенными (сильными) границами. Перед применением детектора обычно преобразуют изображение в оттенки серого, чтобы уменьшить вычислительные затраты. Этот этап характерен для многих методов обработки изображений.

После картирования скважин в природных условиях в дальнейшем производится обработка полученного материала и далее проводится графическая интерпретация результатов для изучения геометрии деформирования скважин и шпуров, развития трещиноватости. Используя алгоритм поиска границ для обнаружения границ деформируемой скважины, представленной на фото и видеоматериалах можно получить изображение, на котором хорошо видны все границы де-

формируемой скважины и посчитать относительные деформации, а также определить направление действия максимальных напряжений (рис. 5) [1]. Первоначально определяются границы исследуемого участка. Далее строится его графическое изображение с нанесением, например, схемы сжатия участка или сдвига.

В результате проведенных исследований установлено, что применение алгоритма поиска границ для обнаружения границ деформируемой скважины позволяет получить изображение, удовлетворяющее трем критериям: хорошее обнаружение границ; хорошая локализация (правильное определение положения границы) и единственный отклик на одну границу. Данный алгоритм позволяет определять в природных условиях параметры деформирования скважин и рассчитывать относительные деформации напряженного массива горных пород, а также определить направление действия максимальных напряжений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еременко В.А., Есина Е.Н., Семякин Е.Н. Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 42–47.

2. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шо-

рии, склонных и опасных по горным ударам. ИГД СО РАН, ОАО «Евразруда». – Новосибирск-Новокузнецк, 2015. – 60 с.

3. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Trans. PAMI. – 1986. – V. 8. – P. 34–43. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Еременко Виталий Андреевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: eremenko@ngs.ru, ИГКОН РАН.

UDC 622.831 + 622.2

SAFETY INSTRUCTIONS ON ROCKBURST-HAZARDOUS UNDERGROUND MINING IN GORNAYA SHORIA

Eremenko V.A., Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, e-mail: eremenko@ngs.ru.

To evaluate the stress-strain state of rock mass in underground development of ore deposits of parts of the new algorithm for search boundaries to detect boundary of a deformable wells that meet three criteria: good detection, good localization and single response to a single border. This algorithm allows to determine in situ the parameters of the deformation wells and calculate the relative deformation of hard rocks, as well as to determine the direction of action of maximal stresses.

Key words: well, the rock mass, the deformation, the algorithm for finding boundaries of a deformable well, gradient.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. № 14-37-00050.

REFERENCES

1. Eremenko V.A., Esina E.N., Semenyakin E.N. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 42–47.
2. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh работ na mestorozhdeniyakh Gornoy Shorii, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* (Guidelines for the safe conduct of mining operations on the deposits of Mountain Shoria, prone and dangerous mountain blows), Novosibirsk-Novokuznetsk, IGD SO RAN, ОАО «Evrazruda», 2015, 60 p.
3. Canny J. *A computational approach to edge detection*. IEEE Trans. PAMI. 1986. V. 8, pp. 34–43.



ИНФОРМАЦИЯ

На очередном совещании антикризисной группы издательства «Горная книга» приняты следующие решения:

1. Изменить формат издания журнала с 70×100/16 на 60×90/16 в целях сохранения стоимости подписки на следующий год на уровне 2015 г.
2. Переместить склад книжной продукции в помещение с более низкой арендной ставкой.
3. Оптимизировать структуру подразделений Издательства.