

Определение гранулометрического состава результата буровзрывных работ в карьере с применением нейронных сетей

О. Гордиенко¹, Д.А. Полещенко², И.С. Михайлов¹, В.Е. Климов¹

*¹Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСИС», Россия,
г. Старый Оскол*

*²Губкинский филиал Национального исследовательского технологического
университета «МИСИС», Россия, г. Губкин*

Аннотация: В работе описаны результаты исследования методов определения гранулометрического состава результата буровзрывных работ с применением нейронных сетей сегментации Unet и FPN. Разработан метод классификации горной руды по крупности с точностью 0,91.

Ключевые слова: гранулометрический состав, Unet, FPN.

Введение

При добыче горных пород могут применяться различные методы, например, проходка, проходка тоннелей и буровзрывной метод. Последний на сегодня является наиболее широко используемым и имеет преимущества перед остальными.

Показателем качественно проведенных буровзрывных работ являются равномерный гранулометрический состав взорванной горной массы – процент осколков негабаритного размера при этом должен быть минимальным.

Куски руды, размер которых превышает содержание в руде, называются негабаритом. Количество негабаритных кусков в процентах от общего объема руды в горном блоке называется выходом негабарита. Обычно он не превышает 5-10%, но при плохих условиях добычи может достигать 30%.

В связи с описанными условиями для гранулометрического состава руды после буровзрывных работ мониторинг и контроль качества является актуальной, важной и экономически выгодной задачей, что подтверждается исследованиями [1-3].

1. Анализ существующих методов

Определения размеров руды классическим методом включает в себя физическое осаждение и искусственный отсев [4, 5]. Данные методы имеют широкое применение и являются адаптируемыми, но имеют высокие трудовые затраты, а также человеческий фактор приводит к ошибкам, допускаемым операторами.

В работе [6] предложен метод оперативной оценки качества дробления горных пород взрывным способом при помощи лазерного сканирования.

В связи с развитием беспилотных летательных аппаратов и алгоритмов машинного зрения, появилась возможность проводить оценку больших территорий. Для обработки изображений были выбраны сети Unet [7] и FPN [8], рассмотренные в работах для семантической сегментации кусков руды [9, 10].

2. Исследование методов решения задачи

С помощью беспилотного летательного аппарата получены снимки буровзрывных работ разрешением 3936x5248 пикселей. В связи с отсутствием необходимых мощностей для обработки картинки данного разрешения, принято решение о рассмотрении следующих методов.

Первый метод основан на разрезании изображения на фрагменты разрешением 224x224 для подачи на НС без потери качества. Второй метод основан на изменении разрешения путем сжатия изображения, т.е., уменьшения количества пикселей.

2.1. Метод разрезания изображений

Перед разрезанием необходимо подготовить изображения для работы с нейронной сетью сегментации, то есть привести к виду мультиклассовой маски.

На рисунке 1 представлены пример исходного и размеченного изображений. Разметка представлена следующими классами: серый цвет – поверхность камня, белый цвет – границы камня, черный цвет – фон.

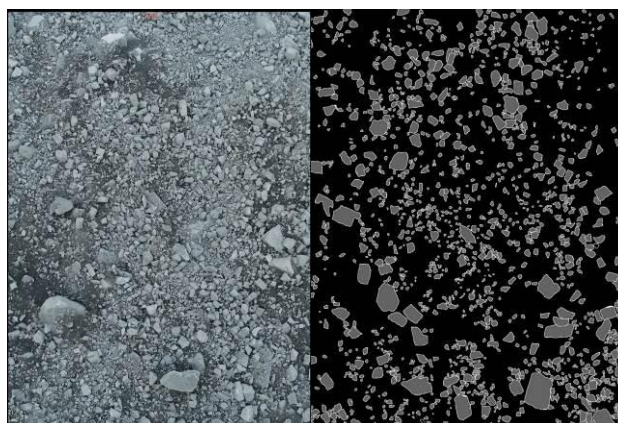


Рис. 1. – Исходное и размеченное изображения

После подготовки данных, в обучающую выборку вошло 26197 изображений разрешением 224x224. Для упрощения работы с нейронной сетью произведена корректировка цветов: RGB(0,0,0) – фон, RGB(1,1,1) – поверхность камня, RGB(2,2,2) - граница камня.

Сети Unet и FPN обучены на полученных данных. Графики зависимости ошибки и точности от эпохи обучения приведены на рисунке 2.

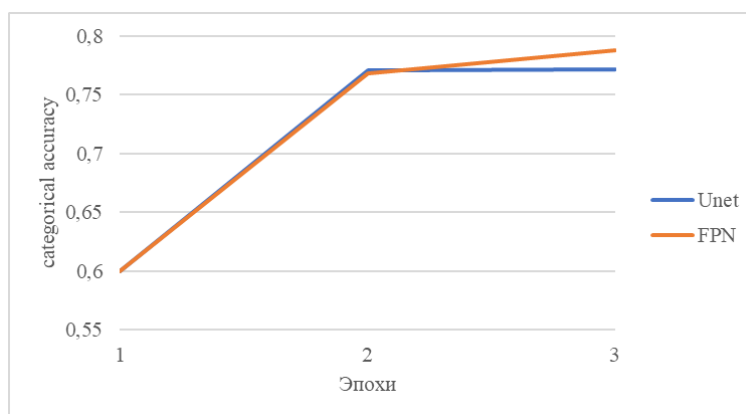


Рис. 2. – Графики зависимости точности от эпохи обучения

На вход сети подаются части фотографии размером 224x224 после разрезания исходной с разрешением 3936x5248, далее выходные изображения объединяются в одно для определения гранулометрического состава.

Определена процентная зависимость совпадающих пикселей поверхности подаваемого на нейронную сеть изображения и выходного путем попиксельного сравнения (см. таблицу 1).

Таблица № 1

Таблица процентной зависимости совпадающих пикселей

Модели	Кол-во пикселей входного изображения	Кол-во пикселей выходного изображения	Точность, %
Unet	4 828 820	3 894 579	80,65
FPN	4 828 820	4 035 640	83,57

По результатам тестирования моделей наилучшее качество показала FPN-сеть. На рисунке 3 представлены изображения разрешением 224x224 до и после обработки сетью FPN.

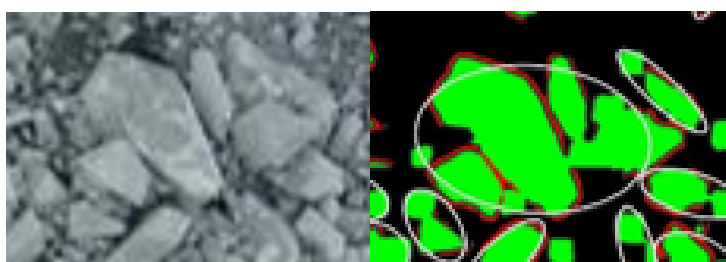


Рис. 3. – Исходное и обработанное изображение

При подходе с разрезанием изображения нейронная сеть корректно определяет камни малого размера, но целью данной работы было выявление крупногабаритных камней. При таком подходе сегментации на рисунке 3 на обработанном изображении несколько объектов могут быть определены, как один, что является проблемой.

2.2. Метод сжатия изображений

Данный метод основан на изменении разрешения картинку путем ее сжатия до меньших размеров. В связи с выявленной проблемой определения крупногабаритных камней принято количество классов было увеличено до 5. Тем самым будет происходить не только сегментация по различным областям, но и классификация по размерам камня. Пример размеченного изображения

представлен на рисунке 4. Описание классов разметки для обучающей выборки: черный – фон, белый - граница камня, серый – малые камни, синий – средние камни, красный – большие камни.

Для упрощения работы с нейронной сетью будет, произведено изменение цветов: RGB(0,0,0) – фон, RGB(4,4,4) - граница камня, RGB(1,1,1) – малые камни, RGB(2,2,2) – средние камни, RGB(3,3,3) – большие камни.

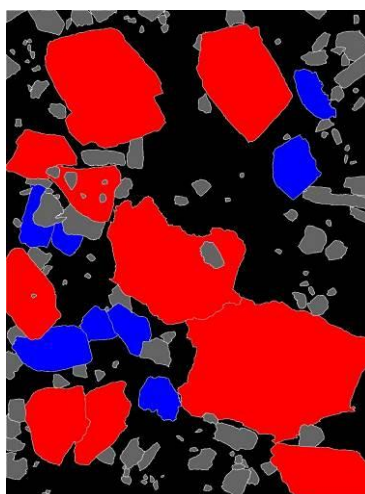


Рис. 4. – Размеченное изображение

Проделаны эксперименты для сети FPN с разными разрешениями и с использованием разных предобученных оснований. Результаты сведены в таблицу 2.

Таблица № 2

Сводная таблица результатов экспериментов

Разрешение	Предобученное основане	Доля верных ответов
224x224 Eb0	Efficientnetb0	0,83
224x224 Eb7	Efficientnetb7	0,85
640x480 Eb0	Efficientnetb0	0,80
640x480 Eb5	Efficientnetb5	0,86
1120x1504 Eb0	Efficientnetb0	0,90
1120x1504 Eb2	Efficientnetb2	0,91

Наилучший результат показала модель с входным разрешением 1120x1504 и предобученным основанием Efficientnetb2. Результат работ сети

представлен на рисунке 5, где маска представлена следующими цветами: черный – фон, красный - граница камня, зеленый – малые камни, синий – средние камни, желтый – большие камни.

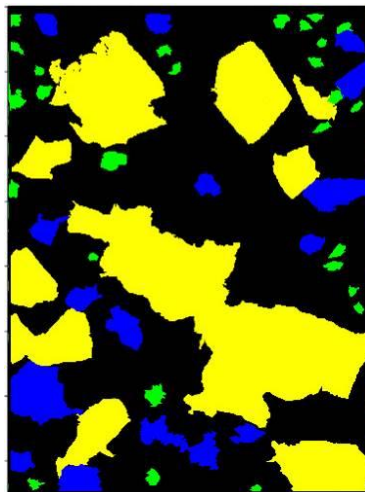


Рис. 5. – Результат работы сети

Результат работы нейронной сети был разделен на классы и обработан с помощью метода OpenCV (рисунок 6).

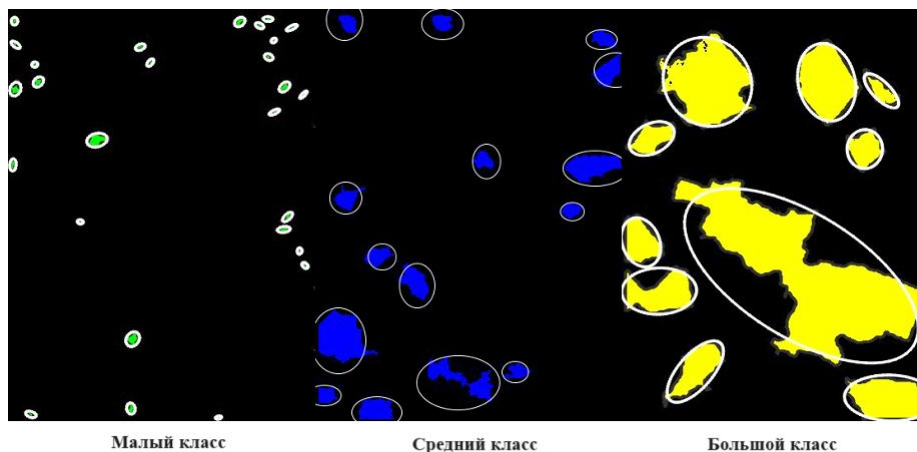


Рис. 6. – Выделение классов камней и применение OpenCV

Реализация с помощью уменьшения разрешения показала себя лучше первого метода, так как получилось осуществить разделение камней по крупности с помощью нейронной сети. Также наблюдается увеличение доли верных ответов с увеличением разрешения картинки. В результате нейронной сети удалось сегментировать камни по крупности. Определено,

что увеличение степени сжатия негативно сказывается на качестве сегментации.

Заключение

В ходе работы исследованы, обучены и протестированы нейронные сети сегментации FPN и Unet. Разработан метод классификации горной руды по крупности, обеспечивающий точность доли верных ответов более 91%.

Ожидаемым результатом внедрения автоматического определения гранулометрического состава буровзрывных работ является возможность более точного контроля за качеством буровзрывных работ.

Литература

1. Хурэлчулуун И., Морозов В. В., Николаева Т. С., Круглов В. Н. Применение визиометрического анализа гранулометрического состава руды для автоматизированного управления процессом дробления // Руды и металлы. – 2019. – №. 1. – С. 67-73.

2. Хурэлчулуун И. Повышение эффективности рудоподготовки на основе применения непрерывного визиометрического анализа гранулометрического состава продуктов дробления и грохочения: дис. – Хурэлчулуун И. Москва, 2019. – С. 127.

3. Gorbunova N., Kapitonova I., Mirkushov O. Comparative Analysis Rock Mass after Explosions in the Quarry Liqhobong // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2021. – V. 720. – №. 1. – pp. 012080.

4. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. – 1987. – С. 264.

5. Асташкин Д. А. Особенности определения гранулометрического состава пород различными методами // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – №. 5. – С. 78-82.

6. Добрынин А. А., Добрынин И. А. Метод оперативной оценки качества дробления горных пород взрывным способом // Записки Горного института. – 2009. – Т. 180. – С. 71-74.

7. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18. – Springer International Publishing, 2015. – pp. 234-241.

8. Lin T. Y., Dollár P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. Feature pyramid networks for object detection // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2017. – pp. 2117-2125.

9. Корнев А. В., Михайлов И. С., Устимов В. Ю., Полещенко Д. А. О сегментации кусков руды после взрыва в карьере на фотографии // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство: материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 17 декабря 2021 года. Том 1. – Старый Оскол: СТИ НИТУ "МИСиС", 2021. – С. 621-626.

10. Корнев А. В., Михайлов И. С., Устимов В. Ю., Полещенко Д. А. Перспективы нейросетевой сегментации кусков руды после взрыва в карьере на фотографии // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство : материалы восемнадцатой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Старый Оскол, 17 декабря 2021 года. Том 1. – Старый Оскол: СТИ НИТУ "МИСиС", 2021. – С. 627-630.

References

1. Khurelchuluun I., Morozov V. V., Nikolaeva T. S., Kruglov V. N. Rudy i metally. 2019, no. 1, pp. 67-73.

2. Khurelchuluun I. dis. Khurelchuluun I. Povyshenie effektivnosti rudopodgotovki na osnove primeneniya nepreryvnogo viziometricheskogo analiza granulometricheskogo sostava produktov drobleniya i grokhocheniya [Increasing the efficiency of ore preparation based on the use of continuous viziometric analysis of the particle size distribution of crushing and screening products]. Moskva, 2019, p. 127.

3. Gorbunova N., Kapitonova I., Mirkushov O. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021, vol. 720, № 1, p. 012080.

4. Kouzov P. A. Osnovy analiza dispersnogo sostava promyshlennykh pyley i izmel'chennykh materialov [Fundamentals of analysis of the dispersed composition of industrial dusts and crushed materials]. 1987, p. 264.

5. Astashkin D. A. Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. 2010, no. 5, pp. 78-82.

6. Dobrynin A. A., Dobrynin I. A. Zapiski Gornogo instituta, 2009, vol. 180, pp. 71-74.

7. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18. Springer International Publishing, 2015, pp. 234-241.

8. Lin T. Y., Dollár P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2017, pp. 2117-2125.

9. Korenev A. V., Mikhaylov I. S., Ustimov V. Yu., Poleshchenko D. A. Nauka i proizvodstvo: materialy vosemnadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Staryy Oskol, 17 dekabrya 2021 goda. Vol. 1. Staryy Oskol: STI NUST "MISiS", 2021, pp. 621-626

10. Korenev A. V., Mikhaylov I. S., Ustimov V. Yu., Poleshchenko D. A. Sovremennye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Nauka i



производство: материалы вosemnadtsatoy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Staryy Oskol, 17 dekabrya 2021 goda. Vol. 1. Staryy Oskol: STI NUST "MISiS", 2021, pp. 627-630.