

УДК 681.518.5

**С.И. Скрипниченко¹, С. М. Нехамин¹,
С.А.К. Диане², Е.А. Лесив², Е.Г. Орловский³**

¹НИУ «МЭИ»

²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

³НПФ Комтерм»

Москва, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

***Аннотация.** В докладе представлены цели и задачи применения алгоритмов сегментации изображений для мониторинга состояния дуговых сталеплавильных печей. Показано, что применение сверточно-разверточной нейронной сети U-Net позволяет с достаточной степенью точности локализовать положение источника огня на видеокадре. Для настройки нейронной сети применен метод автоматической генерации синтетических обучающих множеств. Использование нейросетевых технологий анализа видеоизображений открывает возможности для оптимизации процесса производства и снижения затрат для заводов. Макропоказатели, выявляемые по результатам анализа видеoinформации, могут быть использованы для решения ряда дополнительных задач по контролю технологических процессов на предприятии.*

**S.I. Skripnichenko¹, S.M. Nekhamin¹, S.A.K. Diane²,
E.A. Lesiv² E.G. Orlovskiy³**

¹National Research University "MPEI"

²Institute of Control Problems V.A. Trapeznikov of RAS

³RPC Komterm LLC

Moscow, Russia

APPLICATION OF NEURAL IMAGE SEGMENTATION TECHNOLOGIES IN THE TASK OF MONITORING THE STATE OF ARC STEELMAKING FURNACES

***Abstract.** The report presents the goals and objectives of using image segmentation algorithms to monitor the condition of arc steelmaking furnaces. It is shown that the use of the convolutional-unwrapping neural network U-Net makes it possible to localize the position of the fire source on the video frame with a sufficient degree of accuracy. To configure the neural network, the method of automatic generation of synthetic training sets was applied. The use of neural network technologies for video image analysis opens up opportunities for optimizing the production process and reducing costs for factories. Macro indicators identified by the results of the analysis of video information can be used to solve a number of additional tasks for the control of technological processes at the plant.*

Металлургическая промышленность является одной из ключевых отраслей российской экономики. Так, в частности, доля производимой стали исчисляется десятками миллионов тонн в год.

Неотъемлемым этапом черной металлургии является выплавка стали в электродуговых сталеплавильных печах (ДСП). Вслед за общим развитием технического уровня возрастает актуальность автоматизации данной задачи – не только за счет комплекса внутренних датчиков, но и за счет расположенных вовне тепловизоров, камер видимого и инфракрасного диапазона.

В качестве технологии анализа изображений, получаемых с камер наблюдения видимого диапазона, целесообразно применять как классические методы анализа изображений в цветовом пространстве HSV [1], так и нейросетевые методы сегментации в цветовом пространстве RGB [2].

Применение систем технического зрения для мониторинга состояния ДСП открывает возможности для достижения ряда целей, таких как:

1. повышение информационной обеспеченности систем, отвечающих за поддержку принятия решений;
2. повышение энергоэффективности сталеплавильного предприятия в целом.

Достижение данных целей предполагает решение совокупности научно-технических задач:

1. разработка программно-алгоритмического обеспечения для сегментации огня и дыма на видеоизображении с применением классических методов;
2. выбор архитектуры нейронной сети и разработка программного обеспечения для нейросетевой сегментации огня и дыма на видеоизображении;
3. разработка программно-алгоритмического обеспечения для автоматической генерации и аугментации обучающих множеств в задаче настройки сегментирующей нейронной сети;
4. разработка программного обеспечения для обучения и расчета нейронной сети;
5. разработка программно-алгоритмического обеспечения для расчета макропоказателей по результатам анализа видеокадров и видеофрагментов, получаемых с камер наблюдения;
6. тестирование созданного программно-алгоритмического комплекса на реальном объекте.

На начальном этапе реализации проекта был использован упрощенный подход к сегментации на основе технологии нейросетевой детекции в сочетании с методом оконного сканирования. На рис. 1 представлен результат сегментации видеокadra, снятого на производстве вблизи дуговой плавильной печи.

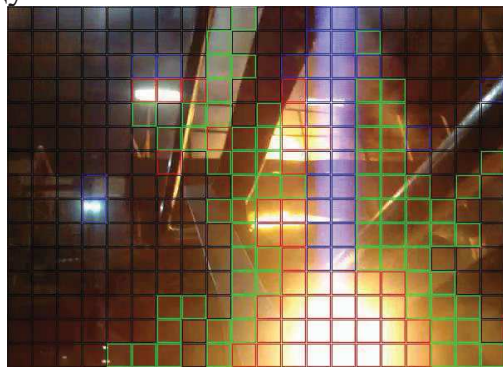


Рис. 1 - Нейросетевая сегментация видеокadra методом скользящего окна с индикацией цветом

Подобный способ определения участков загрязнения достаточно прост в реализации, вычислительно эффективен, однако не обладает высокой точностью, поскольку масштаб рассмотрения визуальных признаков в каждой точке детекции ограничен размерами окна.

Альтернативный подход к сегментации изображений связан с решением задачи аннотирования групп пикселей, относящихся к тем или иным классам. Входными данными является растровое изображение, а выходом – маска, содержащая требуемую область расположения фигуры.

Наиболее распространенным на сегодняшний день инструментом сегментации являются нейронные сети сверточно-разверточного типа. Одной из нейросетевых архитектур такого типа является U-Net [3].

Одной из сложностей, возникающей в процессе обучения нейронных сетей, является составление сбалансированной обучающей выборки [4]. Наряду с эталонными масками сегментации, подготовленными экспертом, целесообразно часть обучающих примеров формировать автоматически. Подобного рода синтетические обучающие изображения формируются из текстур фона и фрагментов целевых объектов путем случайного их наложения на растр.

Так, на рис. 2 слева направо представлены входное синтетическое изображение, сгенерированная одновременно с ним целевая маска сегментации и рассчитанный нейронной сетью U-Net растр, достаточно хорошо соответствующий целевой маске.

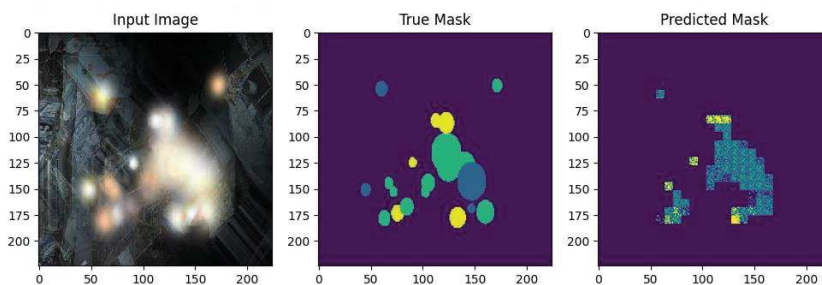


Рис. 2 - Пример сегментации изображения с использованием нейронной сети U-net

Нейронная сеть обучалась 20 эпох на выборке из 1000 изображений с разрешением 224*224 пикселя. На выходе сети формировалась карта признаков по 4 классам: фон, огонь, дым, лампа.

Нейросетевой анализ видеозаписи позволил определить приблизительные размеры и положение источника огневых выбросов в поле зрения камеры, установленной вблизи ЭДСП (рис. 3).



а)

б)

Рис. 3 - Сегментация огня на видеокадре с камеры наблюдения с применением сверточной нейронной сети U-Net: а) исходный видеокадр; б) результат сегментации видеокадра

Таким образом, очевидна актуальность проблематики мониторинга состояния сталеплавильных печей и применимость нейросетевой сегментации для решения подобных задач.

Ожидаемыми эффектами от применения данной технологии являются сокращение энергопотерь от неконтролируемого излучения ЭДСП, снижение затрат электроэнергии и, как следствие, – повышение экономической эффективности металлургических предприятий.

Список используемых источников

1. D. Burdescu, M. Brezovan, E. Ganea, L. Stanescu. A New Method for Segmentation of Images Represented in a HSV Color Space. In Proc. of ACIVS 2009. 2009. Pp. 606-617.

2. Ю.А. Рогова, Программно-аппаратный комплекс раннего оповещения о пожаре на основе дистанционного наблюдения и интеллектуального нейросетевого распознавания // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. №2 (40). 2022. С. 165-170
3. O. Ronneberger, P. Fischer, T. Brox. U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI. 2015. Pp. 234–241.
4. С.А.К. Диане, Е.А. Лесив, Методология автоматического синтеза обучающих множеств в задачах нейросетевого управления автономными роботами // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019): материалы XII междунар. конфер, 1–3 окт. 2019 г., Москва / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. –
5. М.: ИПУ РАН, 2019., С. 369 - 372

УДК 666.682:666.683

И.М. Терещенко, А.П. Кравчук

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

**ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕЦИКЛИНГА
КРЕМНЕГЕЛЯ – ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА ПРОИЗВОДСТВА
ФТОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ**

Аннотация. Показана возможность создания высокоэффективных технологий получения технических продуктов: жидкого стекла, пеностекла и белой сажи на основе активированного кремнегеля

I.M. Tereshchenko, A.P. Kravchuk
Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

**EFFICIENT RECYCLING TECHNOLOGIES FOR THE
SILICA GEL – BY-PRODUCT OF THE ALUMINUM FLUORIDE
PRODUCTION**