

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-4-57-74>

Алгоритмы обработки информации в системе слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве

Я.М. Трофименко ¹ ✉, Е.В. Ершов ², И.А. Варфоломеев ²

¹ ООО «Северсталь Диджитал»

ул. Клары Цеткин, д. 2, вн.тер.г. муниципальный округ Коптево г. Москва 127299, Российская Федерация

² Череповецкий государственный университет

пр-т Луначарского, д. 5, г. Череповец 162600, Российская Федерация

✉ e-mail: trofimenko.y.m@yandex.ru

Резюме

Целью исследования является повышение оперативности контроля над перемещением стальковшей в сталеплавильном производстве при помощи разработки математического и программного обеспечения.

Методы. Контроль перемещения сталеразливочных ковшей можно разделить на 2 части: первая – это обнаружение объекта на изображении с камеры, расположенной на определённом участке маршрута, с последующим определением положения объекта в кадре, а вторая часть – это идентификация на основании массива данных из разных систем. В работе использовались методы математического моделирования, нейронных сетей, основы теории построения алгоритмов, а так же программные и аппаратные средства современных компьютерных технологий. В статье описывается модель формирования маршрутов перемещения сталеразливочных ковшей, на основе которой осуществляется контроль перемещения сталеразливочных ковшей. Алгоритмическое обеспечение представляет собой совокупность таких алгоритмов, как: алгоритм формирования возможных маршрутов перемещения стальковшей, алгоритм определения положения стальковша на маршруте перемещения стальковшей, алгоритм идентификации сталеразливочного ковша и обобщённый алгоритм обработки информации. Приведена структурно-функциональная организация системы слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве.

Результаты. Экспериментальная проверка алгоритмического обеспечения осуществлялась на тестовом наборе данных, который, в свою очередь, был сформирован из реальных технологических данных. Адаптация и настройка алгоритмического и программного обеспечения позволит применить данный комплекс на сталеплавильных производствах с различным составом агрегатов.

Заключение. Контроль над перемещением стальковшей позволяет выстраивать процесс так, чтобы перемещение жидкой стали сопровождалось наименьшими потерями тепла. Необходимость нагрева стали на агрегатах внепечной обработки сопряжена с затратами энергии. Таким образом, уменьшение потерь тепла и времени простоев стальковшей позволит уменьшить затраты энергии на весь процесс.

Ключевые слова: сталеразливочный ковш; обнаружение; идентификация объектов; маршрут; система слежения.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Трофименко Я.М., Ершов Е.В., Варфоломеев И.А. Алгоритмы обработки информации в системе слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве // Известия Юго-Западного государственного университета. 2022; 26(4): 57-74. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-4-57-74>.

Поступила в редакцию 05.08.2022

Подписана в печать 20.09.2022

Опубликована 14.10.2022

© Трофименко Я.М., Ершов Е.В., Варфоломеев И.А., 2022

Information Processing Algorithms in the Steel-Teeming Ladles Tracking System in Steelmaking

Yaroslav M. Trofimenko ¹✉, Evgenii V. Ershov ², Igor' A. Varfolomeev ²

¹ «Severstal Digital» LLC

2, Klara Tsetkin str., ext.ter.g. Koptevo municipal district, Moscow 127299, Russian Federation

² Cherepovets State University

5, Lunacharsky Ave., Cherepovets 162600, Russian Federation

✉ e-mail: trofimenko.y.m@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. The purpose of research is to increase the efficiency of control over the movement of steel ladles in steelmaking, through the development of mathematical and software.

Methods. The control of the movement of steel-pouring ladles can be divided into 2 parts: the first is the object detection in the image from a camera located on a certain section of the route, followed by determining the position of the object in the frame, and the second part is identification based on an array of data from different systems. Methods used in research are: mathematical modeling, neural networks, the basics of the theory of algorithms construction, as well as software and hardware of modern computer technologies. The article describes a model for the routes generation for the movement of steel ladles, on the basis of which the control of the movement of steel ladles is carried out. Algorithmic support is a combination of such algorithms as: an algorithm for generating possible routes for moving steel ladles, an algorithm for determining the position of a steel ladle on a route for moving steel ladles, an algorithm for identifying a steel ladle and a generalized algorithm for processing information. The structural-functional organization of the tracking system for steel-pouring ladles in steel-smelting production is given.

Results. Experimental verification of algorithmic support was carried out on a test data set, which was formed from real technological data. Adaptation and tuning of the algorithms and software will make it possible to apply this software system in steelmaking plants with a different composition of plant units.

Conclusion. Control over the movement of steel ladles allows build the process so that the movement of liquid steel will cause minimal heat loss. The need to heat steel in secondary processing units is correlates with energy costs. Thus, reducing heat loss and downtime of steel ladles will reduce energy costs for the entire process.

Keywords: steel-teeming ladle; detection; object identification; route; tracking system.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Trofimenko Y. M., Ershov E. V., Varfolomeev I. A. Information Processing Algorithms in the Steel-Teeming Ladles Tracking System in Steelmaking. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2022; 26(4): 57-74 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2022-26-4-57-74>.

Received 05.08.2022

Accepted 20.09.2022

Published 14.10.2022

Введение

Система слежения за перемещением сталеразливочных ковшей представляет собой комплекс программно-аппаратных средств, осуществляющий обнаружение и идентификацию стальной ковшей на участках цехов сталеплавильного производства. Интеллектуальная система технического зрения представляет собой аппаратно-программный комплекс, использующийся для автоматизированного сбора информации с потокового видео. Так как стальковш является нестандартным объектом, то требуется разработка специализированной интеллектуальной системы видеонаблюдения [1]. Кроме того, точность работы интеллектуальной системы технического зрения сильно зависит от визуальной разницы между отслеживаемым объектом и его окружением [2]. Важную роль играет частота кадров камеры, поскольку камера с низкой частотой кадров не успеет отследить объект, движущийся с высокой скоростью, либо изображение будет искажено, что не позволит идентифицировать объект¹. Одним из главных преимуществ интеллектуальной системы видеонаблюдения является её многофункциональность [3, 4], что позволяет осуществлять обнаружение объекта и его локализацию в кадре [5, 6], идентификацию или клас-

сификацию [7, 8, 9, 10], контроль окружения или выявление тревожных ситуаций [11] и т.п. Из-за специфики технологического процесса в сталеплавильном производстве система слежения должна удовлетворять ряду требований, для чего необходима реализация алгоритмов, отвечающих за конкретные части процесса распознавания и идентификации стальной ковшей и за последующее отслеживание перемещений. Поскольку возможны различные варианты перемещения стальной ковшей, то для их отслеживания необходима разработка модели формирования маршрутов перемещения, а так же разработка ряда алгоритмов для обработки данных и формирования результата отслеживания на их основе. Вследствие того, что объектом слежения является стальковш, на который воздействует высокая температура и вибрации, важным преимуществом интеллектуальной системы видеонаблюдения является отсутствие необходимости установки датчиков или маячков на объект [12, 13, 14], а так же возможность использования не узкоспециализированного оборудования, а обычных видеокамер и ПК с подходящими характеристиками [15].

Материалы и методы

Модель формирования маршрутов перемещения сталеразливочных ковшей

Модель формирования маршрутов перемещения стальной ковшей реализуется на основе таких параметров, как: коли-

¹ Ганин А.Н. Сопровождение и распознавание объектов на телевизионных изображениях: дис. ... канд. техн. наук. Ярославль, 2013. 149 с.

чество агрегатов каждого типа, расположение агрегатов в пролётах, способы перемещения стальной между агрегатами и между пролётами¹. Модель представляет собой ориентированный граф. Стоит отметить, что узлами в таком графе являются не только агрегаты, но и позиции, на которых происходит смена типа перемещения стальной [16]. Перечислим основные узлы, между которыми осуществляются перемещения стальной:

1, 2, 3 – конвертеры;

4, 5, 6 – позиции на агрегате установка доводки металла (УДМ);

7, 8 – агрегаты «установка печь ковша» (УПК-1) и (УПК-2);

9, 10 – позиции агрегата «установка вакуумирования стали» (УВС);

11, 12, 13, 14, 15 – агрегаты «установка непрерывной разливки стали» (УНРС-1, УНРС-2, УНРС-3, УНРС-4, УНРС-5);

16, 17 – горелки для сушки ковшей в пролёте подготовки ковшей;

а, б, в, г, д, е, ж, з, и – позиции смены типа движения (снятие со сталева краном или установка краном на сталева).

Кроме узлов, стоит отметить, по каким путям между ними возможно перемещение стальной и в каких направлениях:

– пути 3-а-д, 2-б-6-е, 1-в-4-з, г-и, 5-ж, являются рельсовыми путями для стальных, первые 4 из которых, не прерываясь проходят из конвертерного пролёта в передаточный пролёт и позволяют перемещать сталь в обе стороны;

– пути внутри маршрута 16-а-б-в-г-17 соответствуют перемещению кранов внутри пролёта подготовки ковшей;

– пути внутри маршрута 7-д-е-ж-з-и-8 соответствуют перемещению кранов внутри пролёта внепечной обработки, при этом участки д-7 и и-8 являются однонаправленными, поскольку перемещение стальной после УПК-1 и УПК-2 ограничено перемещением на УВС для УПК-1, либо на ближайшие УНРС (УНРС-3, УНРС-4 для УПК-1 и УНРС-1, УНРС-2, УНРС-3 для УПК-2);

– пути 7-9 и 7-10 относятся к перемещению кранов между агрегатами УПК-1 и УВС в пролёте внепечной обработки, согласно технологии обратное перемещение не предусмотрено;

– пути 7-13 и 7-14 относятся к перемещению кранов между агрегатами УПК-1 и УНРС-3 и УНРС-4 в передаточном пролёте, согласно технологии обратное перемещение не предусмотрено;

– пути 8-11, 8-12, 8-13 относятся к перемещению кранов между агрегатами УПК-2 и УНРС-1, УНРС-2, УНРС-3, согласно технологии обратное перемещение не предусмотрено;

– пути 9-12, 9-13, 9-14, 10-12, 10-13, 10-14 относятся к перемещению кранов от агрегата УВС к УНРС-2, УНРС-3,

¹ Чернышев С.В. Модели, методы и алгоритмы эффективного решения задачи маршрутизации транспорта на графах больших размерностей: автореф. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.18. М., 2011. 22 с.

УНРС-4, согласно технологии обратное перемещение не предусмотрено;

– пути 11-и, 11-з, 11-е, 12-и, 12-з, 12-е, 13-и, 13-з, 13-е, 13-д, 14-е, 14-д, 15-з, 15-д являются путями перемещения от поворотных столов УНРС-1,

УНРС-2, УНРС-3, УНРС-4 и УНРС-5 на пути стелевозов.

На рис. 1 представлен граф маршрутов перемещения стальной, построенный на основе описанных узлов и путей.

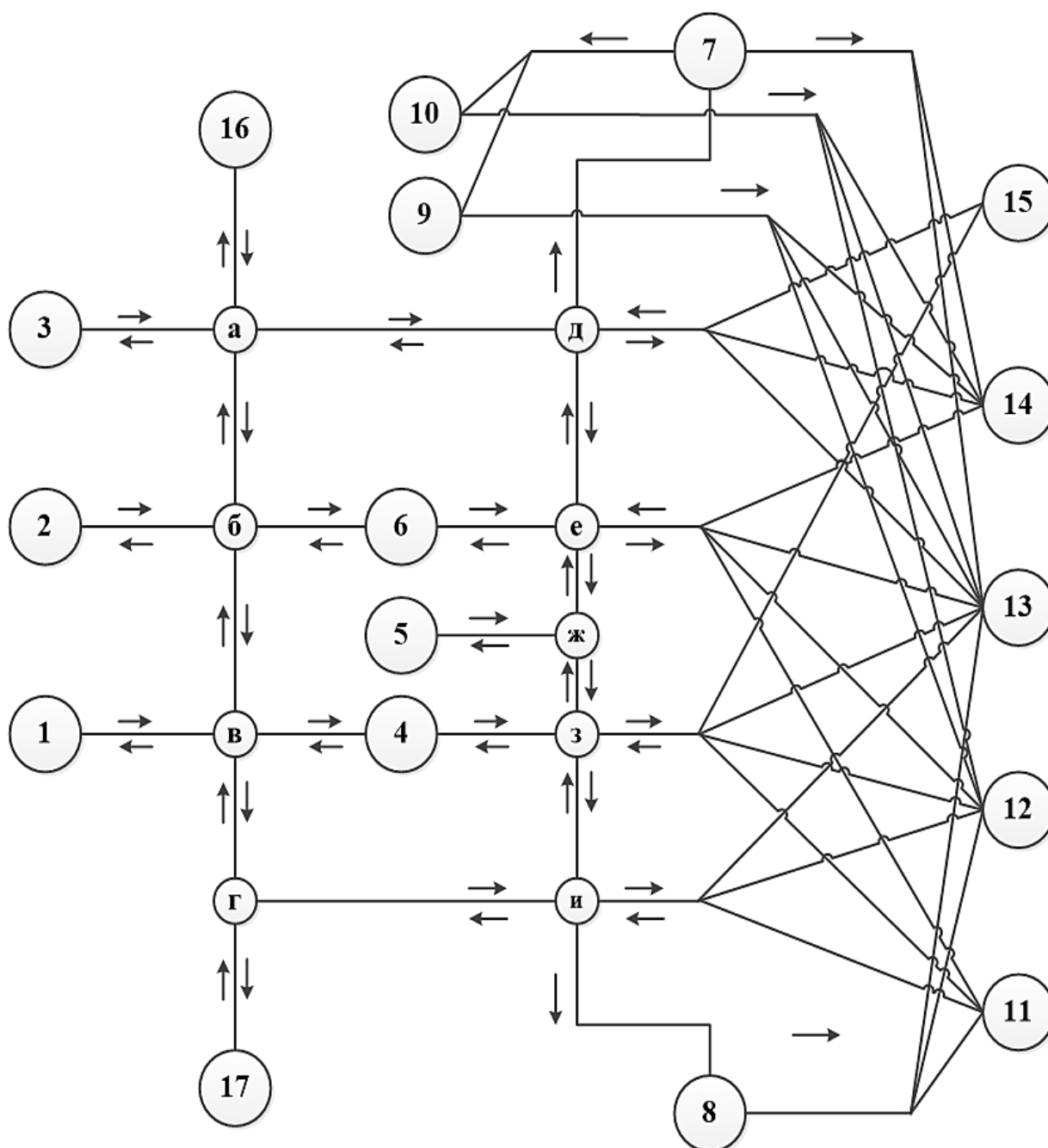


Рис. 1. Маршруты перемещения стальной в сталеплавильном производстве

Fig. 1. Steel ladle movement routes in steelmaking

Несмотря на то, что физически перемещение со сталеваза на поворотный стол УНРС возможно, в технологическом процессе отсутствуют плавки, которые могут быть перемещены напрямую от конвертера до разливки, что обусловлено технологиями получения конкретных марок стали [17]. Отметим, что описанные выше узлы и маршруты могут быть исключены из графа в случае планово-предупредительных ремонтов или внештатных ситуаций на участках.

Алгоритм формирования возможных маршрутов перемещения стальной в стальеплавильном производстве

Алгоритм формирования возможных маршрутов перемещения стальной в стальеплавильном производстве заключается в построении графа, вершинами в котором являются агрегаты либо другие узлы, где осуществляется смена типа движения стальной в стальеплавильном производстве согласно модели формирования маршрутов (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм формирования возможных маршрутов перемещения стальной

Fig. 2. Possible movements routes of steel ladles generation algorithm

Входными данными для алгоритма являются узлы и расстояния между ними. Из узлов формируются вершины графа, а рёбра между ними строятся на основании фактической возможности перемещения стальной ковша от агрегата к агрегату. Кроме того, каждое ребро имеет направление, таким образом граф является ориентированным.

Алгоритм определения положения стальной ковша на маршруте перемещения стальной

Алгоритм определения положения стальной ковша на маршруте перемещения стальной (рис. 3) осуществляет поиск и фильтрацию найденных объектов на изображениях с камер. Входными данными для данного алгоритма являются координаты стальной и размеры описывающего прямоугольника, получаемые от нейронной сети, а так же массив координат предшествовавших текущим с размерами описывающих прямоугольников соответственно. Массив необходим для отслеживания перемещения ранее найденного стальной или фиксации появления нового стальной ковша на участке. Для ранее найденного стальной осуществляется трекинг по координатам с учётом возможного изменения его размеров в кадре. Возможные изменения координат и размеров описывающего прямоугольника зависят от положения камеры относительно пути перемещения стальной на участке [9]. Алгоритм можно разбить на следующие шаги:

- получение координат сталеразливочного ковша, обнаруженного на изображении, от нейросети;
- чтение массива предшествовавших координат стальной;
- сопоставление координат для проверки появления нового стальной ковша на участке:

Для случая с появлением нового стальной ковша трекинг не производится, но фиксируется факт появления нового объекта на участке маршрута перемещений:

- для остальных случаев выполняется трекинг по указанному на схеме алгоритму;
- формирование результата определения положения стальной ковша на маршруте;
- передача сформированных данных.

Алгоритм идентификации сталеразливочного ковша

Идентификация сталеразливочного ковша (рис. 4) осуществляется на основе работы предыдущих алгоритмов и заключается в сопоставлении данных о положении стальной ковша на конкретном участке, о возможных маршрутах между основными узлами и о работе отдельных агрегатов. Входными данными для алгоритма идентификации являются:

- обработанные данные с контроллеров и баз данных с уровня технологии;
- возможные маршруты перемещения в сталеплавильном производстве;
- результат определения положения стальной.

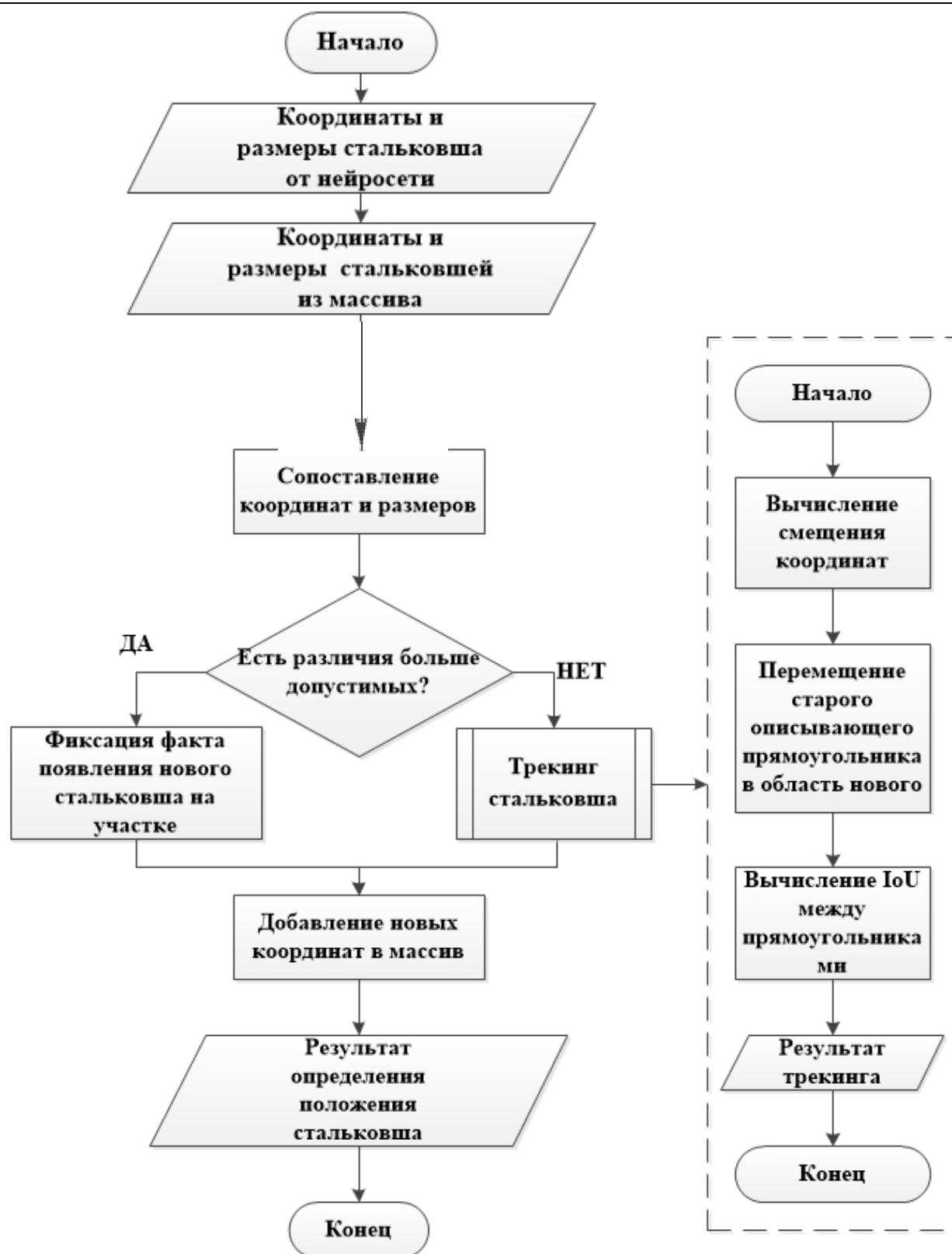


Рис. 3. Алгоритм определения положения стальной ковша на маршруте перемещения стальной

Fig. 3. Steel ladle on the movement route position determination algorithm

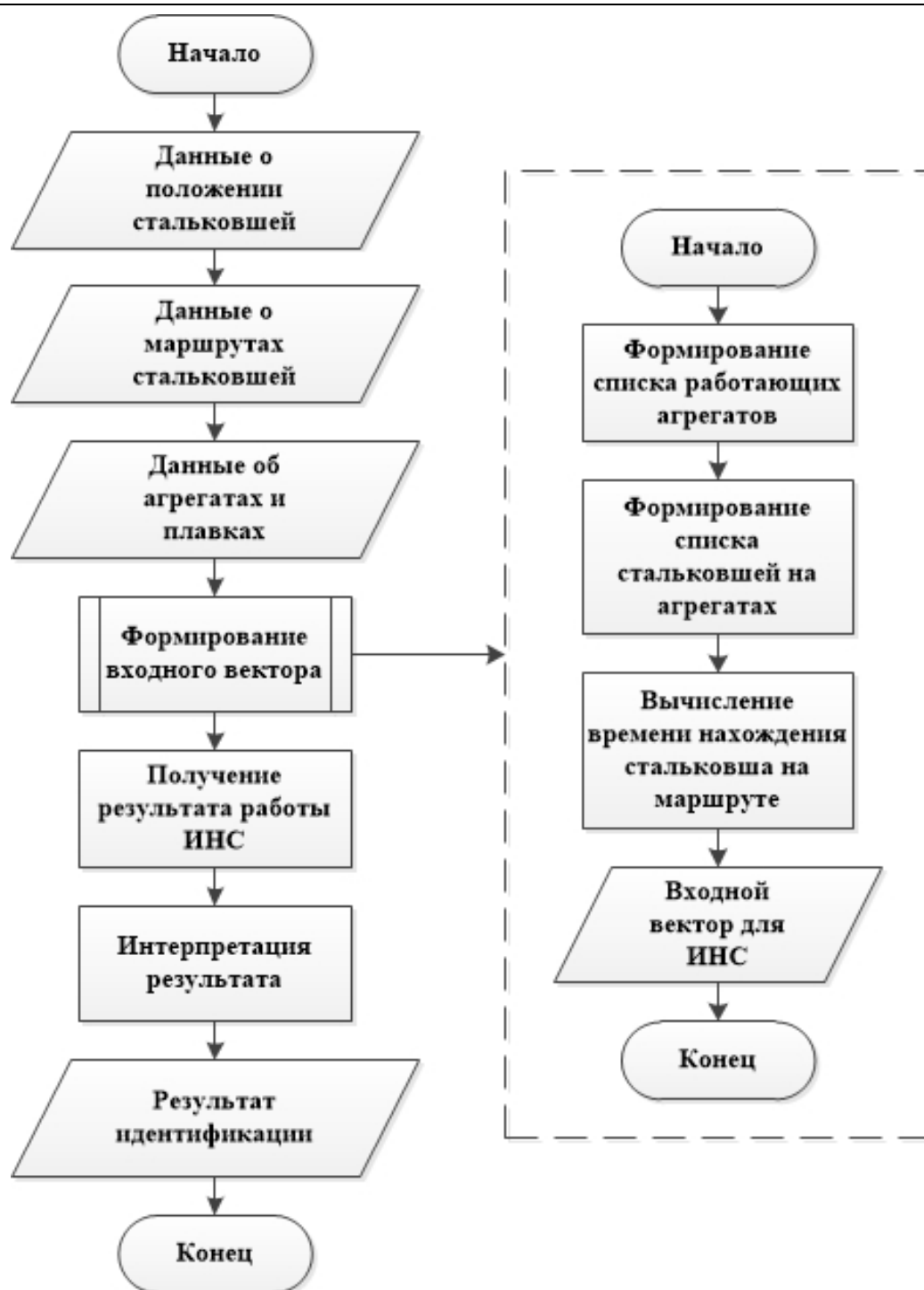


Рис. 4. Алгоритм идентификации стальной

Fig. 4. Steel ladle identification algorithm

Совокупность данных позволяет отфильтровать те стальной, которые находятся непосредственно на агрегатах и исключить их из возможных вариантов для идентификации до момента, пока они не окажутся вне агрегата. Анало-

гично фильтруются рабочие агрегаты и соответствующие участки маршрутов. Кроме того, вычисляется время нахождения стальной на маршруте с момента начала плавки.

Обобщённый алгоритм обработки информации в системе слежения за стальковшами

Обобщённый алгоритм представляет собой совокупность основных операций по обработке информации в системе слежения за стальковшами, начиная от получения видеопотоков с камер, за-

канчивая формированием результата работы системы слежения (рис. 5). Данный алгоритм включает в себя как шаги по подготовке данных и обучение нейросетей, так и основную последовательность шагов, выполняемую циклично в процессе работы системы слежения за стальковшами.

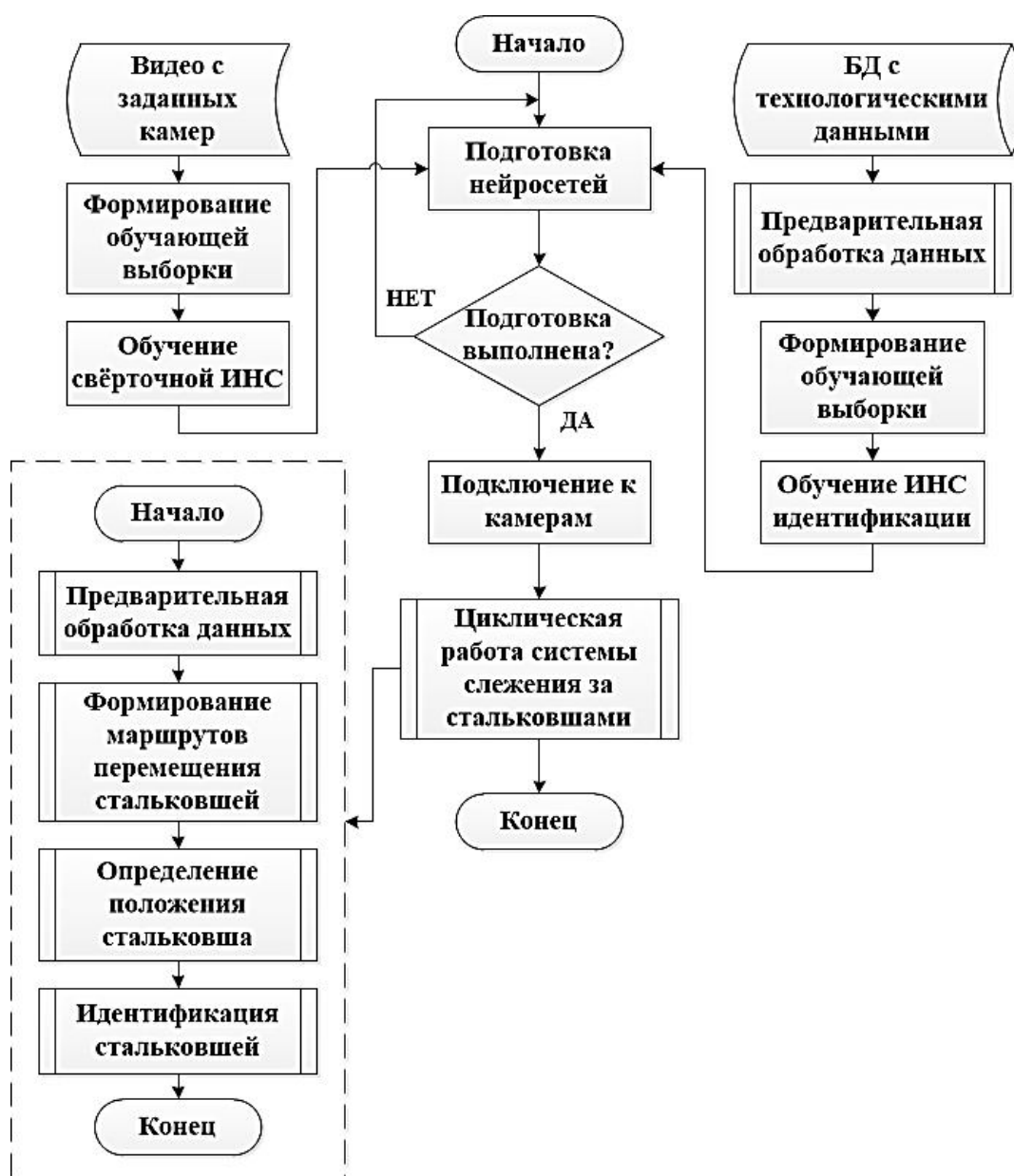


Рис. 5. Обобщённый алгоритм обработки информации

Fig. 5. Generalized information processing algorithm

Шаги по подготовке данных и обучению нейросетей представляют собой два независимых процесса, один из которых связан с получением видео с заданных камер, на основе кадров из которых осуществляется формирование выборки и дальнейшее обучение нейросети для обнаружения стальной. Второй процесс подготовки включает в себя предварительную обработку данных из технологической БД, с последующим формированием выборки и обучением нейросети идентификации. После завершения подготовки производится подключение системы к набору камер.

Циклическую работу системы можно представить следующим образом:

- предварительная обработка исходных данных, получаемых из технологических баз данных;
- формирование возможных маршрутов перемещения стальной;

- нахождения стальной на изображениях;

- формирование результатов идентификации стальной на различных участках сталеплавильного производства.

Описание системы слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве

На основе алгоритмов, описанных выше, было реализовано программное обеспечение. Структурно-функциональная организация системы слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве приведена с разделением на аппаратные и программные блоки и взаимосвязи между ними. На рис. 6 представлена структурно-функциональная организация системы слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве.

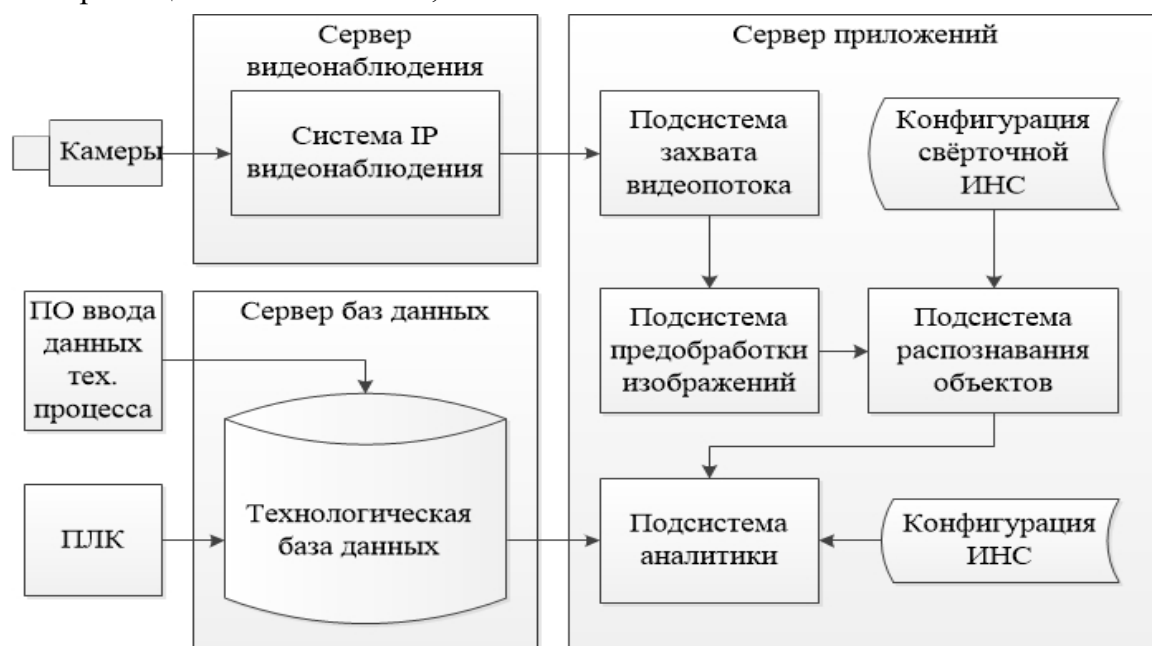


Рис. 6. Структурно-функциональная организация системы слежения за сталеразливочными ковшами в сталеплавильном производстве

Fig. 6. Structural-functional organization of the tracking system for steel ladles in steelmaking

Аппаратной частью системы слежения за стальковшами является сервер приложений, но стоит отметить, что в работе системы слежения используется информация, поступающая от внешних серверов. Такими серверами являются сервер видеонаблюдения и сервер баз данных. На сервере видеонаблюдения работает система, отвечающая за взаимодействие с IP-видеокамерами сталеплавильного производства, позволяющая системе слежения получать видеопоток с интересующих камер. На сервере баз данных размещены системы управления базами данных, содержащие в себе информацию с контроллеров агрегатов и другую информацию о технологическом процессе, поступающую с постов управления агрегатами. На сервере приложений расположены основные функциональные блоки системы слежения, к которым относятся:

- подсистема захвата видеопотока, взаимодействующая с камерами;
- подсистема предварительной обработки изображений, задача которой заключается в проверке качества изображений и его повышении, если это возможно и необходимо;
- подсистема распознавания объектов, отвечающая за работу с обработанными изображениями для обнаружения стальковшей на них. В данной подсистеме реализован алгоритм из раздела 3;
- подсистема аналитики, внутри которой реализованы алгоритмы из разделов 2 и 4, являющиеся основной частью системы слежения и формирующие необходимый конечный результат.

Технические характеристики внешних серверов не описываются, поскольку требования к серверу видеонаблюдения зависят в большей степени от производителя камер и/или готовых систем IP-видеонаблюдения, использующих эти видеокамеры [18]. Кроме того, при необходимости повышения надёжности работы системы и обеспечения её максимальной работоспособности может потребоваться создание резервного сервера с аналогичными характеристиками [19]. Резервный сервер осуществляет переключение и продолжение работы системы в случае выхода из строя или недоступности основного сервера приложений.

Результаты и их обсуждение

Проверка работы алгоритмов осуществлялась на наборе изображений с нескольких камер на различных участках маршрута и на соответствующем наборе ретроспективных данных о технологическом процессе. Порядок проверки алгоритмов соответствовал порядку, указанному в обобщённом алгоритме обработки информации в системе слежения за стальковшами. Поскольку одним из наиболее важных алгоритмов является алгоритм определения положения стальковша, далее приведены результаты его проверки. Проверялись корректность определения позиции стальковша в кадре как по координатам, так и по размерам описывающего прямоугольника в кадре, кроме того, оценивалась корректность классификации объекта и корректность трекинга, в табл. 1 приведены 30 тестовых примеров.

Таблица 1. Результаты экспериментальной проверки алгоритма определения положения стальковша на маршруте перемещения стальковшей**Table 1.** Results of experimental verification of the algorithm for determining the position of the stalker on the route of movement of the stalker

№	Стальковш в кадре / Stalkovsh in the frame		Класс найденного объекта / class of the found object		IoU	Трекинг
	факт / fact	алгоритм / algorithm	факт / fact	алгоритм / algorithm		
1	+	+	topkovsh	topkovsh	0,75	+
2	+	+	topkovsh	topkovsh	0,72	+
3	+	+	topkovsh	topkovsh	0,69	+
4	+	+	firekovsh	firekovsh	0,68	+
5	+	+	firekovsh	firekovsh topkovsh	0,85 0,31	+
6	+	+	movekovsh	movekovsh	0,81	+
7	+	+	movekovsh	movekovsh	0,76	+
8	+	+	movekovsh	movekovsh	0,83	+
9	-	-	-	-	-	-
10	+	-	firekovsh	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	+	+	movekovsh	movekovsh	0,59	+
13	-	+	-	movekovsh	-	-
14	+	+	clearkovsh	clearkovsh	0,73	+
15	+	+	clearkovsh	clearkovsh	0,74	+
16	+	+	clearkovsh	movekovsh	0,70	-
17	+	+	movekovsh	movekovsh	0,72	+
18	+	+	movekovsh	movekovsh	0,75	+
19	+	+	firekovsh	firekovsh	0,59	+
20	+	+	firekovsh	firekovsh	0,75	+
21	+	+	firekovsh	firekovsh	0,83	+
22	+	+	firekovsh	firekovsh	0,90	+
23	+	+	firekovsh	firekovsh	0,91	+
24	+	+	firekovsh	firekovsh	0,89	+
25	+	+	firekovsh	firekovsh	0,79	+
26	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-
28	+	+	topkovsh	topkovsh	0,71	+
29	+	+	topkovsh	topkovsh	0,83	+
30	+	+	topkovsh	topkovsh	0,8	+

В результате проверки были зафиксированы случаи двойного детектирования объекта разными классами. Подобные случаи не являются ошибочными или критичными, поскольку такие классы, как, например, *topkovsh* и *firekovsh*, соответствующие верхней части ковша и полного ковша не являются взаимоисключающими и при некоторых ракурсах могут детектироваться одновременно. Для устранения ситуаций подобного рода был реализован фильтр, выбирающий из нескольких объектов в одной области тот, значение параметра *confidence* которого максимально.

Выводы

В рамках решения научно-технической задачи была разработана система алгоритмов слежения за стальковшами, которая позволяет определять

положение каждого из стальковшей, используемых в технологическом процессе производства стали. Результат работы системы слежения за стальковшами может быть в дальнейшем использован в системе планирования производства, которая рассчитывает оптимальный график задувок, позволяя минимизировать суммарное время нахождения плавки в цехе, за счёт чего уменьшается время, необходимое на её подогрев. Кроме того, включение в систему слежения тепловизоров потенциально позволит в режиме реального времени контролировать температуру брони стальковша. По температуре брони можно судить о состоянии стальковша следующим образом: чем выше температура, тем выше износ футеровки и выше вероятность прогара ковша в течение всего времени нахождения жидкой стали в нем.

Список литературы

1. Глебова Е.С., Блинников А.А., Быстров С.В. Применение каскадного кодирования для решения задачи маркирования сталеразливочного ковша // Проблемы и достижения в науке и технике: сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Омск, 2016. № 3. С. 41-44.
2. Пространственная реконструкция в системах компьютерного зрения на основе web-камер / А.В. Атанов, А.А. Крыловецкий, С. Д. Кургалин, С.И. Протасов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии. 2011. № 2. С. 149-153.
3. Локтев Д.А., Алфимцев А.Н., Локтев А.А. Моделирование комплексной системы видеомониторинга внутри здания. Ч. 1. Алгоритм размещения видеокамер и его программная реализация // Вестник МГСУ. 2012. №5. С. 84-92.
4. Локтев Д.А., Алфимцев А.Н., Локтев А.А. Моделирование комплексной системы видеомониторинга внутри здания. Ч. 2. Алгоритм распознавания объектов // Вестник МГСУ. 2012. №5. С. 124-131.

5. Петричкович Я. Я., Сомиков В. П., Юдинцев В.А. Анализируем системы видеоаналитики. Ч. 2. "Системы безопасности". 2009. №3. URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/ip-security/analiziruem-sistemy-videoanalitiki>
6. D. Gordon, A. Kembhavi, M. Rastegari, J. Redmon, D. Fox, A. Farhadi, IQA: Visual Question Answering in Interactive Environments. (2018)
7. Еременко В.Т., Тютякин А.В., Кондрашин А. А. Методологические аспекты обработки изображений в автоматизированных системах диагностики // Информационные системы и технологии. 2011. №2(64). С. 19-26
8. Статья от компании Axis – лидера на рынке сетевого видео, о проблемах распознавания и идентификации на изображениях. URL: <https://www.axis.com/ru-ru/learning/web-articles/identification-and-recognition/resolution>
9. Angella F., Reithler L., Gallezio F. Optimal Deployment of Cameras for Video Surveillance Systems // IEEE Conf. on Advanced Video and Signal Based Surveillance. - 2007.
10. Simon J. D. Prince Computer Vision: Models, Learning, and Inference. Prince. Cambridge University Press, 2012. 598 p.
11. An intelligent vision-based vehicle detection and tracking system for automotive applications / Y.M. Tsai, et al. // Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics. 2011. P. 113-114.
12. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Шубин Н.Ю. Алгоритм измерения координат движущихся объектов в последовательности изображений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. Вып. 34. С. 32-36.
13. Провоторов А. В., Орлов А. А., Астафьев А. В. Системный анализ технологий и систем идентификации трубопроводной продукции по маркеру в условиях промышленного производства // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: Материалы VIII научно-практической конференции». Тольятти, 2011. С. 187-195.
14. Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Шубин Н.Ю. Алгоритм оценки координат объектов на основе преобразования Радона // Цифровая обработка сигналов. 2011. №3. С. 17-20.
15. Волхонский Г.В. Критерии выбора разрешающей способности в системах теленаблюдения // PROSystem CCTV. 2009. № 2 (38), С. 60 - 64.
16. Трофименко Я.М., Математическое обеспечение системы слежения за стальковшами в сталеплавильном производстве // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2021): материалы двенадцатой заочной международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГУ, 2021. С. 169-173. ISBN 978-5-87851-968-7
17. Якушев А.М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. М.: Металлургия, 1984. 216 с.
18. Видеонаблюдение по IP // Журнал сетевых решений/LAN. 2010. № 04. URL: <https://www.osp.ru/lan/2010/04/13002109/>

19. Зайцев Е.М., Коломиец Е.А., Николаев В. Н. Формализация этапов жизненного цикла создания геоинформационной продукции на научно-производственном предприятии // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(4): 146-165. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-146-165>

References

1. Glebova E.S., Blinnikov A.A., Bystrov S.V. [Cascade coding application for the solving of steel-pouring ladle marking problem]. *Problemy i dostizheniya v nauke i tekhnike. Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems and achievements in science and technology. Collection of scientific papers based on the results of an international scientific and practical conference]. Omsk, 2016, no. 3, pp. 41-44 (In Russ.).

2. Atanov A.V., Krylovetskii A.A., Kurgalin S. D., Protasov S.I. Prostranstvennaya rekonstruktsiya v sistemakh komp'yuternogo zreniya na osnove web-kamer [Spatial reconstruction in computer vision systems based on webcams]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii = Proceedings of Voronezh State University. Series. System Analysis and Information Technology*, 2011, no. 2, pp. 149-153.

3. Loktev D.A., Alfimtsev A.N., Loktev A.A. Modelirovanie kompleksnoi sistemy videomonitoringa vnutri zdaniya. Chast' 1. Algoritm razmeshcheniya videokamer i ego programnaya realizatsiya [Simulation of an integrated video monitoring system inside a building. Part 1. Algorithm for placing video cameras and its software implementation]. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*, 2012, no. 5, pp. 84-92.

4. Loktev D.A., Alfimtsev A.N., Loktev A.A. Modelirovanie kompleksnoi sistemy videomonitoringa vnutri zdaniya. Chast' 2. Algoritm raspoznavaniya ob"ektov [Simulation of an integrated video monitoring system inside a building. Part 2. Object recognition algorithm]. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*, 2012, no.5, 2012, pp. 124-131.

5. Petrichkovich Ya. Ya., Somikov V. P., Yudintsev V.A. Analiziruem sistemy videoanalitiki. Chast' 2. "Sistemy bezopasnosti" [Video analytics systems analyze. Part 2. "Security systems "]. 2009, no. 3. Available at: <http://lib.secuteck.ru/articles2/ip-security/analiziruem-sistemy-videoanalitiki>

6. Gordon D., Kembhavi A., Rastegari M., Redmon J., D Fox., Farhadi A., IQA: Visual Question Answering in Interactive Environments. (2018)

7. Eremenko V.T., Tyutyakin A.V., Kondrashin A. A. Metodologicheskie aspekty obrabotki izobrazhenii v avtomatizirovannykh sistemakh diagnostiki [Methodological aspects of image processing in automated diagnostic systems]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii = Information Systems and Technologies*, 2011, no.2(64), pp. 19-26.

8. Stat'ya ot kompanii Axis – lidera na rynke setevogo video, o problemakh raspoznavaniya i identifikatsii na izobrazheniyakh [An article from Axis, a leader in the network video market, about the problems of recognition and identification in images]. Available at: <https://www.axis.com/ru-ru/learning/web-articles/identification-and-recognition/resolution>

9. Angella F., L Reithler., Gallesio F. Optimal Deployment of Cameras for Video Surveillance Systems [Optimal Deployment of Cameras for Video Surveillance Systems]. *IEEE Conf. on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 2007.

10. Simon J. D. Prince Computer Vision: Models, Learning, and Inference. Cambridge University Press, 2012. 598 p.

11. Tsai Y.M. et al. An intelligent vision-based vehicle detection and tracking system for automotive applications. *Proceedings of the IEEE International Conference on Consumer Electronics*, 2011, pp. 113-114.

12. Alpatov B.A., Balashov O.E., Shubin N.Yu. Algoritm izmereniya koordinat dvizhushchikhsya ob"ektov v posledovatel'nosti izobrazhenii [Moving objects coordinate measuring on a sequence of images algorithm]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* = *Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University*. 2010, is. 34, pp. 32-36.

13. Provotorov A. V., Orlov A. A., Astafev A. V. [System analysis of technologies and systems for pipeline products identification by marker in industrial production]. *Materialy VIII nauchno-prakticheskoi konferentsii «Tatishchevskie chteniya: aktual'nye problemy nauki i praktiki»* [Materialy VIII nauchno-prakticheskoi konferentsii "Tatishchev Readings: Actual Problems of Science and Practice"]. Tolyatti, 2011, pp. 187-195 (In Russ.).

14. Alpatov B.A., Babayan P.V., Shubin N.Yu. Algoritm otsenki koordinat ob"ektov na osnove preobrazovaniya Radona [Object coordinates estimation algorithm based on Radon Transform]. *Tsifrovaya obrabotka signalov* = Digital Signal Processing, 2011, no.3, pp. 17-20.

15. Volkhonskii G.V. Kriterii vybora razreshayushchei sposobnosti v sistemakh tel-enablyudeniya [Resolution choosing in television surveillance systems criteria]. *PROSystem CCTV*, 2009, no. 2 (38), pp. 60 - 64.

16. Trofimenko Ya.M. [Mathematical support of the tracking system for steel ladles in steelmaking]. *Intellektual'no-informatsionnye tekhnologii i intellektual'nyi biznes (INFOS-2021)*. *Materialy dvenadtsatoi zaochnoi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Intelligent information technologies and intellectual business (INFOS-2021). Materials of the twelfth correspondence international scientific and technical conference]. Vologda, 2021, pp. 169-173 (In Russ.).

17. Yakushev A.M. *Proektirovanie staleplavil'nykh i domennykh tsekhov* [Design of steelmaking plants and blast-furnace plants]. Moscow, Metallurgy Publ., 1984, 216 p.

18. Videonablyudenie po IP [IP video surveillance]. *Zhurnal setevykh reshenii/LAN* = *Network solutions magazine/LAN*, 2010, № 04. Available at: [https:// www.osp.ru/lan/2010/04/13002109/](https://www.osp.ru/lan/2010/04/13002109/)

19. Zaitsev E. M., Kolomiets E. A., Nikolaev V. N. Formalization of Life Cycle Stages of Geographic Information Products Creation at Research and Production Enterprises. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2020; 24(4): 146-165 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-4-146-165>.

Информация об авторах / Information about the Authors

Трофименко Ярослав Максимович, аналитик данных, Общество с ограниченной ответственностью «Северсталь Диджитал», г.Москва, Российская Федерация, e-mail: trofimenko.y.m@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9286-5340>

Yaroslav M. Trofimenko, Data Scientist, «Severstal Digital» LLC (limited liability company), Moscow, Russian Federation, e-mail: trofimenko.y.m@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9286-5340>

Ершов Евгений Валентинович, доктор технических наук, профессор, Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Российская Федерация, e-mail: evershov@chsu.ru

Evgenii V. Ershov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Cherepovets State University, Cherepovets, Russian Federation, e-mail: evershov@chsu.ru

Варфоломеев Игорь Андреевич, кандидат технических наук, доцент, Череповецкий государственный университет, г. Череповец, Российская Федерация, e-mail: igor.varf@gmail.com

Igor' A. Varfolomeev, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Education Cherepovets State University, Cherepovets, Russian Federation, e-mail: igor.varf@gmail.com