

УДК 004.93

DOI: 10.15593/2224-9397/2020.3.06

**А.И. Тур<sup>1</sup>, А.Н. Кокоулин<sup>1</sup>, К.Р. Ахметзянов<sup>1</sup>,  
А.А. Южаков<sup>1</sup>, А.В. Дзыгарь<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

<sup>2</sup>ООО «Фейспасс», Пермь, Россия

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА БЫСТРОДЕЙСТВИЕ РАСПОЗНАВАНИЯ**

Рассматриваются преимущества иерархического подхода перед стандартными подходами распознавания: уменьшение числа распознаваемых пикселей (за счёт отбрасывания участков изображения, не несущих полезной информации для процесса распознавания), уменьшение общего времени обработки изображения. Суть иерархического метода распознавания заключается в том, что он добавляет предварительную обработку изображения, выделяя области интереса на изображении (ROI), и распознаёт только их. Для оценки влияния иерархического подхода было решено создать аналитическую модель, входными параметрами которой являются интенсивность возникновения объектов в зоне распознавания, размер изображения объекта и максимально возможная скорость обработки изображения системой (при большой загрузке производительность системы снижается). Модель рассчитывает интенсивность обслуживания заявок, исходя из допустимых размеров области интереса (ROI), учитывает возможность распараллеливания процесса распознавания объекта за счёт освободившихся вычислительных ресурсов. Результаты, полученные в ходе моделирования, помогают проанализировать перспективы применения иерархического метода распознавания для каждой конкретной системы и выполнить предварительный расчёт среднего времени обработки одной заявки. **Цель исследования:** создание аналитической модели расчёта параметров системы иерархического распознавания объектов. Для этого были применены методы из теории систем массового обслуживания (СМО), теории телетрафика и статистический анализ. **Результаты:** произведён расчёт оптимальных характеристик системы (рекомендованный размер изображения для грубого и точного поиска) в условиях заданного размера изображения и времени, необходимого алгоритму на обработку одного пикселя. Предложен вариант приближённого расчёта времени распознавания объекта на изображении системой иерархического распознавания.

**Ключевые слова:** иерархический подход, система распознавания.

**A.I. Tur<sup>1</sup>, A.N. Kokoulin<sup>1</sup>, K.R. Akhmetzyanov<sup>1</sup>,  
A.A. Yuzhakov<sup>1</sup>, A.V. Dzygar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

<sup>2</sup>ООО "FacePass", Perm, Russian Federation

## **DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A MODEL OF HIERARCHICAL OBJECT RECOGNITION SYSTEM FORASSESSING THE INFLUENCE OF IMAGE PARAMETERS ON SPEED OF RECOGNITION**

The article discusses the advantages of a hierarchical approach over standard recognition approaches: a decrease in the number of recognized pixels (by discarding image areas that do not carry useful information for the recognition process), and a decrease in the total image processing time. The essence of the hierarchical recognition method is that it adds preprocessing to the image, highlighting regions of interest in the image (ROI), and recognizes only them. To assess the influence of the hierarchical approach, it was decided to create an analytical model, the input parameters of which are the intensity of the appearance of objects in the recognition zone, the size of the object's image and the maximum possible speed of image processing by the system (under heavy load, the system performance decreases). The model calculates the intensity of servicing requests based on the permissible size of the region of interest (ROI), takes into account the possibility of parallelizing the object recognition process at the expense of the released computing resources. The results obtained during the simulation help to analyze the prospects for applying the hierarchical recognition method for each specific system and to perform a preliminary calculation of the average processing time for one request. **Purpose:** creating an analytical model for calculating parameters of a hierarchical object recognition system. For this, methods from the theory of mass service systems, the theory of teletrafics and statistical analysis were applied. **Results:** calculation of optimal characteristics of the system (recommended image size for coarse and accurate search) in conditions of a given image size and the time required by the algorithm for processing one pixel. A version of approximate calculation of object recognition time on an image by a hierarchical recognition system is proposed.

**Keywords:** hierarchical approach, recognition system.

**Введение.** Системы машинного зрения, занимающиеся распознаванием объектов, уже достаточно прочно вошли в нашу жизнь. Разрабатываются сотни платформ и алгоритмов, выполняющих эти функции. Каждая имеет свои плюсы и минусы, но почти все сходятся на том, что входное изображение анализируется целиком, каким бы большим оно не являлось [1]. И это могут себе позволить стационарные мощные платформы, обладающие достаточным количеством вычислительных ресурсов для подобных операций. Однако очень часто возникает необходимость разработать такую систему распознавания, которая работала бы на портативной платформе или платформе с малой вычислительной мощностью [2]. Как правило, при решении этой задачи просто наращи-

вают вычислительные возможности устройств. Так, например, известны решения от компаний NVIDIA, Intel, Google для распознавания образов, которые либо, сохраняя миниатюрность, стараются оптимизировать использование процессора и памяти, увеличить рабочие частоты и объём памяти, либо вовсе отказываются от процессов распознавания на платформе, передавая данные для анализа стационарной мощной платформе. Это удорожает решения и усложняет обслуживание таких систем. Но есть альтернативный вариант решения – изменение метода извлечения полезной информации из изображения.

Чаще всего объект на изображении занимает не всю площадь, оставляя участки не несущие полезной информации для процесса распознавания. Если отбросить эти участки, то размер изображения сократится, что положительно отразится на времени распознавания изображения. Это называется методом иерархического поиска информации.

**1. Иерархический метод распознавания объекта.** Отличием иерархического метода распознавания является то, что изображение, получаемое от камеры, проходит предобработку, а лишь потом выполняется распознавание:

– исходное изображение делится на фрагменты и сохраняется в специальной файловой системе;

– создаются дубликаты исходного изображения в более низком качестве (меньшее разрешение) [3, 4].

Первый этап распознавания производится на дубликаты оригинального изображения с самым низким разрешением. Это снижает время поиска и количество ресурсов, затрачиваемых на обработку изображения (по сравнению с обработкой оригинального изображения). На изображении отмечаются ROI (англ. «Region Of Interest» – область интереса), которые удовлетворяют критериям грубого предварительного поиска. Такой поиск отличается от обычного тем, что порог отсеивания ложных срабатываний значительно ниже. Благодаря этому на изображении будут обнаружены все объекты, которые хотя бы отдалённо напоминают объект поиска. Алгоритм, используя угловые координаты рамки ROI, производит расчёт новой области поиска. Фрагменты исходного изображения, соответствующие этой области, загружаются из памяти.

На втором этапе происходит обработка загруженных фрагментов исходного изображения в стандартном режиме распознавания (с высоким порогом отсеивания ложных срабатываний) – точный поиск.

В более продвинутых системах таких итераций грубого поиска может быть больше. Это позволяет снизить количество ложных вызовов после грубого поиска, так как каждый фрагмент изображения будет распознаваться более одного раза [5–10].

Данный подход имеет преимущество над стандартными подходами по времени распознавания исходного изображения. Как правило, для анализа изображения (стандартными подходами) требуется обойти «скользящим окном» все пиксели изображения. Время распознавания ( $T$ ) можно грубо рассчитать как произведение трёх чисел (в случае, если алгоритм распознавания перебирает «скользящим окном» все пиксели):

- высота изображения в пикселях ( $h$ );
- ширина изображения в пикселях ( $w$ );
- время, затрачиваемое «скользящим окном» на операцию распознавания для каждого пикселя ( $t$ ) – при анализе многоканального изображения время получается из суммы времени, затрачиваемого для каждого из каналов.

$$T = h \cdot w \cdot t. \quad (1)$$

Примером алгоритма, использующего «скользящее окно», является свёртка (рис. 1), применяемая в нейронных сетях.

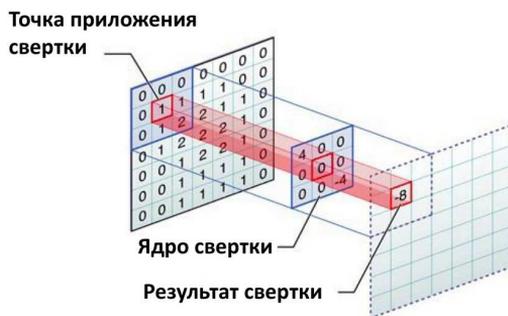


Рис. 1. Свёртка изображения

Иерархический метод значительно уменьшает первые два числа (высота изображения в пикселях, ширина изображения в пикселях), что снижает общее время обработки. Однако следует помнить, что каждая итерация этапа грубого поиска требует некоторого времени, в которое входит не только «время на распознавание пикселя», но и время, затрачиваемое на файловые операции с изображением (создание дубликатов изображения, разбиение изображения на фрагменты, определение новой области ROI) [11–17].

Однако время распознавания не всегда линейно зависит от  $Z$  названных выше величин. Из фундаментальных законов производительности вычислительных систем известна зависимость среднего времени обработки заявки от состояния загруженности системы в конкретный момент времени (коэффициент использования). Когда коэффициент использования достигает 100 %, т.е. сервер оказывается перегруженным, время обработки стремится к бесконечности из-за ограниченности вычислительных ресурсов [18]. Это означает, что необходимо обеспечить сервер таким объёмом вычислительной мощности, чтобы справляться без перегрузки с требуемыми функциями. В этой ситуации, иерархический метод тоже имеет преимущество перед обычными методами, так как все вычисления производятся над меньшим числом пикселей.

Таким образом, иерархический метод распознавания имеет ряд преимуществ перед стандартными методами, но требует предварительного расчёта параметров, при которых он будет эффективен.

**2. Модель системы распознавания объекта.** Для определения условий, в которых применение иерархического метода будет эффективным, можно использовать теорию СМО. Она позволяет достаточно точно предсказать параметры системы.

Промоделировать такой процесс обработки информации можно представив его как  $n$ -канальную СМО с отказами. Отказы в данном случае будут представлять собой объекты, на которые система не успела среагировать из-за того, что вычислительные возможности были заняты распознаванием другого объекта [19, 20].

Для расчёта аналитической модели нам необходимо знать показатели  $\lambda$  и  $\mu$ . Поэтому будем считать, что запросы к системе на распознавание объекта появляются с интенсивностью  $X$  штук в минуту (60 с). Каждый запрос – изображение, извлекаемое системой из памяти, первоначально полученное от камеры снимающей объекты. Отсюда следует, что

$$\lambda = \frac{X}{60}. \quad (2)$$

Интенсивность обслуживания в случае одноканальной СМО с отказами можно рассчитать, зная объём информации ( $V$ ) и скорость её обработки ( $v_{обр}$ ). Допустим, что каждое изображение было первоначально получено от камеры с разрешением 1,2 Мп и состоит из 1 200 000 пик-

селей, которые необходимо обойти скользящим окном алгоритма распознавания. Ресурсы системы позволяют обрабатывать скользящим окном 120 000 пикселей в секунду (3). Время, затрачиваемое на загрузку изображения из памяти, в данной модели не учитывается, так как оно значительно меньше времени, затрачиваемого на само распознавание:

$$\mu = \frac{v_{\text{обр}}}{V} = \frac{150}{1500}. \quad (3)$$

Данные параметры описывают ситуацию, когда вычислительная платформа целиком принимает изображение от камеры и распознаёт его. В случае иерархического подхода с одной итерацией интенсивность обслуживания будет представлена двумя числами. Одна итерация означает, что система предварительно получает и анализирует изображение, сжатое в несколько раз. После обнаружения на сжатом изображении чего-то, напоминающего объект, на изображении выделяется область ROI. Данная область получается из полного изображения, но меньше по площади.

Первая строчка (табл. 1) описывает систему, работающую с применением стандартных методов. В следующих строчках система применяет иерархический метод. Допустим, что система изначально анализирует изображение, сжатое в 5 раз, т.е. площадь изображения составляет 300 пикселей. Для усреднения полученных результатов предположим, что область ROI всегда в  $n$  раз меньше оригинального изображения. Это позволяет системе обрабатывать  $n$  изображений одновременно, распараллеливая процесс распознавания. Результаты моделирования случаев, когда область ROI меньше исходного изображения в 2, 3 и 4 раза, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Таблица расчёта интенсивности обслуживания

Площадь ROI	Площадь изображения в пикселях	Интенсивность обслуживания (1/с)
Без иерарх. м.	1 200 000	0,1
$\frac{1}{2}$	840 000 (240 000+600 000)	0,14
$\frac{1}{3}$	640 000 (240 000+400 000)	0,19
$\frac{1}{4}$	540 000 (240 000+300 000)	0,22

Уменьшение площади ROI возможно только до определённого числа. Это обусловлено тем, что при уменьшении количества пикселей, отображающих объект, повышается вероятность возникновения ошибок распознавания (как первого, так и второго рода). Так, например, в системах распознавания лиц не рекомендуется уменьшать размер изображения, описывающего объект, ниже 64 пикселей. Изображение меньшего разрешения будет значительно чаще выдавать некорректный результат.

Стоит также отметить, что при использовании иерархического метода вычислительные ресурсы, требуемые для распознавания объекта, сокращаются. Это позволяет либо разделять заявку между процессами распознавания (каналы с взаимопомощью), либо одновременно обрабатывать несколько заявок распараллеливания процесса распознавания. В данной модели будет учтён второй вариант.

На основании вышеперечисленных условий были произведены и расчёты, а полученные результаты занесены в табл. 2 и представлены на рис. 2.

Таблица 2

Результаты расчёта относительной пропускной способности системы распознавания объекта

Параметры системы	Интенсивность потока заявок $\lambda$ (1/с)												
	$\frac{1}{60}$	$\frac{5}{60}$	$\frac{10}{60}$	$\frac{15}{60}$	$\frac{20}{60}$	$\frac{25}{60}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{35}{60}$	$\frac{40}{60}$	$\frac{45}{60}$	$\frac{50}{60}$	$\frac{55}{60}$	$\frac{60}{60}$
Без иерарх. м.	85	54	37	28	23	19	16	14	13	11	10	9	9
$ROI = \frac{1}{2}$	99	90	75	64	55	47	42	37	34	31	28	26	24
$ROI = \frac{1}{3}$	100	99	95	89	82	75	69	64	59	54	51	47	44
$ROI = \frac{1}{4}$	100	99	99	97	95	91	87	83	79	75	71	67	64

Целевой функцией была выбрана относительная пропускная способность ( $Q$ ) – средняя доля поступивших заявок, обслуживаемых системой в единицу времени (т.е. отношение среднего числа заявок, обслуживаемое системой в единицу времени, к среднему числу поступающих за это время заявок). В табл. 2 данная величина для удобства представлена в виде процентов. Как и в табл. 1, первая строка в табл. 2 описывает систему, работающую с применением стандартных методов, а в следующих строчках система применяет иерархический метод. Столбцы соответствуют интенсивности потока заявок, получаемой по формуле (1).

Результаты демонстрируют, что внедрение в систему иерархического метода при любой интенсивности потока заявок даёт прирост в производительности (увеличивается относительная пропускная способность СМО). Наибольший прирост производительности наблюдается при  $\lambda$ , равной 10/60, при переходе от стандартного метода к иерархическому с ROI, равной 1/2 площади оригинального изображения (на 38,4 %). Однако относительная пропускная способность, равная 75,5 %, означает, что примерно в четверти случаев система распознавания будет испытывать перегрузку. В эти моменты времени время распознавания будет больше, чем обычно, что негативно отразится на всех остальных параметрах.

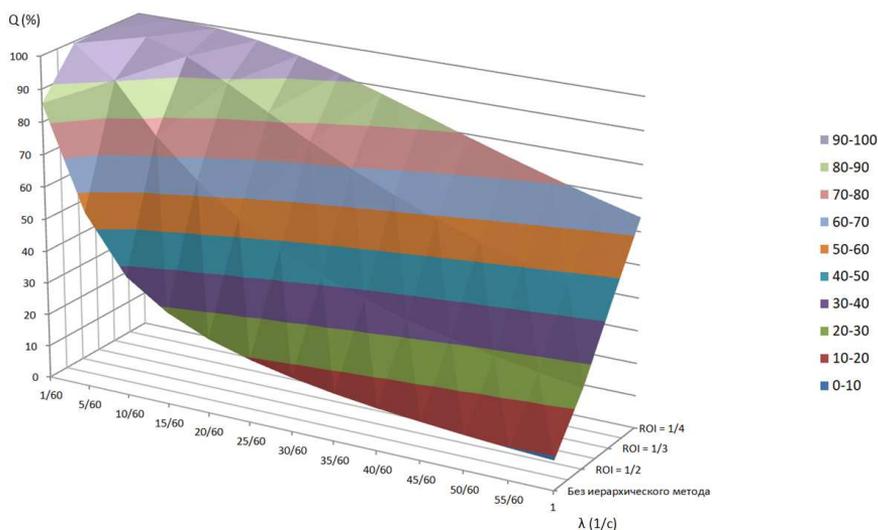


Рис. 2. График относительной пропускной способности системы распознавания объекта

Для эффективного применения иерархического метода распознавания относительная пропускная способность должна быть равна 100 % [14]. Поэтому, исходя из полученных результатов, необходимо обратить внимание на использование ROI = 1/3 и ROI = 1/4 при  $\lambda = 1/60$ . Такая система распознавания будет распознавать все поступающие изображения своевременно, а время распознавания можно будет описать достаточно близко линейной функцией (в случае если алгоритм распознавания перебирает «скользящим окном» все пиксели):

$$T = \frac{hw}{s_1} t + \frac{hw}{s_2} t, \quad (4)$$

где  $h$  – высота изображения в пикселях,  $w$  – ширина изображения в пикселях,  $t$  – время, затрачиваемое «скользящим окном» на операцию распознавания для каждого пикселя,  $s_1$  – коэффициент сжатия изображения для грубого поиска (дубликат изображения в низком качестве),  $s_2$  – коэффициент сжатия изображения для точного поиска (ROI).

Так, согласно формуле (4), время распознавания для моделируемой системы (при ROI = 1/4 и  $\lambda = 1/60$ ) будет определяется как

$$T = \frac{1500}{5}t + \frac{1500}{4}t = 675t. \quad (5)$$

А при стандартном методе, согласно формуле (1), время будет равно «1500t». Это на 55 % медленнее, и, кроме того, время распознавания такой системы будет часто ещё больше увеличиваться из-за перегрузки вычислительной платформы (относительная пропускная способность 85,7 %).

**Выводы.** Иерархический метод распознавания изображения позволяет уменьшить число требуемых вычислительных ресурсов для этого процесса. Это достигается за счёт уменьшения разрешения исходного изображения, выделяя только важную информацию и отбрасывая ненужную. Разработанная модель может быть применена для предварительной оценки эффективности работы иерархической системы распознавания и расчёта характеристик, необходимых для оптимальной работы алгоритма. Однако стоит помнить, что платформе необходимо иметь запас вычислительных ресурсов, чтобы избежать перегрузки. Только в таком случае можно достаточно точно прогнозировать время выполнения операций, используя предложенные расчёты.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке правительства Пермского края в рамках научного проекта № С26/174.6.*

### **Библиографический список**

1. Иванько М.А., Клепикова А.В. Системы искусственного зрения // Вестник МГУП им. Ивана Фёдорова. – 2015. – № 5.
2. Слива М.В. Использование миникомпьютера Raspberry PI для преподавания основ робототехники // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы III Всерос. науч.-практ. конф. / Нижневартон. гос. ун-т. – Нижневартонск, 2014. – С. 326–328.

3. Кокоулин А. Методы распределенной обработки и хранения больших изображений // IEEE EuroCon 2013. – Ст. № 6625191. – С. 1606–1610. DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625191

4. Тур А.И. Использование технологии burst buffer для обработки больших данных // Перспективные технологии в средствах передачи информации: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. ПТСПИ-2017 (г. Суздаль, 5–7 июля 2017 г.). Т. 1 / Рос. науч.-техн. общ-во радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова [и др.]. – Владимир: Изд-во ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2017.

5. Южаков А.А., Кокоулин А.Н., Тур А.И. Иерархическая архитектура сверточной нейронной сети в распределенной системе распознавания лиц // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 28–34. DOI: 10.18127/j19998554-201903-04

6. Supriya Suresh & Subaji Mohan. ROI-based feature learning for efficient true positive prediction using convolutional neural network for lung cancer diagnosis // Neural Computing and Applications. – 2020.

7. Zuech Richard, Taghi M. Khoshgoftaar, Randall Wald. Intrusion detection and Big Heterogeneous Data: a Survey // Journal of Big Data. – 2015.

8. Тур А.И., Кокоулин А.Н., Дзыгарь А.В. Иерархическая система поиска и распознавания штрихкода на повреждённой таре в автомате раздельного сбора отходов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 29. – С. 44–57.

9. Архитектура иерархической сверточной нейронной сети в распределенной системе распознавания лиц / А.Н. Кокоулин, А.И. Тур, А.А. Южаков, А.И. Князев // Материалы конф. молод. ученых-исследователей в области электротехники и электроники (ElConRus), IEEE 2019 (Санкт-Петербург, Москва, 29–30 января 2019 г.), секция IEEE – Российская Северо-Западная секция. [Б. М.] : [б. и.]. – СПб., 2019. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8656727>

10. Проект по сбору контейнеров для напитков / А.Н. Кокоулин, А.А. Южаков, А.И. Тур, С.В. Польшгалов, А.С. Троегубов, В.Н. Коротаев // Материалы конф. ИОР. Сер. Земля и наука об окружающей среде. – 2019. – Т. 317. – Артикул 012006. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/317/1/012006>

11. Clay D. Spence, John C. Pearson, Jim Bergen. Coarse-to-Fine Image Search Using Neural Networks. – URL: <https://papers.nips.cc/paper/982-coarse-to-fine-image-search-using-neural-networks.pdf>

12. Тур А.И., Кokoулин А.Н., Князев А.И. Применение иерархического подхода для распознавания объектов в автоматах по приему использованной тары // Материалы XIII Всерос. совещания по проблемам управления (ВСПУ-2019) (г. Москва, 17–20 июня 2019) / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: Изд-во ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. – 5 с.

13. Kokoulin A. Development of hierarchical distributed GIS system // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2019. – № 19(2.1). – P. 833–839.

14. Cheng Lei, Yee-Hong Yang. Optical Flow Estimation on Coarse-to-Fine Region-Trees using Discrete Optimization. – URL: [https://cs.brown.edu/courses/cs296-4/Papers/2010/iccv2009\\_201.pdf](https://cs.brown.edu/courses/cs296-4/Papers/2010/iccv2009_201.pdf)

15. Южаков А.А., Тур А.И. Выбор алгоритмов для реализации системы машинного зрения // Материалы XIV Всерос. школы-конф. молодых ученых. – 2017. – С. 377–384.

16. Кулаков И.Ю., Вологин Д.А., Пикалов В.В. Многосеточный алгоритм в задаче верной ROI-томографии // Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач: тез. докл. V Междунар. молодеж. науч. школа-конф. (Новосибирск, Академгородок, 8–13 октября 2013 г.). – Новосибирск, 2013.

17. Kokoulin A., May I., Kokoulina A. Image Processing Methods in Analysis of Component Composition and Distribution of Dust Emissions for Environmental Quality Management // Proceedings of 10th International Conference on Large-Scale Scientific Computations (LSSC) / Bulgarian Acad Sci, Sozopol, Bulgaria. – 2015. – June 08–12. – Vol. 9374. – P. 352–359.

18. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и её приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.

19. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.

20. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. – М.: Радио и связь, 1983. – 416 с.

## References

1. Ivan'ko M.A., Klepikova A.V. Sistemy iskusstvennogo zreniia [Systems of artificial vision]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta pechati imeni Ivana Fedorova*, 2015, no. 5.

2. Sliva M.V. Ispol'zovanie minikomp'iutera Raspberry PI dlia prepodavaniia osnov robototekhniki [Using the Raspberry PI minicomputer for teaching the basics of robotics]. *Kul'tura, nauka, obrazovanie: problemy i perspektivy. Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Nizhnevartovsk: Nizhnevartovskii gosudarstvennyi universitet, 2014, pp. 326-328.

3. Kokoulin A. Metody raspredelennoi obrabotki i khraneniia bol'shikh izobrazhenii [Methods for Large Image Distributed Processing and Storage]. *IEEE EuroCon 2013*, stat'ia no. 6625191, pp. 1606-1610. DOI: 10.1109/EUROCON.2013.6625191

4. Tur A.I. Ispol'zovanie tekhnologii burst buffer dlia obrabotki bol'shikh dannykh [Using burst buffer technology for processing big data]. *Perspektivnye tekhnologii v sredstvakh peredachi informatsii. Materialy XII Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia PTSPI-2017 (Suzdal', 5-7 July 2017)*. Vladimir: Vladimirskaia gosudarstvennyi universitet imeni Aleksandra Grigor'evicha i Nikolaia Grigor'evicha Stoletovykh, 2017, vol. 1.

5. Iuzhakov A.A., Kokoulin A.N., Tur A.I. Ierarkhicheskaiia arkhitektura svertochnoi neuronnoi seti v raspredelennoi sisteme raspoznavaniia lits [Hierarchical architecture of a convolutional neural network in a distributed face recognition system]. *Neirokomp'iutery: razrabotka, primenenie*, 2019, vol. 21, no. 3, pp. 28-34. DOI: 10.18127/j19998554-201903-04

6. Supriya Suresh & Subaji Mohan. ROI-based feature learning for efficient true positive prediction using convolutional neural network for lung cancer diagnosis. *Neural Computing and Applications*, 2020.

7. Richard Zuech, Taghi M. Khoshgoftaar, Randall Wald. Intrusion detection and Big Heterogeneous Data: a Survey. *Journal of Big Data*. 2015.

8. Tur A.I., Kokoulin A.N., Dzygar' A.V. Ierarkhicheskaiia sistema poiska i raspoznavaniia shtrikkoda na povrezhdennoi tare v avtomate razdel'nogo sbora otkhodov [Hierarchical system for searching and recog-

nizing a barcode on damaged containers in a separate waste collection machine]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2019, no. 29, pp. 44-57.

9. Kokoulin A.N., Tur A.I., Iuzhakov A.A., Kniazev A.I. Arkhitektura ierarkhicheskoi svertochnoi neuronnoi seti v raspredelennoi sisteme raspoznavaniia lits [Hierarchical Convolutional Neural Network Architecture in Distributed Facial Recognition System]. *Materialy konferentsii molodykh uchenykh-issledovatelei v oblasti elektrotehniki i elektroniki (ElConRus), IEEE 2019 (Saint Petersburg, Moscow, 29-30 January 2019)*. Saint Petersburg, 2019, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8656727>

10. Kokoulin A.N., Iuzhakov A.A., Tur A.I., Polygalov S.V., Troegubov A.S., Korotaev V.N. Proekt po sboru konteinerov dlia napitkov [Beverage Container Collecting Machine Project]. *Materialy konferentsii IOP. Zemlia i nauka ob okruzhaiushchei srede*, 2019, vol. 317, art. 012006, available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/317/1/012006>

11. Clay D. Spence, John C. Pearson, Jim Bergen. Coarse-to-Fine Image Search Using Neural Networks, available at: <https://papers.nips.cc/paper/982-coarse-to-fine-image-search-using-neural-networks.pdf>

12. Tur A.I., Kokoulin A.N., Kniazev A.I. Primenenie ierarkhicheskogo podkhoda dlia raspoznavaniia ob"ektov v avtomatakh po priemu ispol'zovannoi tary [Application of a hierarchical approach for object recognition in machines for receiving used containers]. *Materialy XIII Vseros. soveshchaniia po problemam upravleniia (VSPU-2019) (Moscow, 17-20 June 2019)*. Moscow: Institut problem upravleniia imeni V.A. Trapeznikova RAN, 2019, 5 p.

13. Kokoulin A. Development of hierarchical distributed GIS system. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 2019, no. 19(2.1), pp. 833-839.

14. Cheng Lei, Yee-Hong Yang. Optical Flow Estimation on Coarse-to-Fine Region-Trees using Discrete Optimization, available at: [https://cs.brown.edu/courses/cs2964/Papers/2010/iccv2009\\_201.pdf](https://cs.brown.edu/courses/cs2964/Papers/2010/iccv2009_201.pdf)

15. Iuzhakov A.A., Tur A.I. Vybor algoritmov dlia realizatsii sistemy mashinnogo zreniia [The choice of algorithms for the implementation of a machine vision system]. *Materialy XIV Vserossiiskoi shkoly-konferentsii molodykh uchenykh*, 2017, pp. 377-384.

16. Kulakov I.Iu., Vologin D.A., Pikalov V.V. *Mnogosetochnyi algoritm v zadache vernoj ROI-tomografii [Multigrid algorithm in the problem of fan ROI tomography]. Teoriia i chislennye metody resheniia obratnykh i nekorrektnykh zadach. Tezisy dokladov V Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi shkoly-konferentsii (Novosibirsk, Akademgorodok, 8-13 October 2013).* Novosibirsk, 2013.

17. Kokoulin A., May I., Kokoulina A. *Image Processing Methods in Analysis of Component Composition and Distribution of Dust Emissions for Environmental Quality Management. Proceedings of 10th International Conference on Large-Scale Scientific Computations (LSSC).* Bulgaria: Bulgarian Acad Sci, Sozopol, 2015, June 08-12, vol. 9374, pp. 352–359.

18. Krylov V.V., Samokhvalova S.S. *Teoriia teletrafika i ee prilozheniia [Teletraffic theory and its applications].* Saint Petersburg: BKhV-Peterburg, 2005, 288 p.

19. Venttsel' E.S. *Issledovanie operatsii [Operations research].* Moscow: Sovetskoe radio, 1972, 552 p.

20. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Prikladnye zadachi teorii veroiatnostei [Applied Problems of Probability Theory].* Moscow: Radio i sviaz', 1983, 416 p.

### **Сведения об авторах**

**Тур Александр Игоревич** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tur.aleksandr93@mail.ru).

**Кокоулин Андрей Николаевич** (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: a.n.kokoulin@at.pstu.ru).

**Ахметзянов Кирилл Раисович** (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kirill94a@mail.ru).

**Южаков Александр Анатольевич** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского поли-

технического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: uz@at.pstu.ru).

**Дзыгарь Андрей Владимирович** (Пермь, Россия) – коммерческий директор ООО «ФейсПасс» (Пермь, e-mail: da@facepass.ru).

### **About the authors**

**Tur Alexander Igorevich** (Perm, Russian Federation) is a Assistant of the Department Automatic and Telemechanic Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: tur.aleksandr93@mail.ru).

**Kokoulin Andrey Nikolaevich** (Perm, Russian Federation) is a Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor of the Department Automatic and Telemechanic Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: a.n.kokoulin@at.pstu.ru).

**Akhmetzyanov Kirill Raisovich** (Perm, Russian Federation) is a Graduate Student of the Department Automatic and Telemechanic Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: kirill94a@mail.ru).

**Yuzhakov Aleksandr Anatolyevich** (Perm, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department Automatic and Telemechanic Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: uz@at.pstu.ru).

**Dzygar Andrey Vladimirovich** (Perm, Russian Federation) is a Commercial Director of LLC "FeysPass" (Perm, e-mail: da@facepass.ru).

Получено 17.08.2020