

# Опыт использования методов машинного обучения для анализа мгновенных электронных морских карт

Е. А. Кужбанова, С. В. Поршнева

**Аннотация**—В статье представлена методика использования методов машинного обучения для анализа информации, размещаемой на мгновенных онлайн картах выбранного района Мирового океана, обеспечивающая идентификацию названий находящихся там морских судов. Обсуждаются использованная методика дообучения нейронных сетей, а также результаты сравнительного анализа оценок качества семантического анализа мгновенных морских онлайн карт с помощью инструментов MATLAB OCR и Python PaddleOCR. Рассчитаны матрицы ошибок для выбранных алгоритмов до и после обучения моделей распознавания.

Описан алгоритм вычисления географических координат морских судов, находящихся на мгновенных онлайн картах выбранного района мирового океана.

Совместное использование настроенного программного инструмента, в автоматическом режиме извлекающего названия морских судов из мгновенной онлайн карты, и алгоритма вычисления их координат позволяет заинтересованным исследователям проводить самостоятельные исследования морского трафика.

**Ключевые слова**—распознавание символов, MATLAB OCR, PaddleOCR, машинное обучение

## I. ВВЕДЕНИЕ

По мере расширения портов и увеличении объема морских грузоперевозок возрастает плотность потоков маршрутов морских судов в районах портов, морских проливах и каналах (рис. 1), что в свою очередь, создает риски для безопасности судоходства. Для снижения данных рисков используются автоматизированные идентификационные системы (АИС), которыми в соответствии с V статьей Конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. (Конвенция СОЛАС-74), начиная с июля 2007 г., должно быть оснащено каждое морское судно, совершающее международные рейсы, имеющее валовую вместимость более 300 т., а также береговые службы, ответственные за безопасность движения морского транспорта, и результаты обработки данной информации [1-2].

Статья получена 7 февраля 2025.

Е. А. Кужбанова, Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ УрФУ Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 32 (e-mail: kuzhbanova.elena@urfu.ru).

С. В. Поршнева д. т. н., профессор - Институт радиоэлектроники и информационных технологий – РТФ УрФУ Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира 32 (e-mail: s.v.porshnev@urfu.ru).

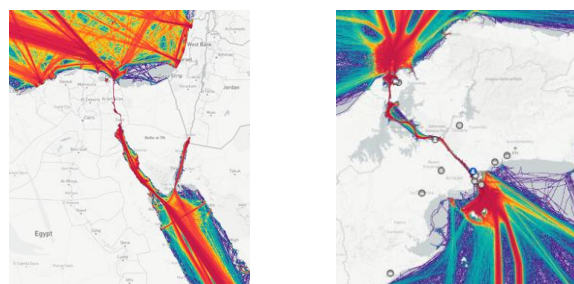


Рисунок 1 – Визуализация оценок плотностей морского трафика: слева – Суэцкий канал, справа – Панамский канал; (синий цвет – плотность судов от 1 до 25 на 0,15 км<sup>2</sup>, красный цвет – плотность судов от 200 до 407000 на 0,15 км<sup>2</sup>)

Сегодня информация, полученная от автоматических идентификационных систем (АИС), является одним из наиболее распространенных источников данных о морском трафике [3-4]. Данную информацию, потенциально, можно получить на различных интернет-порталах, например, [5-6]. Однако, как показывает практика, эти порталы предоставляют ее только на условиях платной подписки. При этом мгновенные электронные онлайн карты выбранного района Мирового океана, на которых отображаются названия морских судов, находящихся в данный момент на них, маркеры, соответствующие типам судов, которые расположены в точках, взаимно однозначно соответствующих их реальным географическим координатам, а также иная дополнительная информация, напротив, находятся в свободном доступе.

В этой связи разработка методов, извлечения информации из мгновенных электронных онлайн морских карт о названиях судов и их координатах с целью формирования собственной базы данных о движении судов в выбранном районе Мирового океана и ее дальнейшего использования для научных исследований является актуальной.

## II. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ, РАЗМЕЩАЕМОЙ НА ОНЛАЙН КАРТАХ

Рассмотрим мгновенные онлайн карты, скаченные с портала Marinetraffic [3] района, находящегося вблизи Керченского пролива, различных масштабов (рис. 2–рис. 3).

Из рис. 2 видно, что в масштабе 10 км /5 морских

миль (Масштаб №1) на карте одновременно находятся участки как Черного, так и Азовского морей, прилегающие к Керченскому проливу. При этом названия некоторых морских судов накладываются друг на друга или отсутствуют, что, не дает возможности извлечь из данной морской карты целостные данные о названиях морских судов, находящихся в районе Керченского пролива, и их координатах.



Рис. 2 – Мгновенные кадр онлайн карты масштаб №1

Из рис. 3 видно, что на мгновенной онлайн морской карте масштаб 2 км / 1 морская миля (Масштаб №2), названия морских судов не накладываются друг на друга. При этом, однако, отображают либо морские суда, находящиеся либо в акватории Черного, либо – в акватории Азовского морей. Отметим, что данное обстоятельство не является значимым недостатком, разработанной нами технологией, так как можно организовать синхронизированную по времени регистрацию онлайн карт и обсуждаемого района Черного и Азовского морей.

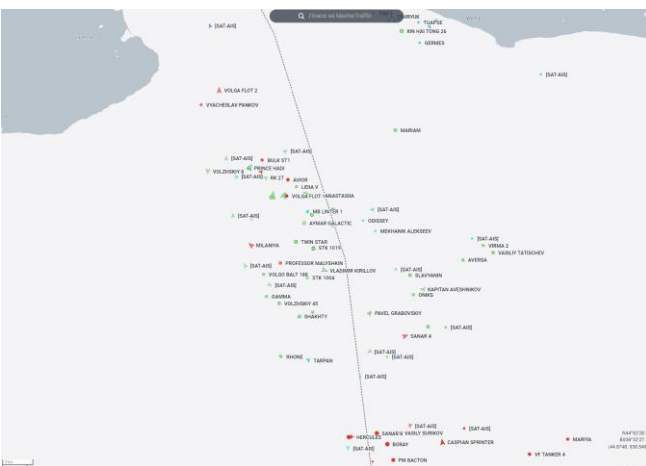


Рис. 3 – Мгновенные кадр онлайн карты масштаб №2

Таким образом, существует потенциальная возможность распознавания на мгновенных онлайн морских картах с масштаб №2 названий каждого из морских судов. Также, принимая во внимание, что название морского судна расположено в непосредственной близости (справа и немного ниже) от

соответствующего маркера морского судна, можно вычислить оценку координат данного морского судна, например, построив вокруг обсуждаемого текста прямоугольник, и приняв в качестве координат долготы и широты морского судна левую верхнюю вершину прямоугольника.

### III. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСПОЗНАВАНИЯ НАЗВАНИЙ МОРСКИХ СУДОВ НА МГНОВЕННЫХ ОНЛАЙН КАРТАХ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ПАКЕТА *MATLAB* И ЯЗЫКА *PYTHON*

#### A. Обзор инструментов распознавания символов на изображении

##### Функция *ocr()* пакета *MATLAB*

Входной переменной функция *ocr()* [7], реализующей распознавание текста с помощью предобученной нейронной сети на неизвестном датасете, является цифровое изображение *I* (матрица, содержащая яркости пикселей изображения) и набор (необязательный) параметров алгоритмов предобработки изображения и распознавания текста. Пример результата распознавания названий морских судов на выбранной мгновенной морской карте масштаб 1 км / 3000 морских футов в отрезках указанной длины с помощью функции *ocr()* представлен на рис. 4.



Рис. 4 – Результат распознавания текста на выбранной мгновенной онлайн морской карте функцией *ocr()*

##### Библиотека *PaddleOCR Python*

Программная библиотека (ПБ) *PaddleOCR* – фреймворк, являющийся, с точки зрения используемых вычислительных ресурсов, сверхлегкой системой с предназначенной для распознавания на изображениях: многоязычных (в том, числе, длинных) текстов, цифр, а также распознавания текста, слова в котором ориентированы вертикально [8–9]. Пример результата распознавания текста на изображении фрагмента мгновенной онлайн морской карты масштаб 1 км / 3000 морских футов в отрезках указанной длины с использованием функций ПБ *PaddleOCR*, представлен на рис. 5.



Рис. 5 – Пример результата распознавания текста с использованием PaddleOCR

**В. Анализ качества автоматического распознавание текста на мгновенных онлайн-картах**

Для количественной оценки качества распознавания символов на мгновенных онлайн картах была использована F-мера [10], являющаяся гармоническим средним [11] между показателями «точность» (*Precision*) и «полнота» (*Recall*).

Рассмотрим результаты автоматического распознавания с помощью обсуждаемых программных инструментов названий морских судов на выбранных онлайн картах масштабами 1 и 2 (рис. 6а) в отрезках указанной длины. Фрагмент матрицы ошибок представлены на рис. 6б соответственно.

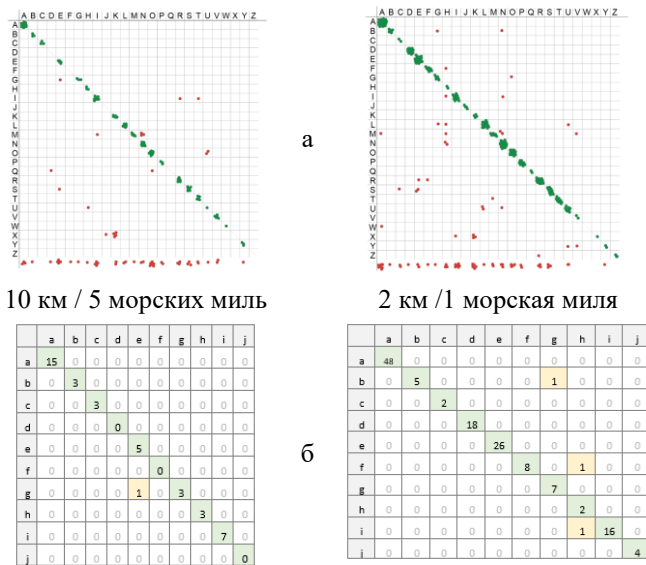


Рис. 6 – Визуализация результатов автоматического распознавания символов функцией *ocr()*: а) на плоскости «действительный символ» – «распознанный символ»; б) фрагмент матрицы ошибок распознавания букв

Результаты распознавания названий морских судов с помощью функции *ocr()* пакета MATLAB на мгновенных электронных картах размещенные на плоскости «действительный символ (ось абсцисс) – распознанный символ (ось ординат)», на которой правильно распознанные символы находятся на диагонали первого координатного квадранта, неправильно распознанные символы вне данной

диагонали, а также фрагмент матрицы ошибок представлены на рисунке 6а, из которого видно, что часть распознанных символов были определены как другие буквы или как сторонние символы. Количественный подсчет показал, что из 598 символов 348 были распознаны как буквы, которые, однако, таковыми не являясь, 596 букв из 721 букв, действительно, находящихся на данной карте, были определены верно.

Рассмотрим результаты распознавания названий морских судов с помощью функций ПБ PaddleOCR представленные на рис. 7а. Фрагмент матрицы ошибок представлены на рисунке 7б соответственно.

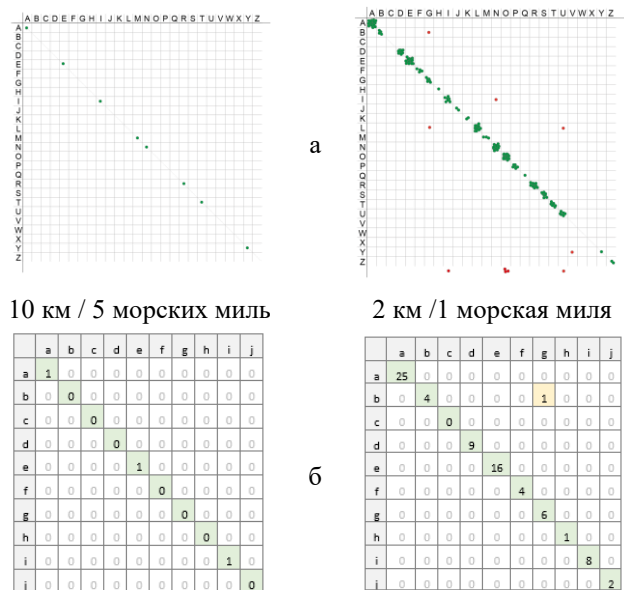


Рис. 7 – Визуализация результатов автоматического распознавания символов ПБ PaddleOCR: а) на плоскости «действительный символ» – «распознанный символ»; б) фрагмент матрицы ошибок распознавания букв

Из рис. 7 видно, что, как и в предыдущем случае, часть распознанных символов были определены как другие буквы или как сторонние символы. Количественный подсчет показал, что из 165 символов 16 были распознаны как буквы, при этом не являясь таковыми, и 149 букв из 751 букв, действительно, находящихся на данной карте, были определены верно.

Соответствующие значения метрик *Precision*, *Recall* и *F*-мера представлены в таблице I.

Таблица I – Значения метрик *Precision*, *Recall* и *F*-мера, вычисленные на основе анализа результатов распознавания символов с помощью функции *ocr()* пакета MATLAB и ПБ PaddleOCR

Метрик <i>a</i>	<i>ocr()</i> MATLAB		ПБ PaddleOCR	
	<i>Macum.Nº 1</i>	<i>Macum.Nº 2</i>	<i>Macum.Nº 1</i>	<i>Macum.Nº 2</i>
<i>Precision</i>	0,519651	0,631356	0,941176	0,90303
<i>Recall</i>	0,231068	0,793609	0,031068	0,198402
<i>F-score</i>	0,319892	0,703245	0,06015	0,325328

С увеличением масштаба точность распознавания букв на морских картах с помощью функции  $ocr()$  пакета *MATLAB* увеличивается, а также сокращается процент ошибочно распознанных символов, как букв, при этом общий процент верно определенных букв возрастает при увеличении масштаба с №1 до №2 с 31% до 70%, соответственно.

ПБ *PaddleOCR* обеспечивают достаточно высокую точность распознавания символов на мгновенных онлайн картах любого масштаба, однако, при этом полнота при масштабе №1 в отрезках указанной длины составляет только 3% и достигает 48% при масштабе 1 км / 1 морская миля в отрезках указанной длины. При этом общий процент верно определенных букв также возрастает при увеличении масштаба с №1 до №2 с 6% до 32% соответственно, что оказывается ниже значения аналогичного показателя у функции  $ocr()$ .

#### IV. 4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ НА МГНОВЕННЫХ ОНЛАЙН КАРТА НА ДООБУЧЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Для повышения точности распознавания текста было проведено дообучение нейронных сетей, используемых в описанных выше инструментах распознавания символов. Для этого были использованы мгновенные карты онлайн карты с указанными выше масштабами, зафиксированные в течение одной недели (504 мгновенных морских карты каждого использованного масштаба).

В пакете *MATLAB* тренировка модели проводилась с помощью встроенного приложения *OCR Trainer*, которое позволяет пометить символьные данные для обучения *OCR* в интерактивном режиме и далее генерировать файл с обученной моделью данных языка для его дальнейшего использования в функции  $ocr()$  [12].

Для управления параметрами обучения и оценки результатов в ПБ *PaddleOCR* использовались файлы конфигурации [13] находящиеся в открытом доступе. Программные инструменты библиотеки *PaddleOCR* считывали данные параметры из файла конфигурации, и, далее, реализовывался полный учебный процесс обучения модели. Отметим, что в процессе обучения модели можно было использовать возможность задания значений некоторых параметров, что позволило получить оптимальный результат с наименьшими затратами.

Таким образом, полученные результаты до обучения и после обучения модели  $ocr()$  *MATLAB* представлены в таблице II, ПБ Python *PaddleOCR* представлены в таблице III.

Соответствующие значения мер качества распознавания Precision, Recall и F-score, представлены в таблице IV

Таблица II – Сравнение полученных результатов распознавания символов до и после обучения модели пакета *MATLAB*

	Масштаб №1		Масштаб №2	
	верно	всего	верно	всего
До обучения	119	515	596	751
После обучения	339	485	106	251

Таблица III – Сравнение полученных результатов распознавания символов до и после обучения модели ПБ Python *PaddleOCR*

	Масштаб №1		Масштаб №2	
	верно	всего	верно	всего
До обучения	16	515	149	751
После обучения	66	485	233	251

Таблица IV – Оценки значений мер Precision, Recall и F-score после дообучения

Метрика <i>a</i>	$ocr()$ <i>MATLAB</i>		ПБ <i>PaddleOCR</i>	
	Macum.№1	Macum.№2	Macum.№1	Macum.№2
Precision	0,705179	0,605714	0,985075	1
Recall	0,665414	0,422311	0,128155	0,928287
F-score	0,68472	0,647653	0,226804	0,96281

При увеличении масштаба мгновенной онлайн морской карты точность распознавания символов пакета *MATLAB* изменяется с 68% до 64%, при этом общий процент верно определенных букв при увеличении масштаба уменьшается от 70% (на мгновенных онлайн морских картах масштаба №1) до 60% (на мгновенных онлайн морских картах масштаба №2), на 10%.

Инструменты ПБ *PaddleOCR* при использовании дообученной нейронной сети обеспечивают достаточно высокую точность определения символов на мгновенных онлайн картах каждого из выбранного масштабов. Однако, дообученная нейронная сеть на картах большого масштаба точность распознавания оказывается меньше 100%. При этом на мгновенных онлайн картах масштаба №2 оказываются верно и точно определенными 96% всех символов.

Таким образом, проведенный анализ качества извлечения информации из мгновенных онлайн морских карт показал, что использование инструменты ПБ *PaddleOCR* обеспечивает лучшие результаты в сравнении с функцией  $ocr()$  пакета *MATLAB*: дообученная нейронная сеть пакета *MATLAB* демонстрирует 68%-ю точность определения символов на мгновенных онлайн морских картах с масштабом №1 морская миля в отрезках указанного размера и 64% на мгновенных онлайн морских картах масштабом №2, в то время как точность распознавания названий морских судов с помощью инструментов ПБ *PaddleOCR* при тех же условиях составляет 22% и 96%, соответственно. При этом необходимо отметить, что дообучение нейронной сети в пакете *MATLAB* является более трудоёмкой и затратной по времени процедурой, чем дообучение нейронной сети в Python



#### V. АЛГОРИТМ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О МОРСКИХ СУДАХ ИЗ МГНОВЕННЫХ ОНЛАЙН МОРСКИХ КАРТ

Для каждого из названий морских судов находятся координаты вершин минимально возможного размера прямоугольников, описанных вокруг названий судов,  $(X_A, Y_A)$ ,  $(X_B, Y_B)$ ,  $(X_C, Y_C)$ ,  $(X_D, Y_D)$  (рис. 8), и, далее, вычисляются координаты морских судов по следующим формулам:

$$E = X_E + Box_x \cdot \frac{X_{Ei}}{X}, \quad (1)$$

$$N = X_N + Box_y \cdot \frac{X_{Ni}}{Y}$$

где  $X_E$  – долгота выбранной точки на карте,  $X_N$  – широта выбранной точки на карте,  $Box_x$  – точка описанного треугольника по абсциссе,  $Box_y$  – точка описанного треугольника по ординате,  $X_{Ei}$  – смещение долготы на карте,  $X_{Ni}$  – смещение широты на карте,  $X$  – размер полученного изображения по абсциссе,  $Y$  – размер полученного изображения по ординате.

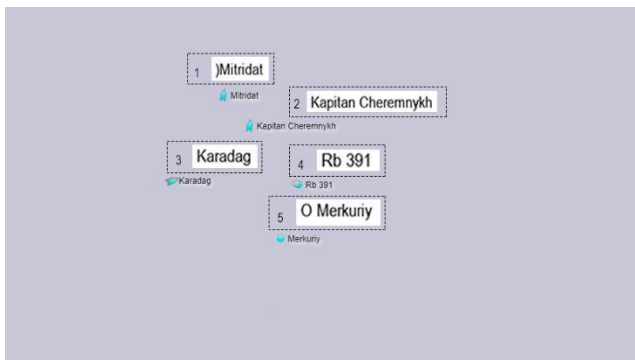


Рис. 8 – Результат анализа электронной карты

При анализе текста, находящегося внутри описанного вокруг него прямоугольника, оказалось, что в ряде случаев данный текст содержал лишние символы, являющиеся частью маркера, которые, однако, были распознаны как часть названия судна (рис.8, названия № 1, 5). В этой связи было предложено исключить из названия судна специальные символы, а также слова длиной менее двух символов. Координаты долготы и широты каждого судна, а также его имя, вычисляются по алгоритму, представленному на рис. 9, из которого видно, что он реализуется выполнением следующей последовательности действий:

- 1) Определить количество файлов в директории,  $N$ .
- 2) Обработка изображений:
  - 2.1) извлечь имена изображений  $datetime_1 \dots datetime_i$
  - 2.2) распознать текст на изображении алгоритмом PaddleOCR, в формате:  $result_i[[x_{i1}, y_{i1}], [x_{i2}, y_{i1}], [x_{i2}, y_{i2}], [x_{i1}, y_{i2}], name_i]$ ;
  - 2.3) проверить  $name_i$  на наличие посторонних символов (символы, не являющиеся буквами или цифрами), если такие имеются перейти в п.2.4, иначе п.2.5;

2.4) удалить из  $name_i$  символы, не являющиеся буквами (a...z) или цифрами (0...9);

2.5) преобразовать координаты прямоугольной области распознанного текста  $[x_{i1}, y_{i1}], [x_{i2}, y_{i1}], [x_{i2}, y_{i2}], [x_{i1}, y_{i2}]$  в координаты долготы и широты, согласно (1);

2.6) добавить данные в таблицу ResultTable в формате:

$[name_i, coordinateE_i, coordinateN, datetime_i, date_i, time_i]$

3) Экспорт таблицы ResultTable в файл MarinTable.csv

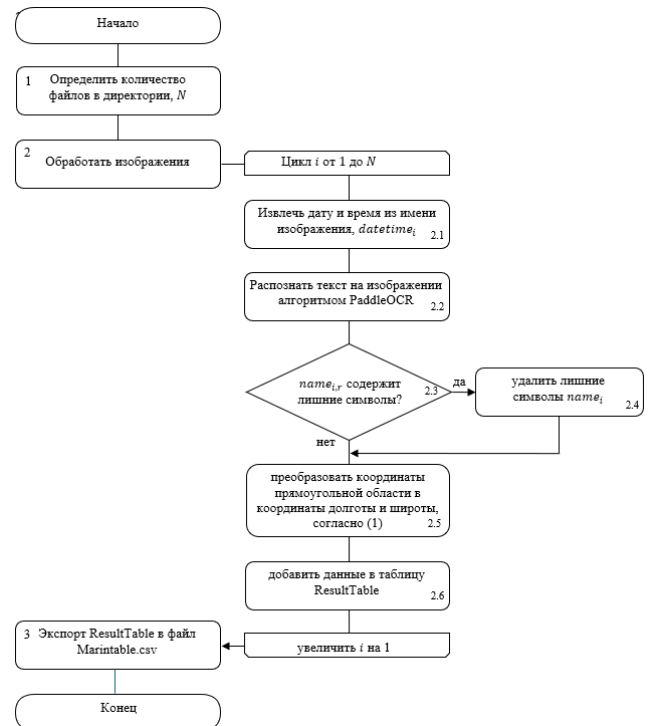


Рис.9 – Схема алгоритма извлечения первичной информации из изображения

Результатом работы алгоритма является таблица в формате \*.csv (рис.10), что позволяет в дальнейшем импортировать данные в необходимую для обработки или визуализации среду.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Name,E,N,Date,Time							
2	Antalya,36.6618,45.386,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
3	Antey,36.6214,45.3981,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
4	Baltiets,36.6792,45.3761,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
5	Catharine,36.6478,45.3846,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
6	Chelsea6,36.6445,3906,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
7	Meroving,36.6443,45.3812,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
8	Harita,36.6478,45.3928,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							
9	KapitanCheremnyk,36.6348,45.4129,2020-09-13 00:18:43,2020-09-13,00:18:43							

Рис.10 – Таблица в формате

$[name_i, coordinateE_i, coordinateN, datetime_i, date_i, time_i]$

Потенциально данная информация позволит проводить количественный анализ морского трафика и выявлять особенности движения морских судов в выбранном участке Мирового океана, в том числе, например определить время ожидания морским судном

перед проходом через выбранную область Мирового океана (например, морской пролив), определить направление движения морского судна, в том числе вычислять зависимости числа морских судов, прошедших в прямом и обратном направлениях, в течение временного интервала выбранной длительности и т. д.

#### VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ качества извлечения информации из мгновенных онлайн морских карт показал, что использование инструменты ПБ PaddleOCR обеспечивает лучшие результаты в сравнении с функцией OCR пакета MATLAB.

Представленный алгоритм извлечения информации из онлайн морских карт выбранной части Мирового океана, позволяет определить название судна, его координаты, а также зафиксировать время прибытия судна в исследуемый район. Данная информация позволяет исследовать особенности движения морских судов, в том числе, в морских проливах и каналах, а также других участках Мирового океана, требующих особого внимания.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] UNCTAD. Review of Maritime Transport 2023; United Nations Publications: New York, NY, USA, 2024.
- [2] Yu, Q.; Teixeira, A.; Liu, K.; Rong, H.; Soares, C. An integrated dynamic ship risk model based on Bayesian Networks and Evidential Reasoning. Reliab. Eng. Syst. Saf. 2021,216, 107993.
- [3] Guo, S.; Zhang, H.; Guo, Y. Toward Multimodal Vessel Trajectory Prediction by modeling the distribution of modes. Ocean Eng.2023,282, 115020.
- [4] Chen, X.Q.; Dou, S.T.; Song, T.Q.; Wu, H.F.; Sun, Y.; Xian, J.F. Spatial-Temporal Ship Pollution Distribution Exploitation and Harbor Environmental Impact Analysis via Large-Scale AIS Data. J. Mar. Sci. Eng. 2024,12, 960.
- [5] Marine Traffic. Available online: <https://www.marinetraffic.com> (accessed on 01.08.2020).
- [6] Vessel Finder. Available online: <https://www.vesselfinder.com> (accessed on 05.06.2019).
- [7] Recognize Text Using Optical Character Recognition (OCR) Available online: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/recognize-text-using-optical-character-recognition-ocr.html> (accessed on: 25.10.2024).
- [8] PaddleOCR Available online: <https://pypi.org/project/paddleocr/> (accessed on: 05.04.2022).
- [9] PaddleOCR Available online: <https://github.com/PaddlePaddle/PaddleOCR/tree/main> (accessed on: 05.04.2022).
- [10] C.J. van Rijsbergen: Information Retrieval. 2nd Edition. Butterworth, 1979.
- [11] Harmonic Mean – from Wolfram MathWorld Available online: <https://mathworld.wolfram.com/HarmonicMean.html> (accessed on: 01.06.2023).
- [12] Train OCR model to recognize text in image Available online: [https://www.mathworks.com/help/vision/ref/trainocr.html#responsive\\_offcanvas](https://www.mathworks.com/help/vision/ref/trainocr.html#responsive_offcanvas) (accessed on: 05.04.2022).
- [13] PaddleOCR Available online: [https://github.com/PaddlePaddle/PaddleOCR/blob/main/doc/doc\\_en/config\\_en.md](https://github.com/PaddlePaddle/PaddleOCR/blob/main/doc/doc_en/config_en.md) (accessed on: 05.04.2022).

# Experience in using machine learning methods for analyzing electronic nautical charts

E.A. Kuzhbanova, S.V. Porshnev

**Abstract**—The article presents a methodology for using machine learning methods to analyze information posted on instant online maps of a selected area of the World Ocean, providing identification of the names of ships located there. The methodology used to train neural networks is discussed, as well as the results of a comparative analysis of the quality estimates of the semantic analysis of instant online marine maps using MATLAB OCR and Python PaddleOCR tools. The error matrices for the selected algorithms are calculated before and after training the recognition models.

An algorithm for calculating the geographical coordinates of ships located on instant online maps of a selected area of the world ocean is described.

The combined use of a customized software tool that automatically extracts the names of ships from an instant online map and an algorithm for calculating their coordinates allows interested researchers to conduct independent studies of maritime traffic.

**Keywords**—character recognition, MATLAB OCR, PaddleOCR, machine learning

## REFERENCES

- [1] UNCTAD. Review of Maritime Transport 2023; United Nations Publications: New York, NY, USA, 2024.
- [2] Yu, Q.; Teixeira, A.; Liu, K.; Rong, H.; Soares, C. An integrated dynamic ship risk model based on Bayesian Networks and Evidential Reasoning. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2021,216, 107993.
- [3] Guo, S.; Zhang, H.; Guo, Y. Toward Multimodal Vessel Trajectory Prediction by modeling the distribution of modes. *Ocean Eng.*2023,282, 115020.
- [4] Chen, X.Q.; Dou, S.T.; Song, T.Q.; Wu, H.F.; Sun, Y.; Xian, J.F. Spatial-Temporal Ship Pollution Distribution Exploitation andHarbor Environmental Impact Analysis via Large-Scale AIS Data. *J. Mar. Sci. Eng.* 2024,12, 960.
- [5] Marine Traffic. Available online: <https://www.marinetraffic.com> (accessed on 01.08.2020).
- [6] Vessel Finder. Available online: <https://www.vesselfinder.com> (accessed on 05.06.2019).
- [7] Recognize Text Using Optical Character Recognition (OCR) Available online: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/recognize-text-using-optical-character-recognition-ocr.html> (accessed on: 25.10.2024).
- [8] PaddleOCR Available online: <https://pypi.org/project/paddleocr/> (accessed on: 05.04.2022).
- [9] PaddleOCR Available online: <https://github.com/PaddlePaddle/PaddleOCR/tree/main> (accessed on: 05.04.2022).
- [10] C.J. van Rijsbergen: Information Retrieval. 2nd Edition. Butterworth, 1979.
- [11] Harmonic Mean – from Wolfram MathWorld Available online: <https://mathworld.wolfram.com/HarmonicMean.html> (accessed on: 01.06.2023).
- [12] Train OCR model to recognize text in image Available online: [https://www.mathworks.com/help/vision/ref/trainocr.html#responsive\\_offcanvas](https://www.mathworks.com/help/vision/ref/trainocr.html#responsive_offcanvas) (accessed on: 05.04.2022).
- [13] PaddleOCR Available online: [https://github.com/PaddlePaddle/PaddleOCR/blob/main/doc/doc\\_en/config\\_en.md](https://github.com/PaddlePaddle/PaddleOCR/blob/main/doc/doc_en/config_en.md) (accessed on: 05.04.2022).

Manuscript received Feb. 07, 2025

E A Kuzhbanova - The Institute of Radioelectronics and Information Technologies, 620002 Ural Federal University, Mira st. 32, Yekaterinburg, Russia ( e-mail: kuzhbanova.elena@urfu.ru).

S V Porshnev, The Institute of Radioelectronics and Information Technologies, 620002 Ural Federal University, Mira st. 32, Yekaterinburg, Russia / N.N. Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (e-mail: s.v.porshnev@urfu.ru)