

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-738-748

REVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES OF VESSEL MONITORING IN THE WATER AREAS OF THE INLAND WATERWAYS USING VIDEO SURVEILLANCE TOOLS

A. P. Bespalov, V. V. KaretnikovAdmiral S. O. Makarov State University of Marine and River Engineering”,
St. Petersburg, Russian Federation.

At present, there is a problem on inland waterways located within the boundaries of large settlements to ensure monitoring of vessel traffic, including small vessels. This situation is due to limitations on the use of traditional means of monitoring of inland waterway vessels, caused primarily by restrictions on the use of radar systems and radio-technical means operating in the ultra-short-wave frequency range within the city limits. At the same time in large cities of the Russian Federation implemented and successfully used video surveillance systems. The system operating in the city of Moscow to monitor the water area within the city as part of the city traffic control system is considered. Most of the sections of inland waterways located within the limits of St. Petersburg fall within the range of the cameras. The article considers possible approaches to use the city video surveillance system for monitoring the water area within the city limits of St. Petersburg. The paper describes technologies based on artificial neural networks potentially suitable for identification of ships and determination of their exact location at a given moment of time. Advantages and disadvantages of the considered methods are analyzed, as well as a variant of solving the inverse problem of bearing of ships (from the shore) using video surveillance systems consisting of two cameras is proposed. The algorithm of the system operation for identification and determination of vessel movement parameters is proposed. Domestic and foreign experience of solving the problems of vessel identification using video surveillance systems, as well as determining the parameters of vessel movement is analyzed. Several neural networks (object detection, text recognition) are proposed as a solution as a basis for further study of the described problem.

Keywords: vessel movement monitoring, artificial neural networks, vessel detection on video stream, vessel identification, vessel positioning.

For citation:

Bespalov Aleksandr P. and Vladimir V. Karetnikov “Review of modern technologies of vessel monitoring in the water areas of the inland waterways using video surveillance tools.” *Vestnik of the State University of Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov* 16.5 (2024): 738–748. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-738-748.

УДК 629.125, 004.89

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА СУДОВ НА АКВАТОРИЯХ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

А. П. Беспалов, В. В. КаретниковФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой работы является исследование проблемы обеспечения мониторинга движения судов, в том числе маломерных на внутренних водных путях, расположенных в границах крупных населенных пунктов. Отмечается, что такая ситуация обусловлена в первую очередь ограничениями в применении радиолокационных систем и радиотехнических средств, работающих в ультракоротковолновом частотном диапазоне в черте города. Акцентируется внимание на том, что в крупных городах Российской Федерации внедрены и успешно используются системы видеонаблюдения. Рассмотрена система, действующая в г. Москве для наблюдения за акваторией в черте города в рамках системы управления движением транспорта. В зону действия камер попадает большинство участков внутренних водных путей, расположенных в черте г. Санкт-Петербурга.

Рассмотрены возможные подходы использования городской системы видеонаблюдения для мониторинга акватории в черте г. Санкт-Петербурга. Описаны технологии на основе искусственных нейронных сетей потенциально пригодные для идентификации судов и определения их точного местонахождения в заданный момент времени. Проанализированы преимущества и недостатки рассмотренных методов, а также предложен вариант решения обратной задачи пеленга судов (с берега) с применением систем видеонаблюдения, состоящее из двух камер. Предложен алгоритм работы системы для идентификации и определения параметров движения судов. Проанализирован отечественный и зарубежный опыт решения проблем идентификации судна с использованием систем видеонаблюдения, а также определения параметров движения судов. В качестве решения предложены следующие нейронные сети: поиск объекта и распознавание текста как основа для дальнейшего изучения исследуемой проблемы.

Ключевые слова: мониторинг движения судов, искусственные нейронные сети, обнаружение судов на видеопотоке, идентификация судов, определение местоположения судов.

Для цитирования:

Беспалов А. П. Обзор современных технологий мониторинга судов на акваториях ВВП с использованием средств видеонаблюдения / А. П. Беспалов, В. В. Каретников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 5. — С. 738–748. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-738-748.

Введение (Introduction)

В течение последних 10–15 лет в крупных городах формируются системы видеонаблюдения, в зону действия которых попадают отдельные участки водных акваторий, расположенных в черте города. Это позволяет осуществлять мониторинг движения флота на таких акваториях с использованием камер видеонаблюдения. Подобная ситуация также имеет место в г. Санкт-Петербурге. Актуальность данного решения безусловна ввиду наличия в городе достаточно большого количества маломерных судов, на которых установка транспондеров АИС необязательна и не производится. Кроме того, применение АИС в черте города осложняется рельефом водных артерий, городской застройкой, а также большим количеством источников, сосредоточенных по спектру помех.

Примером такой системы является московская система Центра организации дорожного движения (ЦОДД) для наблюдения за трафиком на водных акваториях, расположенных в черте г. Москвы. Данная система включает в себя несколько сотен камер, систему идентификации судов, а также позволяет определять основные элементы движения судов по реке. Однако она не подразумевает определение точного местоположения судов в системе координат WGS-84 или другой системе координат, а также и элементов их движения. Указанная система создавалась независимо, причем стоимость ее оказалась весьма значительной. В то же время использование камер практически любой системы видеонаблюдения дает возможность получать подобные или даже лучшие результаты для обеспечения мониторинга и управления судоходной обстановкой в черте города. Так, например, в г. Санкт-Петербурге внедрена система видеонаблюдения «Безопасный город», которая не подразумевает в ее текущем состоянии решить такую задачу. Однако при получении данных камер видеонаблюдения и соответствующей обработки можно реализовать элементы системы мониторинга безопасности судоходства на акваториях в черте города. В такой ситуации необходимо учесть некоторые факторы, а именно: наличие большого количества мостов, узких каналов, а также большое количество судов малой размерности и высокие ограждения, перекрывающие видимость. Суда в узких каналах могут занимать до 70 % ширины, вследствие чего распознавание названия судна будет осложнено. В данном случае основной проблемой являются суда малой размерности, так как их названия зачастую размещаются довольно специфично из-за сравнительно невысокого надводного борта таких судов.

Система видеонаблюдения за судами позволит получать информацию о перемещении судов диспетчеру служб движения Администрации бассейна внутренних водных путей (АБ ВВП) из нескольких независимых источников, что положительно отразится на уровне обеспечения безопасности судоходства в акваториях, расположенных в черте города. В случае внедрения

такой системы появится возможность идентификации самого судна, определение его названия и местоположения. Кроме того, можно получить данные о направлении движения, определить курс судна и скорость его движения. Указанные параметры позволят также осуществлять контроль исполнения обязательных требований по обеспечению безопасности плавания судов на ВВП РФ.

В зарубежных научных работах исследователи изучают использование искусственных нейронных сетей (ИНС) для мониторинга судоходства. Например, в [1] рассматривается алгоритм обнаружения движущихся судов всех типов. Эта система рассматривается как вспомогательная, дополняющая данные автоматической идентификационной системы (АИС), систем радиолокационного наблюдения (РЛС) и других приборов.

В данном исследовании предлагается использовать ИНС для обнаружения и отслеживания судов на ВВП. Этот алгоритм может быть использован в качестве дополнения к существующим системам мониторинга судоходства, таким как АИС, РЛС и др. приборы [1], [2].

В статье [3] предложен инновационный подход к определению местоположения судов внутреннего плавания, основанный на использовании существующей инфраструктуры камер видеонаблюдения, установленных на мостах и причалах. Предложенный метод включает преобразование изображений с камер в геодезическую область данных с помощью модифицированного метода проективного преобразования, дополненного последовательным проективным преобразованием (SPT). Такой подход позволяет использовать виртуальные опорные точки для расчета коэффициентов преобразования, применяемых затем для определения положения судов и одновременной калибровки промышленной камеры [3].

Методы и материалы (Methods and Materials)

Обнаружение судна. Обнаружения объектов на кадре видеоизображения, полученного с камер видеонаблюдения, является довольно распространенной задачей, основным способом решения которой в последнее время является применение искусственных нейронных сетей [4]–[6]. Задача по определению и последующей идентификации судна на изображении решалась многократно. Основным направлением решения данной задачи в рамках судоходства является определение перемещения морских судов в прибрежных зонах [7]–[9]. В случае обнаружения надводных объектов на реках с использованием компьютерного зрения следует учитывать, что в условиях рек и каналов «шумящими» воздействиями будут являться берега и постройки, расположенные на них. При этом необходимо отметить, что при организации видеонаблюдения на ВВП, камеры устанавливаются, как правило, с отрицательным наклоном относительно линии горизонта. При установке камер на коренном берегу угол обзора на акватории будет выше, чем в случае установки камер на пойменном берегу. При этом необходимо учитывать, что в основном наборы данных для обучения нейронных сетей состоят из изображений морских судов, что не отвечает задачам идентификации речных, а тем более маломерных судов ввиду значительной разницы в габаритных размерах, конструкции, а также других особенностей.

Первостепенной задачей для решения данной проблемы будет являться сбор изображений речных судов различного рода для последующей их маркировки. Таким образом, можно составить набор данных для предварительного обучения нейронной сети, задачей которой будет являться определение и последующая идентификация судна по его изображению. Для определения судна на изображении, полученном с камеры, можно использовать два подхода.

Первый подход, называемый Object Detection (поиск объектов), является проверенным и часто применяемым в задачах определения морских судов на изображении [10], [11]. Он подразумевает выделение судна прямоугольником, центр которого совпадает с центром судна на изображении (рис. 1). Данный подход позволяет получать решение указанной задачи достаточно быстро, однако он подразумевает наличие судна целиком на изображении. Также возможны погрешности в определении прямоугольника, в котором находится судно из-за отражения корпуса судна в воде. При использовании этого подхода возможно применение предобученных нейронных сетей (например, YOLOv11).

Существует несколько версий моделей нейронных сетей с различным количеством параметров, оказывающих влияние на точность и скорость обработки исходных изображений. Так, версия YOLO8n имеет 3,2 млн параметров и значение метрики mAP (mean Average Precision, средняя точность) равно 37,3. Время работы для обработки кадра составляет 0,99 мс. Версия YOLOv8x имеет 68,2 млн параметров, метрика mAP равна 53,9, среднее время обработки составляет 3,53 мс. Все метрики рассчитывались на изображениях размером 640*640 пикселей.



Рис. 1. Маркировка судов на изображении для поиска объектов¹

Второй подход является более трудоемким, так как подразумевает маркировку не только судов на изображении, но и маркировку фона. Такие задачи называются Image Segmentation (сегментация изображений) и подразумевают определение класса для каждого пикселя изображения [12], [13]. В условиях г. Санкт-Петербурга фоном будут являться: поверхность воды, отвесные берега, набережные, здания и сооружения (рис. 2) для сегментации изображения². Данный подход позволяет идентифицировать судно с изображения более точно, по сравнению с первым, при этом повысится вероятность корректного определения судна. Также повысится точность в определении центральной точки судна для заданного момента времени за счет исключения из обработки (или анализа) «пикселей фона».



Рис. 2. Маркировка судов на изображении для его сегментации

¹ Job Schot — Flickr [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.flickr.com/photos/144587555@N04>

² Beyond Simple Cutouts: Advanced Segmentation Techniques with Segment Anything [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.labelvisor.com/beyond-simple-cutouts-advanced-segmentation-techniques-with-segment-anything> (дата обращения: 28.08.2024).

Версия YOLOv8 для сегментации изображения (YOLOv8n-seg) имеет 3,4 млн параметров, mAP = 36,7, время обработки — 1,21 мс. Версия YOLOv8x-seg имеет 71,8 млн параметров, mAP = 53,4, время обработки — 4,02 мс.

Идентификация судна. Для распознавания названия судна необходимо учесть следующее обстоятельство: названия судна могут быть размещены как на носу судна, так и на корме. Причем месторасположение названия может различаться для разного класса судов^{3,4,5,6}. Так, например, большинство катеров имеют название на носу судна, нанесенное на относительно ровную поверхность корпуса судна. На надувных моторных лодках названия могут быть размещены на борту цилиндрической формы. Ввиду этих условий возникает сложность в определении местоположения названия маломерного судна. Кроме того, необходимо учитывать, что маломерные суда могут иметь название и номер государственной регистрации.

С учетом указанных факторов необходимо реализовать систему, которая будет находить название судна, а также переводить его из изображения в текст, после чего должна осуществляться однозначная идентификация. Для этого необходимо иметь набор данных для определения названий судов. Этот набор данных подразумевает наличие изображений с судами, а также промаркированными названиями этих судов, причем маркировка может быть выполнена двумя способами, а именно: маркировка всего названия либо посимвольная маркировка названия.

При использовании первого способа необходимо обучить нейронную сеть обнаружению части изображения с текстом, которое подразумевает название судна и последующей передаче этого фрагмента изображения в систему распознавания текста (OCR) — рис. 3 [14].



Рис. 3. Пример идентификации судов [14]
(зеленым цветом выделено верное распознавание, красным — ошибочное)

При использовании второго подхода нейронная сеть будет обучаться таким образом, что при поиске также будут определяться и сами символы и, соответственно, не требуется дополнительного программного обеспечения в виде системы распознавания текста. Однако данный способ нежелателен, так как возможен случай, когда один из символов на изображении не будет распознан. В качестве системы распознавания текста можно использовать *предобученные нейронные сети*, а также их готовые программные реализации с открытым исходным кодом (например, tesseract).

³ Кодекс внутреннего водного транспорта РФ. Ст. № 13 «Средства идентификации судна».

⁴ Приказ министерства транспорта РФ № 129 от 14.10.2002.

⁵ Приказ МЧС России № 566 от 15.08.2021.

⁶ Приказ МЧС России № 777 от 27.07.2023.

Определение местоположения судна. Определение местоположения судна является ключевой задачей в данной системе, для реализации которой необходимо знать как центральную точку судна, так и расположение камеры относительно этого судна. Также необходимо правильно вычислить центральную точку судна, относительно которой будут выполняться последующие измерения и расчеты. При этом необходимо учитывать, что при изменении центральной точки последующие измерения будут иметь погрешность. Учитывая, что длина судов пассажирского класса, эксплуатируемых на ВВП регионального значения, расположенных в черте г. Санкт-Петербурга, в среднем не превышает 10 м, а длина маломерных судов обычно не превышает 5 м, необходимо добиться точности в определении местоположения, по крайней мере, не менее 1 м. Причем ширина судового хода на этих ВВП составляет 6–14 м⁷. При такой точности данная система позволяет определять местоположение судна, сопоставимое с точностью штатного режима Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GPS/ГЛОНАСС. Ошибка в определении местоположения не будет накапливаться со временем, как, например, в бесплатформенной инерциальной навигационной системе (БИНС) ввиду того, что каждый кадр будет восприниматься ею отдельно. Однако в дальнейшем эта ошибка может повлиять на расчеты скорости движения судна и его курса.

Для определения местоположения судов можно использовать следующие способы:

- построить сетку координат, узлами которой будут являться точно известные координаты, заранее внесенные в систему;
- использовать искусные нейронные сети путем их обучения на основе данных, полученных с установленных камер, а также динамическую информацию, передаваемую в системе АИС;
- использовать несколько камер видеонаблюдения для триангуляции судна.

Каждый из данных методов имеет свои преимущества и недостатки. Главным преимуществом использования сетки координат (рис. 4) является достаточная простота в определении местоположения для точки, находящейся внутри этой сетки [15]. Однако с удалением искомой точки от камеры точность определения местоположения будет снижаться существенным образом. Расстояние, на котором точность будет приемлема, зависит от угла и высоты расположения этой камеры, а также от разницы высот между искомой точкой (судном) и камерой. При этом необходимо отметить, что нанесение координатной сетки требует значительных человеческих ресурсов и не подлежит существенной автоматизации, что является главной причиной, не позволяющей использовать данный метод на практике.

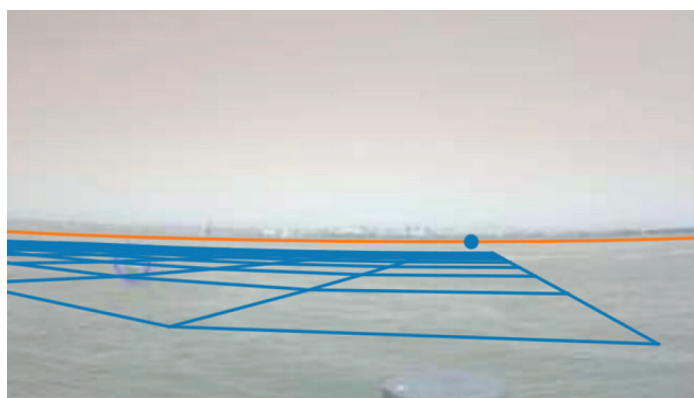


Рис. 4. Пример нанесения координатной сетки [15]

Обучение нейронных сетей для определения местоположений подразумевает, что изображение после определения искомой точки будет передаваться в нейронную сеть, а также данные с приемника АИС будут являться целевыми значениями для данной нейронной сети. Исходя из этого

⁷ Карта внутренних водных путей регионального значения в границах Санкт-Петербурга (1 : 1000) / Сост. и подгот. к изд. ФБУ «Администрация «Волго-Балт», 2023 г.; отв. ред. М. В. Завьялова. СПб.: ФБУ «Администрация «Волго-Балт». 1 атл. (33 с.).

можно сделать вывод о том, что данное решение будет являться, по сути, аналогом сетки координат. Кроме того, появляется необходимость в больших вычислительных мощностях для обучения собственной нейронной сети для каждой камеры, что позволяет значительно уменьшить скорость внедрения такой системы на практике. Также при этом нельзя быть уверенными в том, что все передатчики, установленные на частных судах, будут правильно настроены и позволят передавать валидные данные с системы GPS / ГЛОНАСС.

Пеленг наземных объектов с известными координатами для определения местоположения давно известен и применяется в судоходстве⁸. На рис. 5 приведена примерная схема определения местоположения судна с использованием пеленга двух маяков (M и M_1).

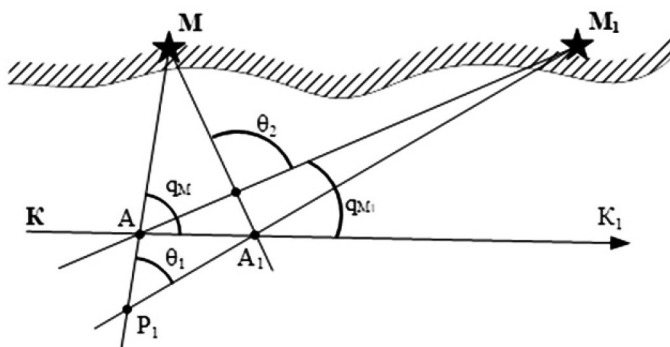


Рис. 5. Определение места по двум пеленгам

Данный способ позволяет определить местоположение судна относительно нескольких статичных объектов, при этом он отличается тем, что измерение выполняется не с самого судна, как это принято в судоходстве, а со статичных объектов, установленных на берегу (в данном случае с камер видеонаблюдения). Разбив кадр на столбцы равной ширины, можно получить относительный угол между камерой и точкой измерения.

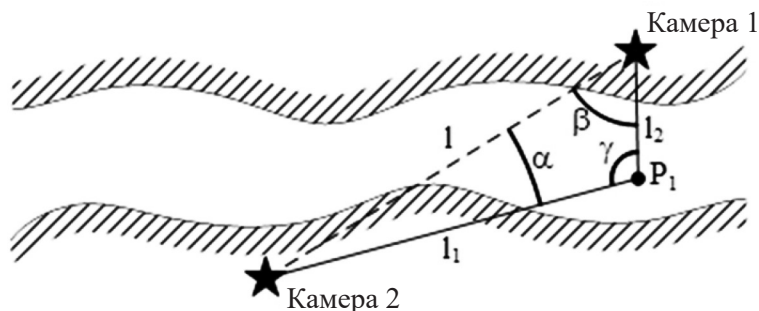


Рис. 6. Упрощенная схема определения местоположения судна

Используя рис. 6 и следующее уравнение, можно получить относительные координаты местоположения судна:

$$\frac{\sin(\alpha)}{l_2} = \frac{\sin(\beta)}{l_1} = \frac{\sin(\gamma)}{l},$$

где α — угол между камерой 1 (на противоположном берегу) и судном P_1 ; β — угол между камерой 2 и судном; γ — угол между двумя камерами; l — известное расстояние между камерой 1 и 2; l_1 — искомое расстояние между камерой 2 и судном; l_2 — искомое расстояние между камерой 1 и судном.

⁸ Ермолаев Г. Г., Андронов Л. П., Зотеев Е. С. [и др.]. Морское судоходство: учебник. 3-е изд., перераб. / М.: Транспорт, 1970. 368 с.

Затем данные координаты в переводятся в систему WGS-84 для дальнейшего использования в диспетчерских пунктах. Преимуществом данного метода является возможность достаточно точного определения как истинного, так и магнитного курса судна. Также такие вычисления являются довольно простыми, требующими значительно меньшего количества вычислительных ресурсов для решения задачи. Данный метод подразумевает только первичную быструю настройку с указанием местоположения статичных объектов, т. е. камер и в последующем не требует настройки для корректной работы, что является его несомненным преимуществом. Однако следует учесть, что данный метод также имеет ряд недостатков, одним из которых является сильная зависимость определения центра судна для последующих расчетов. Вследствие этого при значительных отклонениях центральной точки от истинной центральной точки будет возникать ошибка в определении местоположения судна. Еще одним недостатком является необходимость использования нескольких камер, направленных примерно в одну область канала или реки. Для стабильной работы требуется не менее трех камер, которые будут установлены под разными углами относительно судна, при этом разница между высотой судна и камерами не является существенной. Так, например, исходя из ранее изложенного, можно определить алгоритм работы будущей системы, разбивая исходный видеопоток и обрабатывая отдельно каждый кадр, как показано на рис. 7.

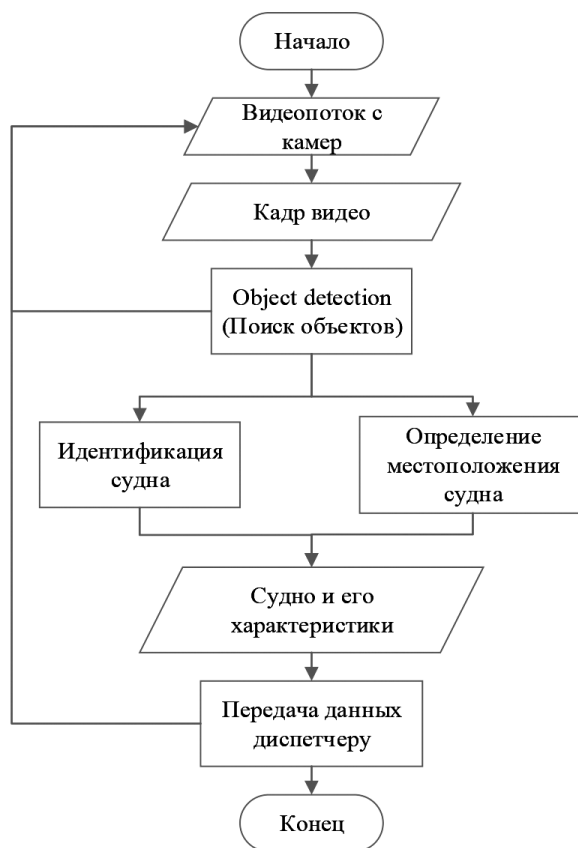


Рис. 7. Алгоритм работы мониторинга судов с использованием камер видеонаблюдения

Используя видеокادر, можно определить наличие на нем судна. В случае отсутствия судна на изображении система переходит к следующему кадру видеопотока от камеры. В противном случае кадр передается в подсистемы идентификации и определения местоположения судна. В случае системы идентификации рациональной является передача только участка изображения с найденным судном. Таким образом, можно уменьшить нагрузку на подсистему идентификации и избежать ложных срабатываний на другие тексты, которые могут находиться в зоне

видимости камеры. По окончании работы указанных подсистем формируется отчет, в который будет входить изображение (кадр), полученное с системы видеонаблюдения, название и / или регистрационный номер судна, координаты в системе WGS-84, а также другие характеристики, которые система может определить на основе имеющихся данных.

Заключение (Conclusion)

Мониторинг судов на акваториях ВВП, расположенных в границах населенных пунктов, является важной частью комплексной задачи по обеспечению заданного уровня безопасности судоходства. Развитие городских систем видеонаблюдения и технологий обработки изображений позволяют отслеживать и идентифицировать суда. Однако следует учитывать, что для выбора технологий, позволяющих решать данную задачу, необходимо учитывать результаты передовых исследований в области обработки видеоизображений.

Исходя из метрик и сложности вычислений, а также учитывая объемы кадров, полученных от камер системы видеонаблюдения, рациональным выбором является использование нейронной сети для поиска объекта на изображении (YOLOv8x), что позволит в конечном счете уменьшить объем времени, необходимого для обработки всех изображений, поступающих на сервер вычислений.

Для определения оптимального способа определения местоположения судна необходимо провести эксперименты или математическое моделирование работы в соответствии с предложенным в работе алгоритмом. Следует также учитывать, что пеленг является проверенным методом определения местоположения, однако необходимо разработать методику для использования данного метода с берега.

Кроме того, для решения задачи по определению местоположения судов крайне важным условием является количество установленных камер, а также их взаимное расположение. В случае, когда это условие не выполняется, необходимо принять меры для увеличения количества камер, а также обеспечить необходимое наложение их зон видимости в области наблюдения. При этом необходимо иметь в виду, что, по всей видимости, наилучшие точностные характеристики по определению местоположения судна могут быть получены при условии, когда угол γ близок к прямому. Однако этот угол не является фиксированным вследствие перемещения объекта наблюдения. При этом курс и скорость перемещения могут быть неравномерны. В случае, когда указанный угол достигает критических значений, может потребоваться переход на следующую пару камер. Данный вопрос требует отдельного изучения в следующей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hyla T. Ships detection on inland waters using video surveillance system / T. Hyla, N. Wawrzyniak // IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management. — 2019. — С. 39–49. DOI: 10.1007/978-3-030-28957-74.
2. Wawrzyniak N. Vessel detection and tracking method based on video surveillance / N. Wawrzyniak, T. Hyla, A. Popik // Sensors. — 2019. — Vol. 19. — Is. 23. — Pp. 5230.
3. Stępień G. Method of Improving Incomplete Spatial-Temporal Data in Inland Navigation, on the Basis of Industrial Camera Images — West Oder River Case Study / G. Stępień, et al. // Transport and Telecommunication. — 2022. — Vol. 23. — Is. 1. — С. 48–61. DOI: 10.2478/tjt-2022-0005.
4. Горячкин Б. С. Компьютерное зрение / Б. С. Горячкин, М. А. Китов // E-scio — 2020. — № 9 (48). — С. 317–345.
5. Гаврилов Д. А. Нейросетевой алгоритм автоматического обнаружения и сопровождения объекта интереса в видеосигнале / Д. А. Гаврилов // Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018–2018. — С. 188–195.
6. Ерохин Д. Ю. Современные сверточные нейронные сети для обнаружения и распознавания объектов / Д. Ю. Ерохин, М. Д. Ершов // Цифровая обработка сигналов — 2018. — Т. 3. — С. 64–69.
7. Hong X. Research on multi-ship target detection and tracking method based on camera in complex scenes / X. Hong, et al. // Journal of Marine Science and Engineering. — 2022. — Vol. 10. — Is. 7. — Pp. 978. DOI: 10.3390/jmse10070978.

8. Kim K. Probabilistic ship detection and classification using deep learning / K. Kim [et al.] // *Applied Sciences*. — 2018. — Vol. 8. — Is. 6. — Pp. 936.
9. Zhao H. Embedded deep learning for ship detection and recognition / H. Zhao [et al.] // *Future Internet*. — 2019. — Vol. 11. — Is. 2. — Pp. 53.
10. Zhao P. A real-time ship detector via a common camera / P. Zhao [et al.] // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2022. — Vol. 10. — Is. 8. — Pp. 1043. DOI: 10.3390/jmse10081043.
11. Cheng S. Deep learning based efficient ship detection from drone-captured images for maritime surveillance / S. Cheng, Y. Zhu, S. Wu // *Ocean Engineering*. — 2023. — Vol. 285. — Pp. 115440.
12. Sun Y. Global Mask R-CNN for marine ship instance segmentation/ Y. Sun [et al.] // *Neurocomputing*. — 2022. — Vol. 480. — Pp. 257–270.
13. Chang Y. L. Ship detection based on YOLOv2 for SAR imagery / Y. L. Chang [et al.] // *Remote Sensing*. — 2019. — Vol. 11. — Is. 7. — Pp. 786.
14. Wawrzyniak N. Vessel identification based on automatic hull inscriptions recognition / N. Wawrzyniak, T. Hyla, I. Bodus-Olkowska // *Plos one*. — 2022. — vol. 17. — Is. 7. — Pp. e0270575. DOI: 10.1371/journal.pone.0270575.
15. Jacob, T. Marine Vessel Tracking using a Monocular Camera / T. Jacob, R. Galliera, M. Ali, S. Bagui, // *In Proceedings of the 2nd International Conference on Deep Learning Theory and Applications — DeLTA*. — Se-tubal: SciTePress, 2021. — Pp. 17–28. DOI: 10.5220/0010516000170028.

REFERENCES

1. Hyla, Tomasz, and Natalia Wawrzyniak. “Ships detection on inland waters using video surveillance system.” *IFIP International Conference on Computer Information Systems and Industrial Management*. Cham: Springer International Publishing, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-28957-7_4.
2. Wawrzyniak, Natalia, Tomasz Hyla, and Adrian Popik. “Vessel detection and tracking method based on video surveillance.” *Sensors* 19.23 (2019): 5230.
3. Stępień, Grzegorz [et al.]. “Method of Improving Incomplete Spatial-Temporal Data in Inland Navigation, on the Basis of Industrial Camera Images—West Oder River Case Study.” *Transport and Telecommunication Journal* 23.1 (2022): 48–61. DOI: 10.2478/tjt-2022-0005.
4. Goryachkin, B. S., Kitov M. A. “Komp’yuternoye zreniye.” *E-scio* 9 (48) (2020): 317–345.
5. Gavrilov, Dmitriy Aleksandrovich. “Neyrosetevoy algoritm avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob’yekta interesa v videosignale.” *Shestnadsataya Natsional’naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII-2018* (2018).
6. Yerokhin, D. YU., and M. D. Yershov. “Sovremennyye svertochnyye neyronnyye seti dlya obnaruzheniya i raspoznavaniya ob’yektov.” *Tsifrovaya obrabotka signalov* 3 (2018): 64–69.
7. Hong, Xiaobin, et al. “Research on multi-ship target detection and tracking method based on camera in complex scenes.” *Journal of Marine Science and Engineering* 10.7 (2022): 978. DOI: 10.3390/jmse10070978.
8. Kim, Kwanghyun, et al. “Probabilistic ship detection and classification using deep learning.” *Applied Sciences* 8.6 (2018): 936.
9. Zhao, Hongwei [et al.]. “Embedded deep learning for ship detection and recognition.” *Future Internet* 11.2 (2019): 53.
10. Zhao, Penghui [et al.]. “A real-time ship detector via a common camera.” *Journal of Marine Science and Engineering* 10.8 (2022): 1043.
11. Cheng, Shuxiao, Yishuang Zhu, and Shaohua Wu. “Deep learning based efficient ship detection from drone-captured images for maritime surveillance.” *Ocean Engineering* 285 (2023): 115440. DOI: 10.3390/jmse10081043.
12. Sun, Yuxin, et al. “Global Mask R-CNN for marine ship instance segmentation.” *Neurocomputing* 480 (2022): 257–270.
13. Chang, Yang-Lang [et al.]. “Ship detection based on YOLOv2 for SAR imagery.” *Remote Sensing* 11.7 (2019): 786.
14. Wawrzyniak, Natalia, Tomasz Hyla, and Izabela Bodus-Olkowska. “Vessel identification based on automatic hull inscriptions recognition.” *Plos one* 17.7 (2022): e0270575. DOI: 10.1371/journal.pone.0270575.
15. Jacob., Tobias [et al.]. ‘Marine Vessel Tracking Using a Monocular Camera’. *Proceedings of the 2nd International Conference on Deep Learning Theory and Applications — DeLTA, INSTICC 2021*: 17–28. DOI: 10.5220/0010516000170028.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Беспалов Александр Павлович — аспирант
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: bespalovap@gumrf.ru
Каретников Владимир Владимирович — доктор
технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: karetnikovvv@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bespalov, Aleksandr P. — postgraduate student
Admiral Makarov State University of Maritime and
Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian
Federation
e-mail: bespalovap@gumrf.ru
Karetnikov, Vladimir V. — Dr. of Technical
Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and
Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian
Federation
e-mail: karetnikovvv@gumrf.ru

*Статья поступила в редакцию: 10 сентября 2024 г.
Received: September 10, 2024.*