

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS VESSEL CONTROL SYSTEM BASED ON THE ROS2 OPERATING SYSTEM

A. A. Dyda¹, I. I. Pushkarev²

¹ Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

² "CASHALOT" LLC, Vladivostok, Russian Federation

The research focuses on the development of a control system for an autonomous vessel using the Robot Operating System 2 (ROS2). Autonomous vessels are highlighted as a promising class of robotic systems designed for various tasks in the maritime environment, including area monitoring, scientific research, search and rescue, and transport operations. Their key advantages lie in their autonomy, operational flexibility, and ability to operate in conditions hazardous to humans. The study explores the use of the modern Robot Operating System 2 for robotics, which ensures modularity, scalability, and a high degree of distributed computing. This software provides ready-made algorithms for navigation, sensor data processing, and motion control, as well as tools for testing, debugging, and data visualization, thereby accelerating development and enhancing system reliability. As part of the research, a structural diagram of the autonomous vessel control system was developed, incorporating subsystems for navigation, computer vision, motion control, and operator interaction via a shore-based console, illustrating the composition and interaction of individual operating system nodes. A device diagram is presented, showing the distribution of computing resources between the nodes. The proposed control system demonstrates the possibility of integrating various autonomous vessel subsystems into a unified system based on the common interaction logic and data exchange of the Robot Operating System 2. The application of this operating system enhances development speed, improves software reliability, simplifies the integration of complex algorithms, and ensures system flexibility for future improvements.

Keywords: autonomous vessel, algorithm, software, computer vision system, navigation system, Kalman filter, navigation rules, data fusion, automatic control theory, maritime operations, complex robotic systems.

For citation:

Dyda, A. A., I. I. Pushkarev "Development of an autonomous vessel control system based on the ROS2 operating system." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.1 (2025): 105–114. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-105-114.

УДК 681.5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ СУДНОМ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ROS2

А. А. Дыда¹, И. И. Пушкарёв²

¹ Морской Государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского,
Владивосток, Россия.

² ООО «Кашалот», Владивосток, Россия

Темой исследования является разработка системы управления для автономного судна с использованием операционной системы Robot Operation System 2. Отмечается, что автономные суда являются перспективным классом робототехнических систем, предназначенных для выполнения различных задач в морской среде, включая мониторинг акваторий, научные исследования, поисково-спасательные и транспортные операции. Их ключевыми преимуществами являются автономность, гибкость применения и возможность работы в условиях, представляющих угрозу для человека. В работе рассмотрено использование современной операционной системы Robot Operation System 2 для робототехники, обеспечивающей модульность, масштабируемость и высокую степень распределенности вычислений. Отмечается, что данный вид программного обеспечения предоставляет готовые алгоритмы для навигации, обработки данных сенсоров и управления движением, а также инструменты для тестирования, отладки и визуализации данных, что ускоряет процесс разработки и повышает надежность системы. В рамках исследования разработана структурная схема системы управления автономного судна, включающая подсистемы навигации, технического зрения, управления движением и взаимодействия с оператором через береговой пульт, на которой показаны состав и взаимодействие отдельных узлов операционной системы. Представлена схема устройств, обеспечивающая распределение вычислительных

ресурсов между узлами. Предложенная система управления демонстрирует возможность объединения различных подсистем автоматических судов в общую систему на основе единой логики взаимодействия и обмена данными операционной системы Robot Operation System 2. Применение данной операционной системы позволяет повысить скорость разработки, улучшить надежность программного обеспечения, упростить интеграцию сложных алгоритмов и обеспечить гибкость системы для дальнейших усовершенствований.

Ключевые слова: автономное судно, алгоритм, программное обеспечение, система технического зрения, система навигации, фильтр Калмана, расхождение, комплексирование, теория автоматического управления, морская деятельность, сложные робототехнические системы.

Для цитирования:

Дыда А. А. Разработка системы управления автономным судном на основе операционной системы ROS2 / А. А. Дыда, И. И. Пушкарёв // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 105–114. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-105-114. — EDN MKJPRZ.

Введение (Introduction)

Автономные суда (АС), благодаря развитию технологий автоматического управления и искусственного интеллекта, становятся все более востребованными в морской деятельности. Имея различные размеры и конфигурацию, АС оснащены всевозможными системами навигации, датчиками, камерами и оборудованием в зависимости от их назначения. Спектр решаемых задач также может быть очень разнообразен: от проведения экологического мониторинга до грузовых перевозок и спасательных операций [1], [2].

Ключевым компонентом АС является система управления, обеспечивающая его автоматическое и дистанционное функционирование, эффективность и надежность которой во многом определяют технические и эксплуатационные характеристики АС. Разработка эффективной системы управления и реализация ее в программном коде требует серьезных временных и финансовых затрат. При этом важнейшим фактором для обеспечения конкурентоспособности новых автономных судов является скорость их разработки и ввода в эксплуатацию.

Использование готовых программных библиотек и фреймворков для разработки систем управления АС значительно ускоряет данный процесс. Кроме того, это повышает надежность и масштабируемость системы управления, а также обеспечивает возможность интеграции с передовыми технологиями и стандартами.

Одной из наиболее распространенных, предоставляющих необходимый набор инструментов и библиотек для создания сложных робототехнических систем, является метаоперационная система Robot Operation System 2 (ROS2) [3].

Методы и материалы (Methods and Materials)

ROS2 — свободно распространяемая метаоперационная система, обеспечивающая разработчиков библиотеками и инструментами для создания программного обеспечения роботов; является второй версией ROS, имеет большие возможности, улучшенную надежность, гибкость и масштабируемость. Система управления автономного судна на основе ROS2 может быть комплексной и модульной, обеспечивая при этом различные функции — от навигации до безопасности.

Основные особенности ROS2:

1. *Модульная архитектура*, позволяющая разделить систему на независимые модули (узлы), которые могут быть разработаны, протестированы и развернуты независимо друг от друга.
2. *Межпроцессное взаимодействие*, позволяющее системе использовать механизм публикаций и подписок для обмена сообщениями между узлами, что позволяет легко обмениваться данными и командами между различными ее частями.
3. *Межсетевое взаимодействие* — поддержка работы в распределенных системах, что позволяет запускать узлы на разных компьютерах в сети, обеспечивая масштабируемость и распределенность системы.

4. *Поддержка реального времени* — с использованием DDS (Data Distribution Service) ROS2 обеспечивает поддержку систем реального времени, что является важным для выполнения задач, требующих высокой надежности и предсказуемости.

5. *Кроссплатформенность* — поддержка различных операционных систем, включая Linux, Windows и MacOS, а также встраиваемых систем и микроконтроллеров.

6. *Инструменты для разработки и отладки* — система предоставляет разнообразные инструменты для разработки, тестирования и отладки, такие как rviz2 для визуализации, Gazebo для симуляции, ros2cli для командной строки и др.

7. *Безопасность* — встроенные механизмы обеспечения безопасности, такие как шифрование и аутентификация, позволяют защитить данные и взаимодействие между узлами.

8. *Системы автоматизации и оркестрации* — поддержка систем автоматизации для развертывания и управления узлами.

9. *Управление пакетами и зависимостями* — система пакетов позволяет легко управлять зависимостями, устанавливать и обновлять программные компоненты.

Концепция ROS2 предполагает, что каждая программа — это узел (node), который взаимодействует с другими узлами посредством топиков (topic) или сервисов (service).

Топик — это канал, по которому узлы могут обмениваться данными. Топики используются для передачи потоковых данных, таких как показания датчиков, изображения с камер или команды управления.

Сервисы позволяют узлам выполнять синхронные запросы и получать ответы. В отличие от топиков, которые используются для однонаправленного потока данных, сервисы предполагают запрос-ответную модель взаимодействия.

Для большей надежности используется модульная архитектура, где каждый узел решает отдельную задачу. В случае отказа одного из них вся система продолжит работу. Отказавшие узлы могут быть перезапущены вручную или автоматически.

Широкий функционал и многочисленные преимущества ROS2 делают ее незаменимой платформой для разработки разнообразных автономных мобильных робототехнических систем. Благодаря гибкой архитектуре, поддержке распределенных вычислений, реальному времени и масштабируемости ROS2 успешно применяется в различных областях робототехники, начиная от наземных мобильных роботов и беспилотных транспортных средств до сложных систем управления дронами и подводными роботами. Важную роль ROS2 играет в создании АС, где критически важными являются такие свойства, как автономность, надежность в условиях реального времени, возможность интеграции множества сенсоров и управление в динамических неопределенных средах.

Система управления автономным судном может состоять из комбинации следующих узлов:

1. *Узлы датчиков и оборудования.* Здесь реализуются программные драйверы, позволяющие взаимодействовать с аппаратной частью, и алгоритмы предварительной обработки данных.

2. *Узел мониторинга и диагностики.* Осуществляет мониторинг технического состояния всех систем АС, включая двигатели, батареи, электронику и другие устройства, а также реализацию аварийных процедур.

3. *Узлы навигационной системы.* Осуществляют комплексирование навигационных данных (спутниковая навигационная система, инерциальная навигационная система, гироскоп, доплеровский лаг и т. п.) для выработки достоверного навигационного решения в режиме реального времени.

4. *Узлы планирования маршрута.* Служат глобальным и локальным планировщиком движения.

5. *Узлы управления движением.* Могут включать регуляторы скорости и направления, а также алгоритмы движения по траектории.

6. *Узлы системы технического зрения.* Выполняют обработку данных датчиков системы технического зрения (видеокамеры, лидары, РЛС и т. п.) и комплексирование для получения достоверных данных об окружающей обстановке.

В основе системы управления автономным судном, реализуемой с использованием ROS2, находится система управления, рассмотренная в работе [4], в которой система управления безэкипажным судном представлена в виде трех взаимосвязанных подсистем: подсистемы удержания

траектории, подсистемы обхода препятствий и подсистемы удержания курса и скорости. Следуя логике ROS2, данные подсистемы можно реализовать в виде отдельных узлов, взаимодействующих друг с другом.

ROS2 предоставляет ряд готовых узлов, требующих только настройки под конкретную систему. Одним из наиболее востребованных готовых решений для робототехнических систем является реализация навигационной системы, позволяющей определять ориентацию и положение робота в пространстве. ROS2 предоставляет пакет `robot_localization`, в состав которого входят узлы для объединения данных с различных датчиков, таких как инерциальные измерительные устройства, устройства измерения скорости, данные с глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) и т. п. Фильтры Калмана используются для фильтрации и сглаживания данных [5], [6]. Это позволяет улучшить точность определения положения и ориентации, используя сильные стороны каждого из датчиков.

Не менее востребованным для АС являются алгоритмы планирования траектории движения или так называемые *глобальные и локальные планировщики движения*. ROS2 предоставляет программный стек Nav2, состоящий из различных пакетов и программ, обеспечивающих реализацию всех ключевых аспектов навигации, таких как планирование пути, контроль за движением, уклонение от препятствий и локализация робота в среде с использованием датчиков и картографических данных. В стеке уже предусмотрена реализация нескольких типов планировщиков движения, таких как алгоритмы Дейкстры, A* (A star), а также RRT (Rapidly-Exploring Random Tree), которые могут быть использованы для построения траекторий движения робота в зависимости от задач, стоящих перед системой навигации. Их внедрение в проект не требует разработки «с нуля», так как они уже интегрированы в Nav2, задача сводится лишь к их настройке и адаптации под конкретные требования и параметры целевой системы [7].

Для работы глобального планировщика и планирования маршрута движения необходимы карты препятствий. В Nav2 используются карты препятствий в виде двумерной дискретной карты (рис. 1), где каждая ячейка может находиться в одном из трех состояний: препятствие, свободно, неизвестно.

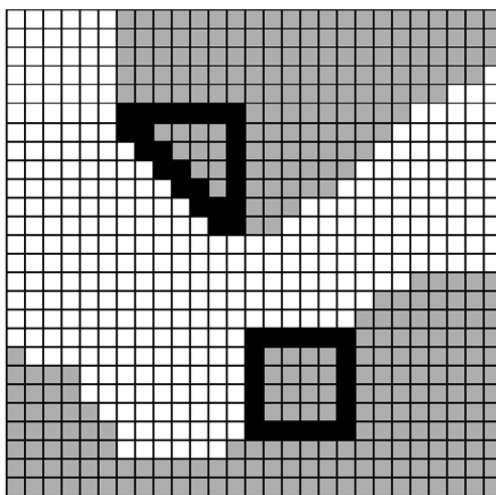


Рис. 1. Пример карты препятствий (белые клетки — свободно, черные клетки — препятствие, серые клетки — неизвестно)

Карты могут создаваться или загружаться следующими способами:

1. Карты могут быть созданы заранее с использованием специального программного обеспечения для картографирования.
2. В Nav2 также поддерживается возможность динамического построения карты во время работы робота с использованием Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) [8]. В этом режиме робот строит карту окружающей среды в реальном времени по мере исследования пространства.
3. Карты могут загружаться в Nav2 в виде файлов, созданных ранее.

Для предварительного построения маршрута движения автономного судна требуется заранее созданная карта достаточно большой водной акватории. Наиболее полноценным источником карт для судоходства являются электронные навигационные карты. В статье [9] представлен способ преобразования растрового изображения навигационной карты в формат, подходящий для работы планировщика в Nav2. Изображение карты, на которой отображена поверхность в различных цветах, обрабатывается методом пороговой сегментации (бинаризации) в черно-белое изображение, показывающее препятствие и свободное пространство, и затем разбивается на двумерную сетку.

В мобильных робототехнических системах наряду с мощными бортовыми компьютерами часто применяются микроконтроллеры с ограниченными вычислительными и энергетическими ресурсами. Эти микроконтроллеры используются для выполнения специализированных задач, таких как управление низкоуровневыми сенсорами, обработка сигналов исполнительных механизмов, мониторинг состояния оборудования, а также реализация базовых функций управления. Благодаря их малым размерам и энергоэффективности, они идеально подходят для установки в небольшие устройства и узлы робота, где требуется высокая производительность при минимальном потреблении энергии.

Для полноценной интеграции этих устройств в общую систему управления, построенную на основе ROS2, используется micro-ROS [10] — специализированная версия ROS, адаптированная для работы в условиях ограниченных ресурсов. Micro-ROS позволяет микроконтроллерам общаться с основными вычислительными модулями робота, поддерживая обмен данными в реальном времени и сохраняя совместимость с высокоуровневыми ROS-компонентами. Это позволяет микроконтроллерам выполнять свои задачи эффективно и безопасно, при этом взаимодействуя с более сложными системами навигации, планирования движения и восприятия окружающей среды. Кроме того, micro-ROS поддерживает стандарт DDS, что гарантирует надежную, масштабируемую и отказоустойчивую передачу данных в распределенных системах.

Результаты (Results)

На рис. 2 приведена схема предлагаемой системы управления автономным судном на основе операционной системы ROS2. Здесь продемонстрирован общий подход создания модульной архитектуры, где некоторые функциональные задачи судна и оборудования выделены в виде отдельного узла.

Систему управления АС можно условно разделить на четыре основные составляющие: систему навигации, систему технического зрения, систему управления движением и пульт оператора. Система навигации состоит из группы узлов, реализующих конечное навигационное решение, которое позволяет определить положение и ориентацию АС в реальном времени. В виде отдельных узлов выполнены программные драйверы, взаимодействующие с навигационным оборудованием: устройства измерения скорости (судовые лаги), устройства определения положения (гироскопы, акселерометры, магнитные и гироскопические компасы и т. д.), оборудование глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Число данных узлов может варьироваться в зависимости от количества используемого оборудования.

Узлы EKF Global и EKF Local являются готовыми узлами пакета robot_localization, совмещающими в себе фильтры Калмана и обеспечивающими оценку положения и ориентации АС в пространстве с использованием данных от различных сенсоров. EKF Global предназначен для работы в глобальной системе координат, в то время как EKF Local обеспечивает отслеживание положения в локальной системе координат, что особенно полезно при движении на короткие расстояния или в условиях ограниченного ГНСС сигнала. Оба узла работают в связке, объединяя данные различных сенсоров с помощью расширенного фильтра Калмана для достижения более точной и устойчивой локализации в динамических средах. Navsat_transform — вспомогательный узел, который получает данные с ГНСС, преобразуя их в совместимый формат. Последний может быть использован EKF Global, обеспечивая плавное переключение между глобальной и локальной системой координат. В результате навигационная система может работать как в условиях с хорошим

сигналом ГНСС, так и в сложных для навигации акваториях, используя комбинированные данные от разных источников для точного позиционирования.

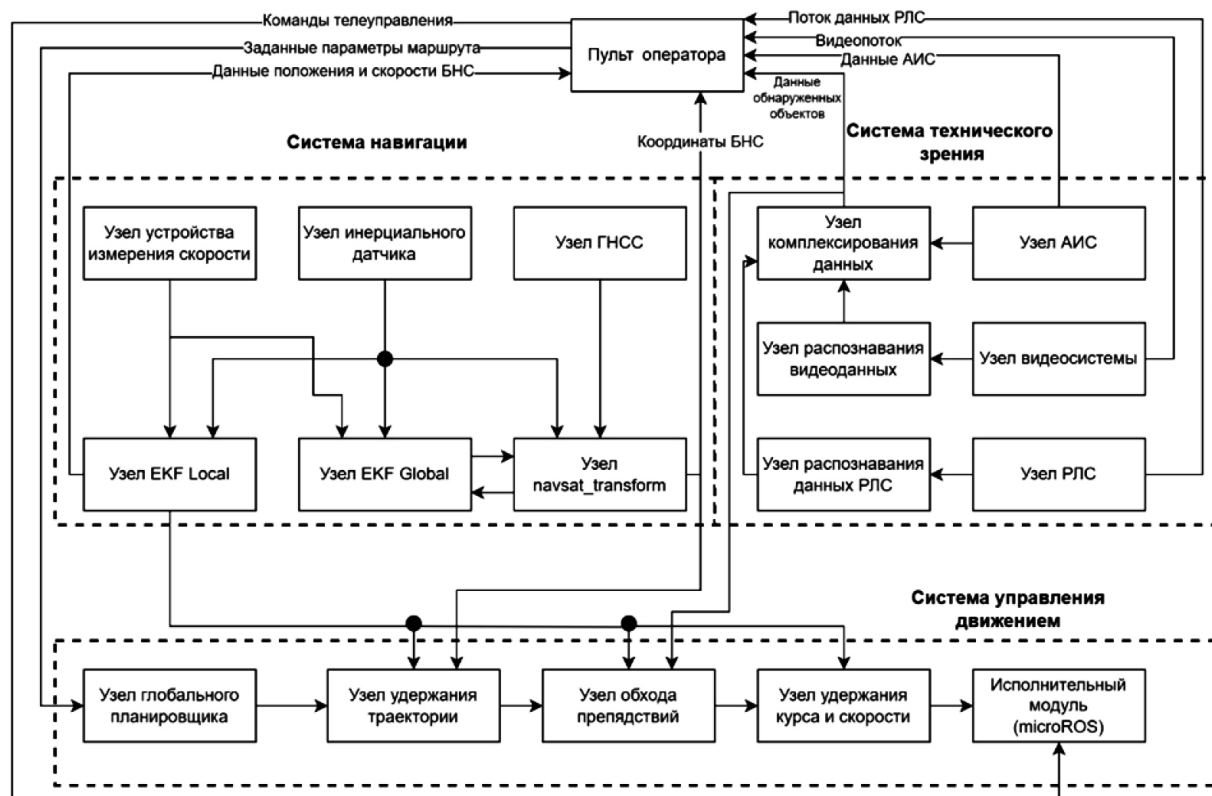


Рис. 2. Схема системы управления АС на основе ROS2

Система технического зрения автономного судна представляет собой систему, интегрирующую данные от нескольких источников для формирования точной и достоверной информации об окружающей обстановке на поверхности воды. Основными источниками данных в этом случае являются: автоматическая идентификационная система (узел АИС), видеосистема (узел видеосистемы) и радиолокационная станция (узел РЛС). Каждый из этих элементов выполняет важную роль, имея при этом свои слабые и сильные стороны, которые необходимо учитывать при интеграции. АИС предоставляет информацию о позициях, скорости и курсах других судов в зоне действия АС на основе передаваемых данных, таких как идентификаторы судов и их динамические параметры.

Преимуществом АИС является ее точность при работе с идентифицированными объектами, а также возможность получения данных на больших расстояниях. Однако система ограничена тем, что она работает только с объектами, оснащенными АИС-транспондерами, не предоставляя информацию о неучтенных объектах или препятствиях [11]. Видеосистема предоставляет визуальную информацию об окружающей среде, включая объекты, которые не могут быть зарегистрированы АИС (например, природные объекты или маломерные суда). Видеосистема может функционировать как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне для работы в условиях с недостаточной освещенностью. Однако ее работа зависит от условий видимости, таких как погодные явления (туман, дождь), освещенность и угла обзора камеры. Видеоданные могут быть зашумленными, требуя сложной обработки изображений для выделения значимых объектов. РЛС в свою очередь предоставляет информацию о положении объектов, независимо от их наличия в системе АИС или оптической видимости. Станция позволяет обнаруживать объекты, находящиеся на значительных расстояниях и в сложных погодных условиях. Однако данные РЛС могут быть подвержены помехам, а точность их может снижаться при работе на коротких дистанциях или в условиях сильного отражения радиоволн от водной поверхности.

Для повышения точности и надежности оценки надводной обстановки данные, полученные из основных источников, проходят предварительную обработку и фильтрацию. После этого обработанные данные комплексуются [12], [13]. Этот процесс основан на использовании методов статистической фильтрации и вероятностных моделей, что позволяет компенсировать недостатки отдельных сенсоров и учитывать их сильные стороны. В результате система способна вырабатывать наиболее полную и достоверную картину окружающей обстановки, обеспечивая эффективное и безопасное движение в сложных и динамичных морских условиях.

Система управления движением реализует функцию автоматического движения и расхождения АС с препятствиями. Узел глобального планировщика является стандартным узлом стека Nav2, он формирует маршрут движения на основе данных картографии и заданных параметров движения. Сформированный маршрут передается на узел удержания траектории, который рассчитывает и выдает требуемый для движения по заданной траектории курс АС. При обнаружении угрозы столкновения активируется узел обхода препятствий, который корректирует курс и скорость АС, обеспечивая безопасное расхождение с препятствиями в соответствии с «Международными правилами предотвращения столкновений судов в море (МППСС-72)». Новые параметры безопасного курса и скорости передаются узлу удержания курса и скорости, который рассчитывает управляющие воздействия для рулевого устройства и двигателя. Заключительный этап реализован в исполнительном модуле на базе micro-ROS, который формирует управляющие электрические сигналы и низкоуровневые команды для непосредственного управления движительно-рулевой системой АС.

Пульт оператора представляет собой специализированное графическое приложение, предназначенное для мониторинга, управления и взаимодействия с автономным судном в реальном времени. Основной функционал пульта заключается в отображении телеметрической информации, видеопотоков с бортовых камер, данных радиолокационной станции, а также интегрированной картографии для обеспечения ситуационной осведомленности оператора. Пульт оператора также выполняет ключевую роль в формировании маршрута для движения АС в автоматическом режиме. Этот процесс включает создание оператором последовательности путевых точек на интегрированной карте, по которым судно будет следовать. Помимо автоматического движения пульт поддерживает ручное управление, предоставляя оператору возможность непосредственно управлять АС в сложных ситуациях или при необходимости корректировки маршрута.

На рис. 3 приведена аппаратная структурная схема предлагаемой системы управления АС. Большинство узлов системы навигации и системы управления движением выполняются на бортовом компьютере. Для узлов системы технического зрения выделяется отдельный компьютер СТЗ, так как обработка потоковых видеоданных и данных с РЛС требует значительных вычислительных ресурсов. Кроме того, применение искусственных нейронных сетей для обработки видеоизображений требует специальных графических вычислителей.

ROS2 обладает уникальной возможностью распределенного выполнения узлов на различных вычислительных устройствах, объединенных в одну сеть, что позволяет оптимально распределять вычислительные ресурсы системы. Это дает возможность перенести ресурсоемкие задачи на мощные серверы или компьютеры с графическими процессорами, в то время как узлы с меньшими требованиями — на более слабые устройства.

Исполнительный узел системы управления реализуется на базе бортового контроллера с интеграцией micro-ROS, который обеспечивает низкоуровневое управление движительно-рулевой системой АС. Контроллер имеет широкий набор интерфейсов, таких как RS232, CAN и аналоговые выходы, что позволяет гибко интегрировать различные исполнительные устройства, включая моторы, рулевые приводы и сенсоры. Контроллер, взаимодействуя с исполнительными устройствами, выполняет команды, поступающие от системы управления движением, такие как коррекция курса, изменение скорости, маневры по обходу препятствий.

На береговом компьютере размещено приложение пульта управления, которое служит интерфейсом для оператора. Через это приложение оператор может мониторить состояние АС

в реальном времени, получать телеметрию, видеоданные, данные РЛС и картографии, а также задавать маршруты или переключать АС в режим телеуправления. Все данные с бортовых систем передаются на береговой компьютер, что позволяет осуществлять удаленный контроль и вмешательство в управление при необходимости.

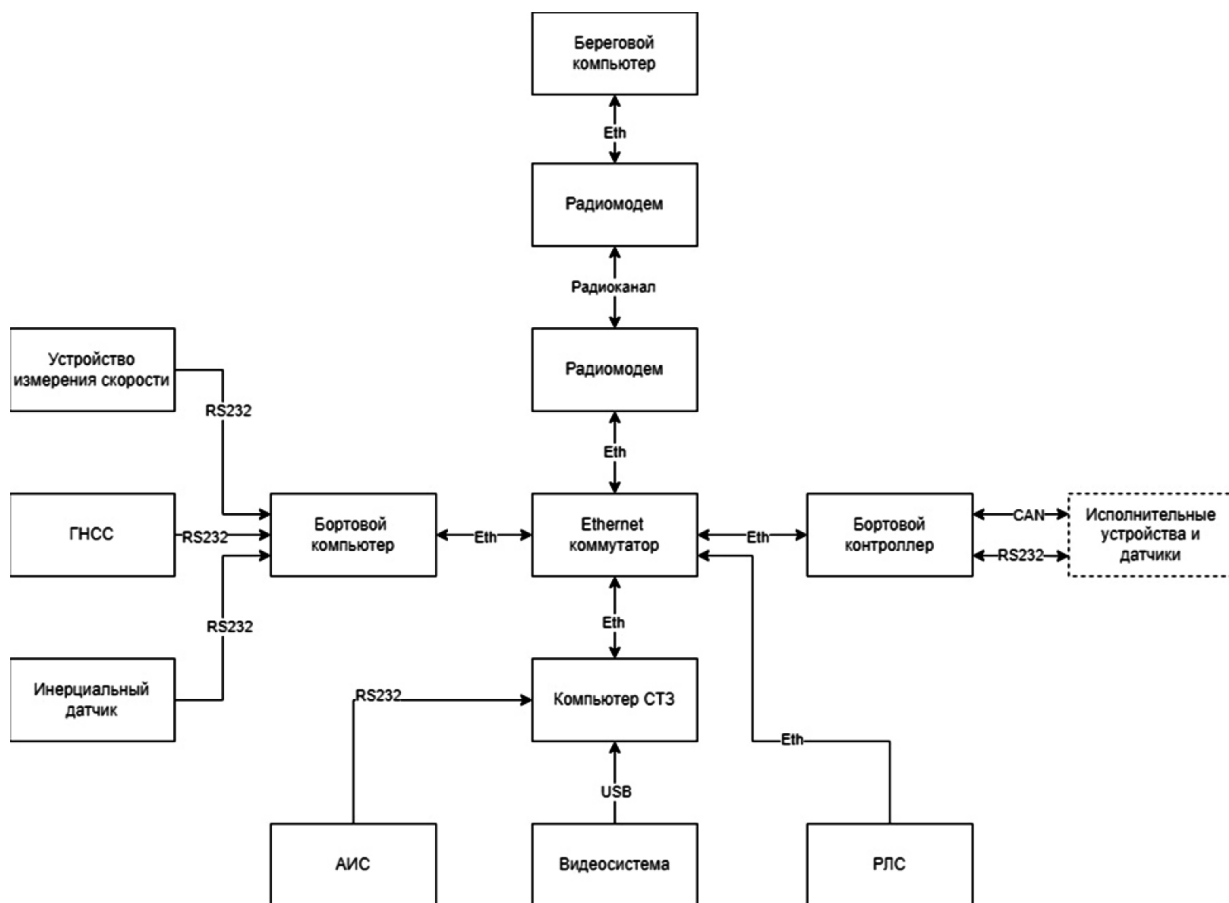


Рис. 3. Структурная схема устройств системы управления АС

Для обеспечения синхронного и высокоскоростного обмена данными между основными компонентами системы используется сеть Ethernet. Это обеспечивает надежную передачу данных с минимальными задержками, что особенно важно для передачи видео- и радиолокационных данных в реальном времени, а также для координации работы узлов системы управления движением и технического зрения. Высокая пропускная способность Ethernet обеспечивает своевременное выполнение команд и корректировку действий системы в зависимости от изменений окружающей обстановки.

Выводы (Summary)

На основе результатов выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Использование ROS2 позволяет интегрировать в единую архитектуру многочисленные подсистемы АС, такие как система навигации, система технического зрения, система управления движением и береговой пульт оператора, обеспечивая их взаимодействие через единый коммуникационный слой на основе DDS.

2. Ключевым преимуществом подобной системы является рациональное распределение вычислительных ресурсов между узлами, выполняемыми на разных вычислительных устройствах — от мощных бортовых компьютеров до специализированных микроконтроллеров. Рациональное распределение позволяет эффективно решать задачи обработки больших объемов данных (видеопотоки, данные РЛС), выполнения сложных алгоритмов (планирование траектории, обход препятствий) и управления исполнительными механизмами в реальном времени.

3. Благодаря открытой архитектуре и модульному подходу ROS2 разработка системы управления автономным судном существенно ускоряется за счет интеграции проверенных временем решений для планирования траектории, локализации, обработки данных с сенсоров и управления движением. Использование этих готовых компонентов позволяет сосредоточиться на специфических аспектах проектируемой системы, таких как работа с полезной нагрузкой или управление исполнительными механизмами, минимизируя время и затраты на разработку базового функционала, что не только упрощает процесс создания системы, но и обеспечивает ее надежность и соответствие современным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Barrera C.* Trends and challenges in unmanned surface vehicles (USV): From survey to shipping / C. Barrera, I. Padron, F. S. Luis, O. Llinas // *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. — 2021. — Vol. 15 No. 1. — Pp. 135–142.
2. *Каретников В. В.* Перспективы внедрения безэкипажного судоходства на внутренних водных путях Российской Федерации / В. В. Каретников, И. В. Пашенко, А. И. Соколов // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2017. — Т. 9. — № 3. — С. 619–627. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-619-627. — EDN YTXYGD.
3. *Bonci A.* Robot Operating System 2 (ROS2)-Based Frameworks for Increasing Robot Autonomy: A Survey / A. Bonci, F. Gaudeni, M. C. Giannini, S. Longhi // *Applied Sciences*. — 2023. — Vol. 13. — Is. 23. DOI: 10.3390/app132312796.
4. *Пушкарев И. И.* Система управления движением и расхождением безэкипажного судна в соответствии с МППСС-72 / И. И. Пушкарев // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 837–848. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-837-848. — EDN BRZDXO.
5. *Julier S. J.* Unscented filtering and nonlinear estimation / S. J. Julier, J. K. Uhlmann // *Proceedings of the IEEE*. — 2004. — Vol. 92. — Is. 3. — Pp. 401–422. DOI: 10.1109/JPROC.2003.823141.
6. *Moore T.* A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System / T. Moore, D. Stouch // *Intelligent Autonomous Systems 13* — Springer International Publishing, 2016. — С. 335–348.
7. *Fedorenko R.* Local and Global Motion Planning for Unmanned Surface Vehicle / R. Fedorenko, B. Gurenko // *MATEC Web of Conferences*. — 2016. — Vol. 42. — Pp. 01005. DOI: 10.1051/mateconf/20164201005.
8. *Alsadik B.* The Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)-An Overview_2021 / B. Alsadik, S. Karam // *Journal of Applied Science and Technology Trends*. — 2021. — Vol. 2. — Is. 02. — Pp. 147–158. DOI: 10.38094/jastt204117.
9. *Hu S.* Path Planning of an Unmanned Surface Vessel Based on the Improved A-Star and Dynamic Window Method / S. Hu, S. Tian, J. Zhao, R. Shen // *Journal of Marine Science and Engineering*. — 2023. — Vol. 11. — Is. 5. DOI: 10.3390/jmse11051060.
10. *Belsare K.* Micro-ROS / K. Belsare, A. C. Rodriguez, P. G. Sanchez, J. Hierro, T. Kolcon, R. Lange, I. Lutkebohle, A. Malki, J. M. Losa, F. Melendez, M. M. Rodriguez, A. Nordmann, J. Staschulat, J. von Mendel // *Robot Operating System (ROS): The Complete Reference (Volume 7)* — Springer International Publishing, 2023. — С. 3–55 DOI: 10.1007/978-3-031-09062-2_2.
11. *Смоленцев С. В.* Алгоритм анализа данных автоматической идентификационной системы для выделения типовых сценариев расхождения судов и тестирования систем автономного судовождения / С. В. Смоленцев, А. А. Буцанец [и др.] // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. — 2024. — Т. 18. — № 3. — С. 50–59. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-3-50-59. — EDN TYZNSI.
12. *Lu Y.* Fusion of Camera-based Vessel Detection and AIS for Maritime Surveillance / Y. Lu, H. Ma, E. Smart, B. Vuksanovic, J. Chiverton, S. R. Prabhu, M. Glaister, E. Dunston, C. Hancock // *2021 26th International Conference on Automation and Computing (ICAC) 2021*. — С. 1–6. DOI: 10.23919/ICAC50006.2021.9594203.
13. *Wang M.* Fusion Detection Algorithm of Maritime Radar and Electro-Optical Pod for Complex Sea Conditions / M. Wang, Q. Wang, Y. Wang, Z. Li, S. Shao, Y. Zhou // *2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP) 2023*. — С. 1204–1209 DOI: 10.1109/ICMSP58539.2023.10170950.

REFERENCES

1. Barrera, C., I. Padron, F. S. Luis and O. Llinas. "Trends and challenges in unmanned surface vehicles (USV): From survey to shipping." *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* Vol. 15 No. 1 (2021): 135–142.
2. Karetnikov, V. V., I. V. Paschenko and A. I. Sokolov. "Prospects of introducing unmanned navigation on inland waterways of the Russian Federation." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 9.3 (2017): 619–627. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-619-627.
3. Bonci, A., F. Gaudeni, M. C. Giannini and S. Longhi. "Robot Operating System 2 (ROS2)-Based Frameworks for Increasing Robot Autonomy: A Survey." *Applied Sciences* 13.23 (2023). DOI: 10.3390/app132312796.
4. Pushkarev, I. I. "A control system for movement and divergence of unmanned ship according to COL-REG." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 837–848. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-837-848.
5. Julier, S. J. and J. K. Uhlmann. "Unscented filtering and nonlinear estimation." *Proceedings of the IEEE* 92.3 (2004): 401–422. DOI: 10.1109/JPROC.2003.823141.
6. Moore, T. and D. Stouch. "A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System." *Intelligent Autonomous Systems 13* Springer International Publishing, 2016: 335–348.
7. Fedorenko, R. and B. Gurenko. "Local and Global Motion Planning for Unmanned Surface Vehicle." *MATEC Web of Conferences* 42 (2016): 01005. DOI: 10.1051/matecconf/20164201005.
8. Alsadik, B. and S. Karam. "The Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)-An Overview_2021." *Journal of Applied Science and Technology Trends* 2.02 (2021): 147–158. DOI: 10.38094/jastt204117.
9. Hu, S., S. Tian, J. Zhao and R. Shen. "Path Planning of an Unmanned Surface Vessel Based on the Improved A-Star and Dynamic Window Method." *Journal of Marine Science and Engineering* 11.5 (2023). DOI: 10.3390/jmse11051060.
10. Belsare, K. et al. "Micro-ROS." *Robot Operating System (ROS): The Complete Reference (Volume 7)* Springer International Publishing, 2023: 3–55. DOI: 10.1007/978-3-031-09062-2_2.
11. Smolentsev, S. V. et al. "Algorithm for analyzing the automatic identification system data to identify typical scenarios for vessel divergence and testing the systems of autonomous shipping." *T-Comm* 18.3 (2024): 50–59. DOI: 10.36724/2072-8735-2024-18-3-50-59.
12. Lu, Y., C. Hancock, et al. "Fusion of Camera-based Vessel Detection and AIS for Maritime Surveillance." *2021 26th International Conference on Automation and Computing (ICAC)2021*: 1–6. DOI: 10.23919/ICAC50006.2021.9594203.
13. Wang, M. et al. "Fusion Detection Algorithm of Maritime Radar and Electro-Optical Pod for Complex Sea Conditions." *2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP)2023*: 1204–1209. DOI: 10.1109/ICMSP58539.2023.10170950.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дыда Александр Александрович —
доктор технических наук, профессор кафедры
автоматических и информационных систем
Морской государственной университет
имени адмирала Г. И. Невельского
690059, Россия, г. Владивосток,
ул. Верхнепортовая, 50а
e-mail: adyda@mail.ru
Пушкарёв Игорь Игоревич —
ведущий инженер-программист
ООО «Кашалот»
690059, Россия, г. Владивосток,
ул. Уборевича, 7, помещение IX
e-mail: B_r_i_g88@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dyda Aleksandr A. —
Doctor of Technical Sciences, Professor of the
Department of Automatic and Information Systems
Maritime State University
named after Admiral G. I. Nevelskoy
690059, Russia, Vladivostok,
st. Verkhneportovaya, 50a
e-mail: adyda@mail.ru
Pushkarev Igor I. —
lead software engineer
"CASHALOT" LLC
690091, Russia, Vladivostok,
st. Uborevicha 7, room IX
e-mail: B_r_i_g88@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10 января 2025 г.
Received: Jan. 10, 2025.