

Разработка симулятора автономного необитаемого подводного аппарата

Б.В. Гуренко, Р.В. Федоренко, М.А. Береснев, Р.В. Сапрыкин, В.А. Переверзев

Южный федеральный университет

Аннотация: Тестирование и отладка реального оборудования является трудоемкой задачей. В частности, в случае водных роботов, необходимо каждый раз проводить транспортировку и развертывания робота на воде. Проведение экспериментов с еще не полностью функциональным прототипом водного робота, оснащенным дорогостоящим оборудованием, также весьма рискованно. В связи с этим, использование симуляторов является необходимым для ускорения разработки робототехнических систем и при этом является доступным с точки зрения трудозатрат и стоимости экспериментов. В данной статье представлен симулятор, предназначенный специально для автономных необитаемых подводных аппаратов.

Ключевые слова: моделирование, подводный аппарат, автономный аппарат, симулятор, робототехника.

Введение

Робототехника стремительно развивается в направлении водных средств [1-5]. Несмотря на практическую значимость разработки автономных подводных аппаратов, удаленность и агрессивность среды, в которой они функционируют, делает процесс их разработки довольно сложным. В дополнение к необходимости доставки и развертывания робота в области применения, есть также риск повреждения дорогостоящего оборудования на протяжении всего процесса отладки.

Использование среды моделирования является ключевым средством снижения актуальности обозначенных выше проблем[1]. Кроме того, использование симулятора позволяет моделировать особые условия, которые являются сложно воспроизводимыми или опасными в реальных испытаниях, в том числе отказы оборудования, системы электропитания, внешние возмущения, препятствия.

Другим преимуществом моделирования является возможность одновременного использования симулятора несколькими членами команды, что невозможно при работе с реальным прототипом, который, как правило, выполняется в единичном экземпляре.

Инструментарий моделирования автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) требует разработки математической модели [5,6,7], трехмерной среды моделирования и визуализации, режима функционирования в реальном времени, гибкость, способность работать на различных конфигурациях компьютеров и высокую интеграцию с системой управления роботом [8,9].

Последнее требование означает необходимость одинакового и единообразного функционирования системы управления как с имитируемыми, так и с реальными физическими устройствами (например, датчиками, исполнительными механизмами) [10].

В данной статье представлен процесс разработки симулятора АНПА, удовлетворяющего обозначенным выше требованиям. Данный симулятор предназначен для моделирования процесса управления, использования систем управления, навигации, связи, освещения обстановки и анализа информации автономных подводных аппаратов с высоким уровнем информационной автономности, использующих синергетические регуляторы и нейросетевые планировщики перемещений для интеллектуальной организации стратегий поведения и планирования траекторий движения в неопределенных средах, и нелинейных наблюдателей для оценивания не измеряемых внешних и параметрических возмущений, действующих на подводные аппараты.

Архитектура симулятора АНПА

Универсальные среды математического моделирования, которые используются при разработке робототехнических систем (такие как, например, MATLAB и Simulink), позволяют выполнять численное моделирование и визуализировать результаты в виде графиков. При том, что данные средства весьма полезны для разработки отдельных модулей и алгоритмов, их использование для моделирования робототехнической

системы в целом, в том числе взаимодействия с аппаратными средствами, трехмерной визуализации затруднено. Таким образом, использование универсальных сред математического моделирования недостаточно и требуется специализированное решение.

Имеющиеся специализированные симуляторы либо предназначены только для надводных кораблей, либо платные и имеют закрытую архитектуру. Насколько известно авторам, ни один из имеющихся симуляторов не удовлетворяет одновременно всем обозначенным выше требованиям. В этой связи было принято решение разработать собственный специализированный симулятор.

Разработанный симулятор представляет собой комплекс трех программ, как показано на рис. 1:

- программы моделирования АНПА и морской среды (в том числе блоки моделирования морской среды, гидродинамических характеристик, энергосиловой установки, исполнительных механизмов, движения АНПА);
- программы трехмерной визуализации и моделирования системы предупреждения столкновений АНПА (в том числе блок трехмерной визуализации движения АНПА и внешней среды);
- программы моделирования судовой системы управления, обработки и отображения информации.

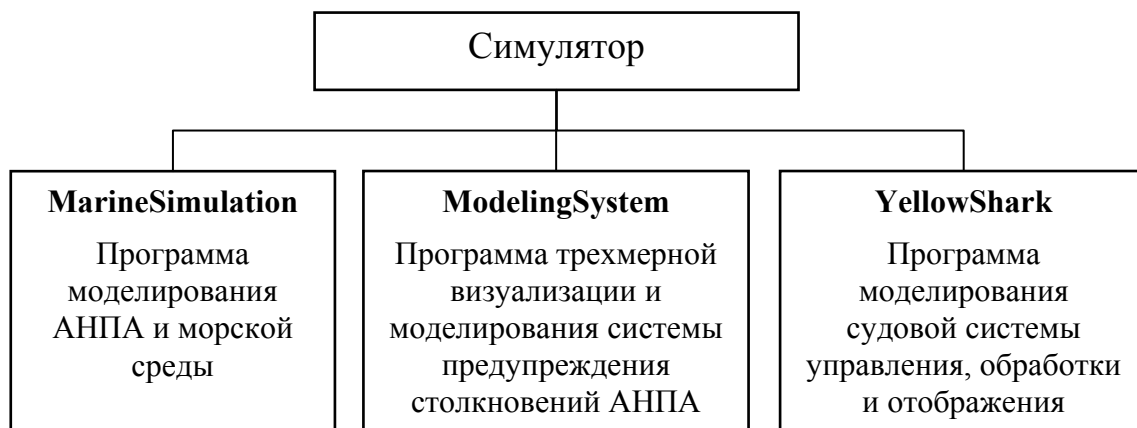


Рис. 1 - Состав симулятора

Программы комплекса моделирования интегрированы между собой, их взаимодействие осуществляется автоматически посредством протоколов TCP/IP и UDP.

Программа моделирования АНПА и морской среды MarineSimulation является основной программой комплекса и может работать отдельно, однако программы трехмерной визуализации и моделирования системы предупреждения столкновений АНПА ModelingSystem и моделирования судовой системы управления, обработки и отображения информации YellowShark расширяют функциональные возможности комплекса.

Функциональная схема симулятора представлена на рис. 2

Отметим, что симулятор имеет модульную архитектуру и в состав симулятора входят модули бортовой системы управления и судовой системы управления, обработки и отображения канала связи, выделенные оранжевой заливкой на схеме, которые в неизменном виде функционируют на борту при реальных экспериментах.

Обмен данными между модулями осуществляется посредством универсальных интерфейсов данных – «именованных каналов», выделенных серой заливкой на схеме. При работе в режиме моделирования данные телеметрии публикуются, а команды управления исполнительными механизмами читаются программными модулями симулятора. При реальных испытаниях данные телеметрии публикуются соответствующими программными интерфейсами датчиков и навигационной системы, а команды управления исполнительными механизмами передаются на электронные блоки исполнительных механизмов посредством соответствующих программных интерфейсов. Таким образом, реализуется одинаковая работа модулей системы управления в режиме моделирования и при реальных испытаниях. Команды от судовой системы связи, обработки и отображения информации передаются в систему управления, а данные

телеметрии в судовую систему связи, обработки и отображения информации одинаково как в режиме моделирования, так и в режиме реальных испытаний. Таким образом, для оператора работа в режиме моделирования ничем не отличается с работой с реальной системой управления.

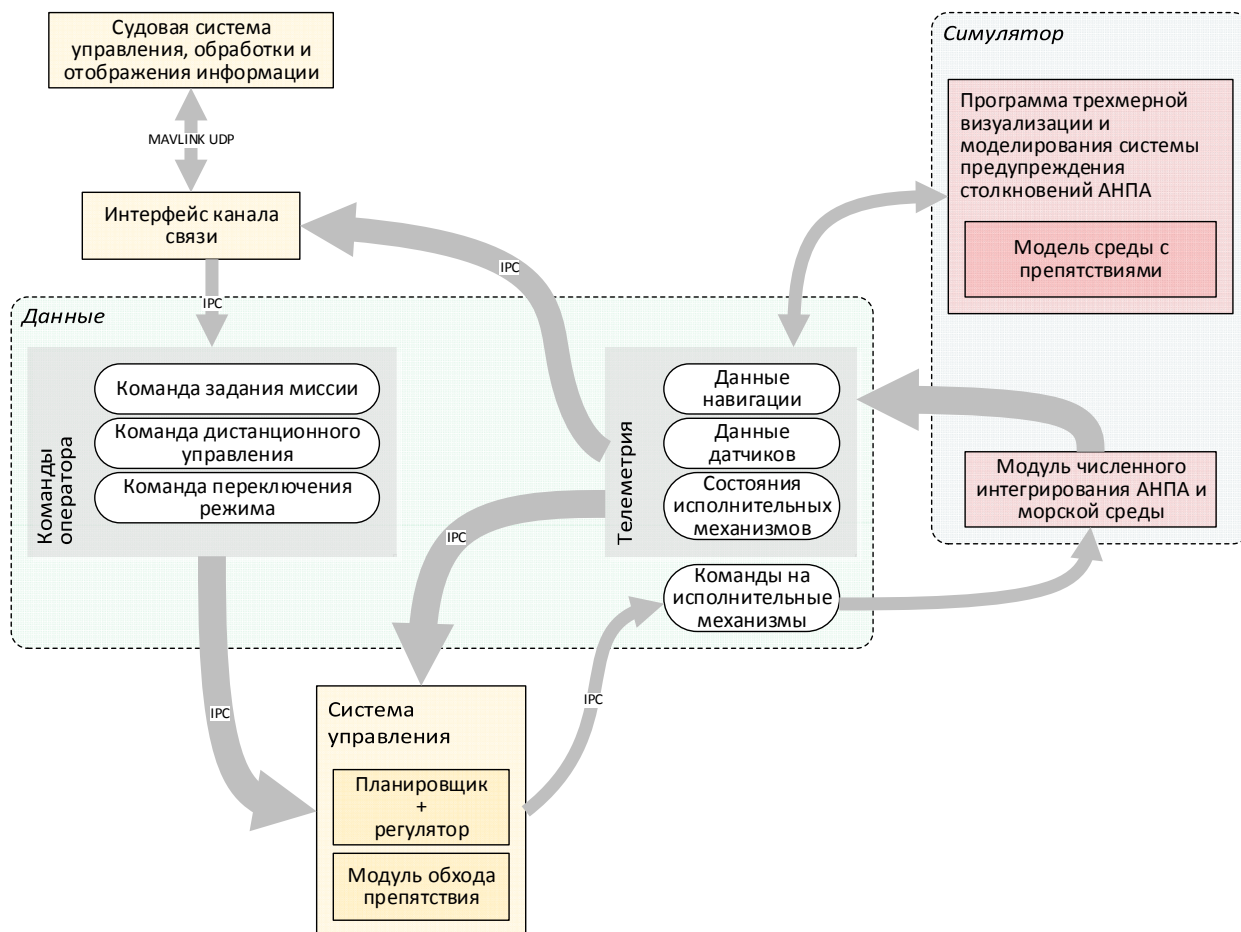


Рис.1 – Функциональная схема симулятора

Для обмена данными между системой управления и судовой системой связи, обработки и отображения информации используется протокол MAVLink.

Формат MAVLink предназначен для упаковки и распаковки структур сообщений (на языках C/C++, C# или Python) для их отправки по каналу связи.

Формат сообщений задается в файлах XML (файл common.xml) и затем конвертируется в код на языках C/C++, C# или Python.

Моделирование среды движения АНПА с препятствиями а также трехмерная визуализация выделены в отдельный модуль симулятора. Для функционирования этот модуль получает данные телеметрии от модуля численного интегрирования для задания положения АНПА, состояний его исполнительных механизмов. Выходными данными модуля являются имитируемые данные сонара, при помощи которых модуль обхода препятствий системы управления осуществляет обход препятствий.

Модуль также осуществляет трехмерную визуализацию среды функционирования АНПА (сцены). В процессе моделирования сцена состоит из следующих элементов, показанных на рис. 3.

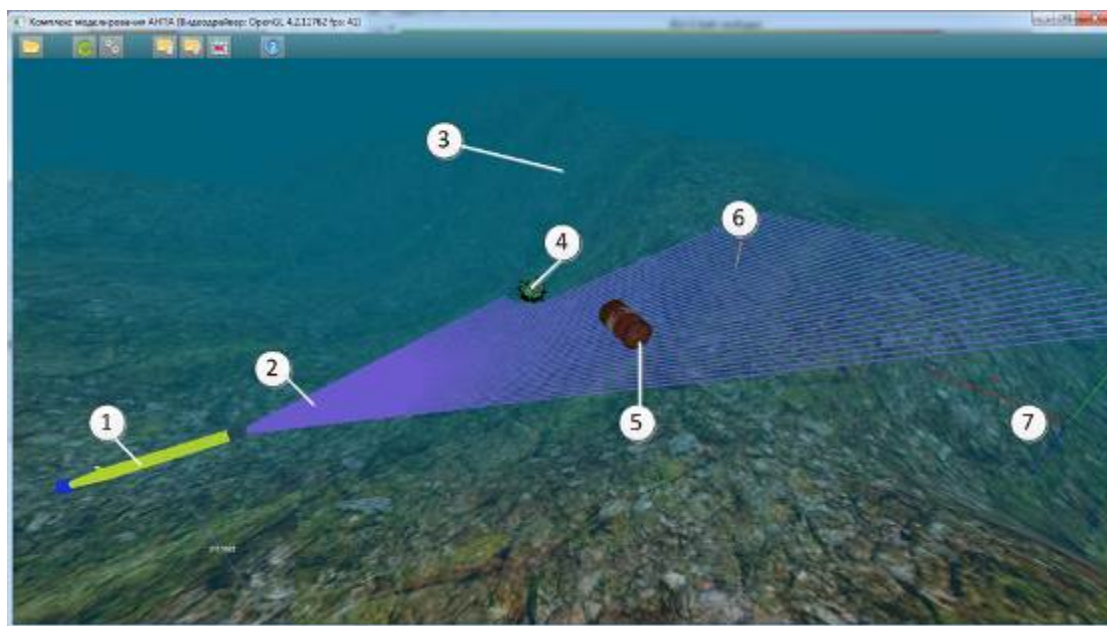


Рис. 2 – Внешний вид программы после загрузки тестового проекта сцены: 1 модель АНПА; 2 модель сенсорной подсистемы АНПА – сонара; 3 ландшафт; 4 препятствие-мина; 5 препятствие-бочка; 6 текущий целевой объект; 7 начало координат сцены

Настройка симулятора осуществляется посредством файла в формате INI и графического интерфейса редактирования этого файла в виде иерархической структуры, показанного на рис. 4. Настройками симулятора являются:

- характеристики АНПА;
- характеристики исполнительных механизмов АНПА;
- настройки системы управления АНПА;
- характеристики потребляемого питания полезной нагрузки;
- настройки системы предупреждения столкновений;
- настройки моделирования течений.

Parameter Name	Type	Value
cruise_engine_angle_horisontal_T	QString	0.2
cruise_engine_angle_horisontal_lim	QString	90
cruise_engine_angle_vertical_T	QString	0.26183
cruise_engine_angle_vertical_lim	QString	90
cruise_thrust_T	QString	0.1
cruise_thrust_lim	QString	500
steering_thrust_horisontal_T	QString	0.1
steering_thrust_horisontal_lim	QString	100
steering_thrust_vertical_T	QString	0.1
steering_thrust_vertical_lim	QString	100

Рис. 3 – Редактирование настроек комплекса моделирования

Эксперименты с использованием симулятора

Моделирование различных вариантов движения АНПА.

Возможность моделирования различных вариантов движения АНПА показана на рис.5 (заданы различные варианты траектории движения).

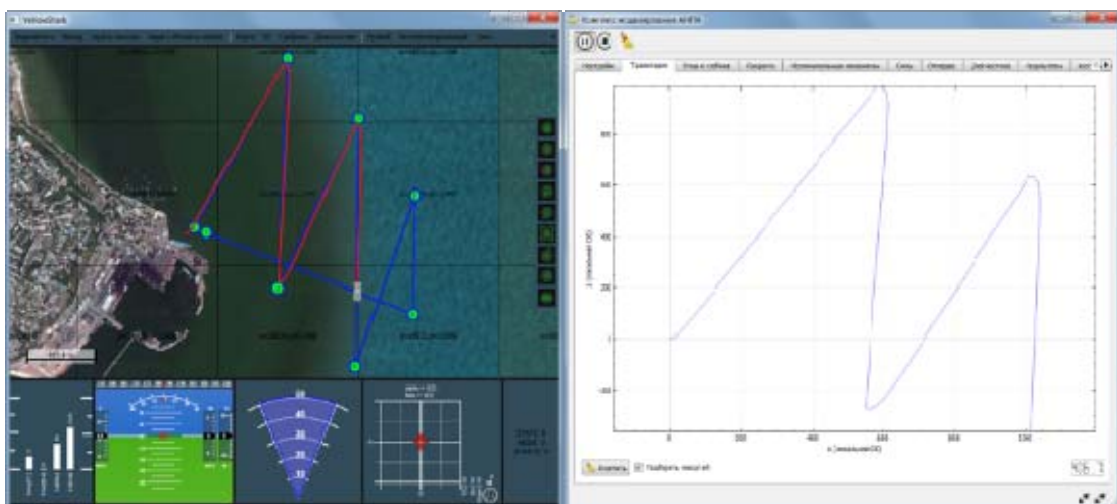


Рис. 4– Моделирование различных вариантов движения АНПА: слева – заданная (синяя) и моделируемая (красная) траектория АНПА на карте; справа – полученная траектория в виде графика изменения координат

Оценка затрат энергии. Зависимость затрат энергии от режима использования полезной нагрузки показана на рис. 6.

На участке 0-1 работала полезная нагрузка 1, на участке 1-2 работали полезная нагрузка 1 и 2, на участке 3 – не работала ни одна полезная нагрузка.

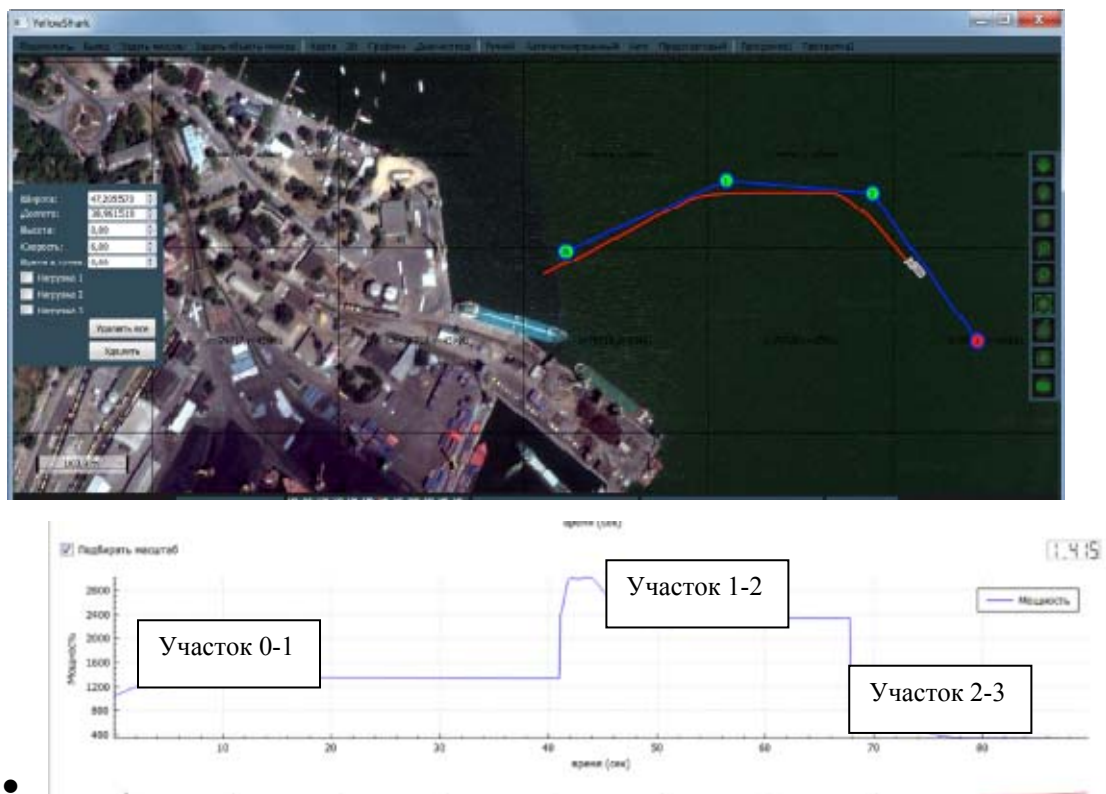


Рис. 5 – Зависимость затрат энергии от режима использования полезной нагрузки

Моделирование системы диагностики и имитация отказов.

Имитация и диагностика отказов осуществляется по отсекам АНПА, как показано на рис. 7. Состояние блока может быть одним из следующих: нормальное (без подсветки либо зеленая при наведении), функционирует с ошибками (желтый цвет), аварийное (красный цвет).

Моделирование гидроакустического сонара. Окно, отображающее адаптированную информацию от модели гидроакустического сонара показано на рис. 8.

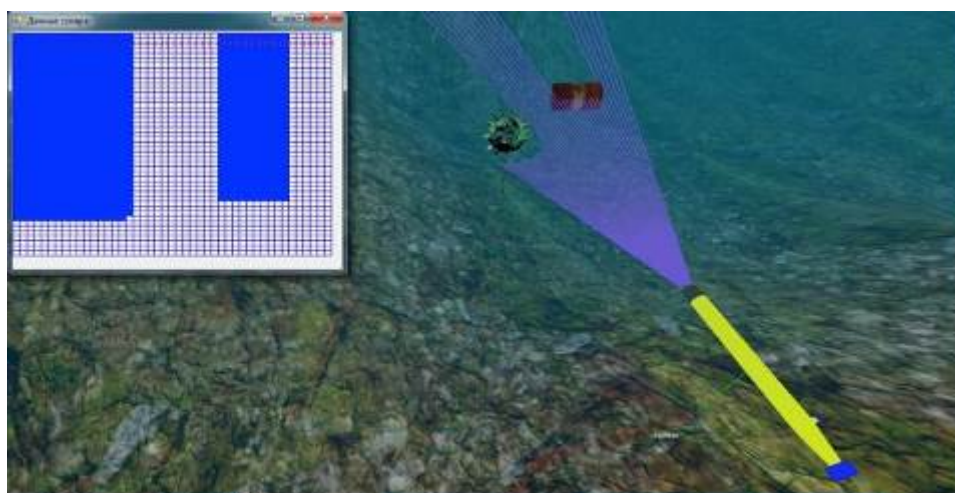


Рис. 6 – Окно отображения адаптированной для нейронной сети информацию от модели гидроакустического сонара

Моделирования процесса поиска подводных объектов. В процессе имитации поиска реализована индикация обнаружения объектов поиска. Точность обнаружения объектов поиска определяется точностью навигационной системы АНПА, которая задается в исходных параметрах моделирования. Данные о координатах обнаруженных объектов поиска, их количестве и времени обнаружения отображаются в результатах моделирования и представлены в виде графиков (рис. 10).



Рис. 7– Индикация объектов поиска

На рис. 10 на участке 0-1 работала полезная нагрузка 1, на участке 1-2 работали полезная нагрузка 1 и 2, на участке 3 – не работала ни одна полезная нагрузка. Зеленый флаг – объект обнаружен, красный – объект не обнаружен.

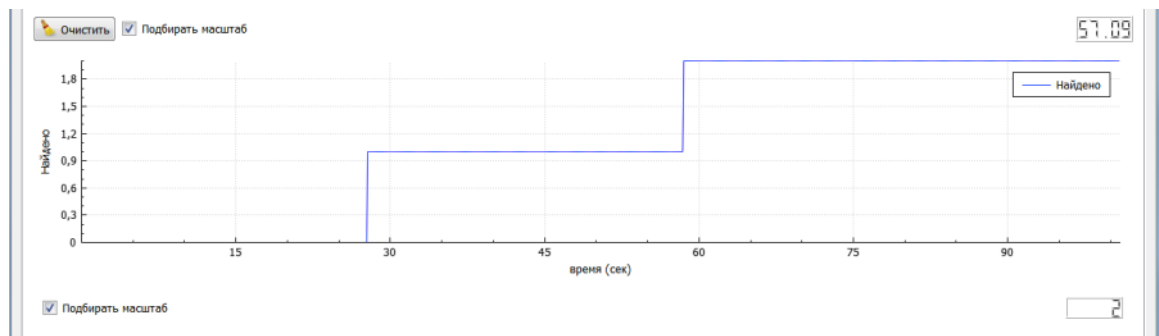


Рис. 8 - Количество обнаруженных объектов

Выводы

В статье представлен процесс разработки симулятора АНПА, предназначенного для моделирования процесса управления, использования систем управления, навигации, связи, освещения обстановки и анализа информации автономных подводных аппаратов с высоким уровнем информационной автономности.

Использование симулятора в процессе разработки системы управления АНПА позволило ускорить разработку и провести предварительные испытания системы средствами компьютерного моделирования.

Благодарности

Авторы глубоко признательны их научному руководителю профессору Вячеславу Пшихопову.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ, НИР №114041540005 по государственному заданию ВУЗам и научным организациям в сфере научной деятельности, грантами Президента Российской Федерации № НШ-3437.2014.10, МД-1098.2103.10 и грантом РФФИ 13-08-00315а.

Литература

1. Федоренко Р.В., Гуренко Б.В. Комплекс моделирования движений подвижных объектов на базе воздухоплавательных и подводных аппаратов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 3 (116). С. 180-187.
 2. Pshikhopov V. K., Medvedev M. Y., Gaiduk, A. R., Gurenko B. V. Control System Design for Autonomous Underwater Vehicle // Robotics Symposium and Competition (LARS/LARC). 2013. С. 77-82. DOI: 10.1109/LARS.2013.61
 3. Pshikhopov V. Kh., Medvedev M. Yu., Block design of robust control systems by direct Lyapunov method // IFAC World Congress. 2011. Volume # 18. Part# 1. С. 10875-10880, DOI: 10.3182/20110828-6-IT-1002.00006
 4. Pshikhopov V. Kh., Ali A. S., Hybrid motion control of a mobile robot in dynamic environments // Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics (ICM). 2011. С. 540-545. DOI: 10.1109/ICMECH.2011.5971345
 5. Pshikhopov V. Kh., Medvedev M. Yu., Robust control of nonlinear dynamic systems // Proceedings of 2010 IEEE Latin-American Conference on Communications (ANDERSON). September 14 – 17, 2010, Bogota, Colombia, С. 1-7, DOI: 10.1109/ANDESCON.2010.5633481
 6. Пшихопов В.Х., Суколкин С.Я., Нагучев Д.Ш., Стракович В.В., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В., Костюков В.А., Волощенко Ю.П. Автономный подводный аппарат «СКАТ» для решения задач поиска и обнаружения затонувших объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 3 (104). С. 153-163.
 7. Пшихопов В.Х., Гуренко Б.В. Разработка и исследование математической модели автономного надводного мини-корабля «Нептун» // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1918
-

8. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Алгоритмическое обеспечение робастных асимптотических наблюдателей производных // Инженерный вестник Дона. 2011. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/ archive/n2y2011/431

9. Медведев М.Ю., Шевченко В.А. Оценка возмущений в процессе автоматического регулирования синхронного генератора // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive /n4y2013/1930

10. Пшихопов В.Х., Гуренко Б.В. Синтез и исследование авторулевого надводного мини-корабля «Нептун» // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1919

References

1. Fedorenko R.V., Gurenko B.V. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskienauki. 2011. № 3 (116). pp. 180-187.

2. Pshikhopov V. K., Medvedev M. Y., Gaiduk A. R., Gurenko, B. V. Robotics Symposium and Competition (LARS/LARC). 2013. pp. 77-82. DOI: 10.1109/LARS.2013.61

3. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. IFAC World Congress.2011. Volume # 18. Part# 1.pp. 10875-10880, DOI: 10.3182/20110828-6-IT-1002.00006

4. Pshikhopov V.Kh., Ali A.S., Hybrid motion control of a mobile robot in dynamic environments Proceedings of IEEE International Conference on Mechatronics (ICM). 2011. pp.540-545. DOI: 10.1109/ICMECH.2011.5971345

5. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu, Proceedings of 2010 IEEE Latin-American Conference on Communications (ANDERSON). September 14 – 17, 2010, Bogota, Colombia, pp.1-7, DOI: 10.1109/ANDESCON.2010. 5633481.

6. Pshikhopov V.Kh. Sukonkin S.Ya., Naguchev D.Sh., Strakovich V.V., Medvedev M.Yu., Gurenko B.V., Kostyukov V.A., Voloshchenko Yu.P. Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. 2010. № 3 (104). pp. 153-163.

7. Pshikhopov V.Kh., Gurenko B.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/ magazine/archive/n4y2013/1918.



8. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2011. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2011/431.
9. Medvedev M.Yu., Shevchenko V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1930.
10. Pshikhopov V.Kh., Gurenko B.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1919.