



ЛОГИСТИКА

УДК 004.852

DOI: 10.31799/2077-5687-2024-1-59-65

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НАВИГАЦИИ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

М. С. Прокофьева

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Современные необитаемые подводные аппараты (НПА) – это особая группа робототехнических объектов, которые выполняют свойственные им задачи. При всем многообразии НПА, а именно: по целевому назначению, массогабаритным характеристикам, конструктивному облику, и т. д., общепризнанная классификация в этом разделе робототехники еще не сложилась.

Также следует отметить необходимость модификации в навигационных комплексах данных аппаратов, через повышение эффективности сбора, передачи и отображения информации.

Следовательно, текущая статья посвящена общему анализу НПА и находит ответы на такие вопросы, как:

- 1) *Какие бывают НПА?*
- 2) *Как осуществляется навигация НПА?*
- 3) *Какие методы навигации являются самыми перспективными?*

Ключевые слова: процесс, вантовый мост, чрезвычайных ситуаций, сетевой график, события.

Для цитирования:

Прокофьева, М. С. Исследование методов навигации необитаемых подводных аппаратов / М. С. Прокофьева // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 1(39). – с. 59 – 65. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-1-59-65.

RESEARCH OF NAVIGATION METHODS FOR UNINHABITED UNDERWATER VEHICLES

M. S. Prokofieva

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Modern self-propelled uninhabited underwater vehicles (UUVs) are a special group of robotic objects that perform their inherent tasks. With all the variety of self-propelled UUVs, namely: according to their intended purpose, weight and size characteristics, design appearance, etc., a generally accepted classification in this class of robotics has not yet developed.

It should also be noted the need for modification in the navigation systems of these devices, through increasing the efficiency of collecting, transmitting and displaying information.

Consequently, the current article is devoted to a general analysis of legal acts and finds answers to questions such as:

- 1) *What are the types of legal acts?*
- 2) *How is navigation carried out?*
- 3) *Which navigation methods are the most promising?*

Keywords: self-propelled autonomous uninhabited underwater vehicles, strapdown inertial navigation systems, machine learning, supervised learning.

For citation:

Prokofieva, M. S. Research of navigation methods for uninhabited underwater vehicles / M. S. Prokofieva // System analysis and logistics. – 2024. – № 1(39). – p. 59 – 65. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-1-59-65.

Введение

На сегодняшний день необитаемые подводные аппараты (НПА) решают колоссальное количество задач, относящихся к различным сферам деятельности человека.

Данные аппараты показали высокую рентабельность в научно-исследовательских, обзорно-поисковых, аварийно-спасательных сферах, что, несомненно, указывает на востребованность в развитии рассматриваемой отрасли робототехники.



При этом для повышения показателей, в перечисленных выше областях, требуется не только заниматься улучшением конструкторской части НПА, но и озаботиться вопросами эффективности сбора, передачи и отображения информации, а также осуществления навигации. Ведь проблемы дальнейшей эксплуатации изделия являются основополагающими в разработке.

Соответственно, для минимизации возможных погрешностей требуется иметь достаточную компетентность, чтобы ответить на вопросы:

- 1) Какие бывают НПА?
- 2) Как осуществляется навигация НПА?
- 3) Какие методы навигации являются самыми перспективными?

Рассмотрим каждый пункт по отдельности и коротко обозначим ответы. После чего можно будет выбрать не только перспективные варианты навигации, но и самый подходящий, для осуществления данных методов, класс НПА.

Классы НПА

Все НПА разделяются на (см. Рис. 1):

- 1) Автономные (с автономной системой энергообеспечения и беспроводным каналом связи);
- 2) Неавтономные (буксируемые и привязные подводные аппараты);
- 3) Полуавтономные (с автономной системой энергообеспечения, но с проводным каналом управления и связи).

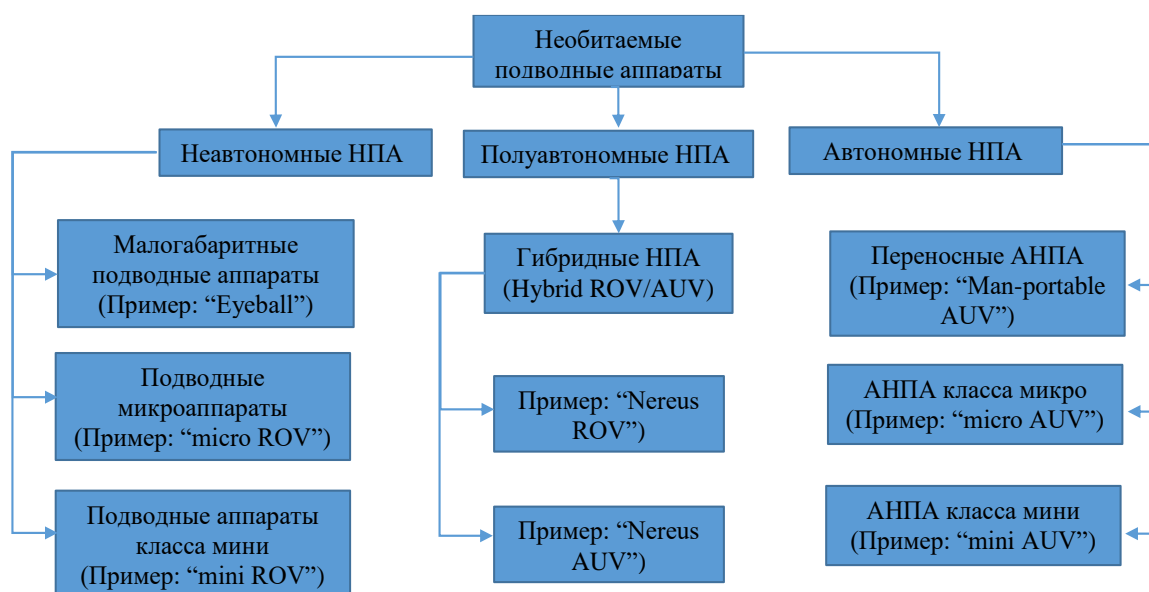


Рис. 1. Условная классификация НПА

Рассматриваемые классы имеют свои преимущества и недостатки (в рамках статьи не берется во внимание полуавтономный класс НПА, в виду того, что он занимает усредненное положение).

Тезисно обозначим достоинства неавтономные НПА по сравнению с автономными НПА (АНПА) [1]:

- 1) большая продолжительность непрерывной работы;
- 2) возможность выполнения сложных и тяжелых механических работ в толще воды и на донной поверхности;
- 3) относительно низкая стоимость постройки и эксплуатации
- 4) относительно высокая надежность конструкции



Несмотря на явные положительные аспекты у НПА имеется ряд проблемных мест:

- 1) полная зависимость аппарата от обеспечивающего судна или берегового надводного оборудования;
- 2) радиус действия аппарата ограничен длиной кабеля-связки;
- 3) на борту обеспечивающего судна необходимо устройство управления натяжением кабеля-связки (во время волнения моря);
- 4) сложность управления аппаратом в условиях сильных течений, завалов и узкостей.

Исходя описанного выше, можно отметить, существенный толчок в развитии класса АНПА, при этом неавтономные НПА также остаются востребованными.

Можно сказать, что два данных класса в широком смысле заняли свои ниши. Неавтономные НПА в основном выполняют дополнительные функции объекта (обслуживания и поддержка и т.д.), на котором они установлены. АНПА создается для самостоятельной работы и почти не зависит от, какой бы то ни было, «базы».

Следовательно, в рамках данной статьи будут рассматриваться только методы навигации применительно в АНПА.

Осуществление навигации АНПА

Прежде чем перейти непосредственно к методам навигации АНПА, необходимо иметь представление о том, из каких систем состоит навигационный комплекс рассматриваемых аппаратов:

- 1) бортовых автономных;
- 2) гидроакустических;
- 3) спутниковых.

В навигационном оснащении современных АНПА, как правило, используются все вышеперечисленные элементы навигации. Каждая из систем, в свою очередь, представляет собой комплекс устройств, входящих в общий базовый состав систем АНПА и судового оборудования (см. Рис. 2).

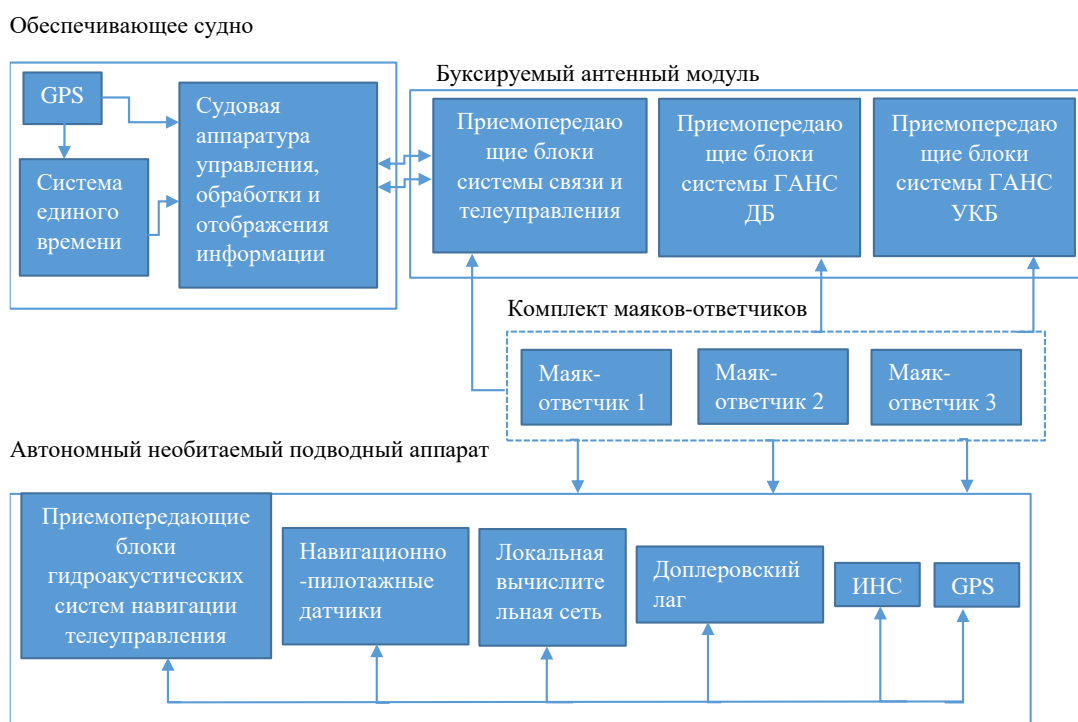


Рис. 2. Навигационные средства АНПА



Как правило, бортовой автономный аппарат представляет собой комплексированную доплеринерциальную систему, состоящую из инерциальной навигационной системы (ИНС). ИНС корректируется данными доплеровского лага, который измеряет скорость аппарата над грунтом или относительно воды. Использование данных о высоте над грунтом, предоставляемых доплеровским лагом, позволяет АНПА удерживать расстояние от дна, необходимое для выполнения съемки ГБО или фотографической съемки. Для получения позиции в надводном положении используется приемник DGPS.

Гидроакустический навигационный аппарат обеспечивает определение позиции АНПА с установленным на борту маякомответчиком относительно приемо-передающей антенны.

Также судовая аппаратура управления, обработки и отображения дополнительно содержит блок данных об эфемеридной информации о навигационных спутниках Земли, находящихся в регионе выполняемых исследовательских работ, электронную картографическую навигационную информационную систему и видео-плоттер.

Подробное описание навигационных средств представлено в [2].

Навигационным оборудованием в различных условиях работ решаются две задачи.

Первая заключается в достижении максимальной точности навигационной привязки, характерной для поисковых работ и детального обследования выделенных районов.

Вторая состоит в контроле текущего положения АНПА, например, при выполнении перехода в район работ или проведения обзорных гидролокационных съемок.

Все вышеизложенное говорит о высокой степени оснащённости АНПА, однако это не значит, что уже хорошо работающую систему нельзя улучшить.

В настоящее время наибольший практический интерес представляют следующие варианты комплексирования и коррекции навигационной информации на борту АНПА:

- 1) корректная передача входных параметров ИНС;
- 2) взаимная коррекция гироскопического и магнитного компасов в различных режимах работы АНПА;
- 3) интегральная обработка информации АНПА и бортового приемника;

Подробно про управление АНПА и разработку навигационной среды на примере робота «Клаверсин» в [3].

Соответственно, для каждого навигационного блока из АНПА, имеется своя задача по повышению эффективности. Согласно исследованиям, описанным в [2], все системы являются многообещающими, но в рамках данной статьи остановимся на вариантах для ИНС.

Такому решению способствуют два важных фактора:

- 1) Первый фактор всецело описывается задачами, которые ставятся перед системой управления движением любого автономного подводного аппарата:
 - a. движение с заданной скоростью;
 - b. отсутствие рывков;
 - c. движение по заданной траектории с обходом препятствий;
 - d. точность позиционирования в точке.
- 2) Второй фактор объясняется, тем, что в случае любой внештатной ситуации от ИНС будет зависеть работоспособность навигационного комплекса всего автономного необитаемого подводного аппарата.

Данные тезисы доказывают приоритетность в решении задач входных параметров ИНС.

Методы осуществления навигации для ИНС

Инерциальная навигационная система осуществляет выработку информации о курсе, координатах, скорости движения и параметрах угловой ориентации судна в непрерывном режиме (именно эти данные корректируются с показаниями доплеровского лага).

Различают два вида инерциальных систем - системы с гиростабилизированной платформой и бесплатформенные инерциальные системы (БИНС). В рамках данной работы



будет рассматриваться второй вид. Так как он дает более точные сведения о навигационных параметрах движения, при этом он почти автономен, следовательно, требует минимум внешней информации.

К тому же отсутствие сложной платформы у устройства позволило избавиться от ненужных габаритов, массы и упростить производство.

Алгоритмическое обеспечение любой БИНС включает:

- 1) алгоритмы коррекции и контроля входной измерительной информации;
- 2) алгоритмы диагностики неисправных измерительных каналов и их комплексирование (при избыточном количестве измерителей);
- 3) алгоритмы вычисления параметров ориентации;
- 4) алгоритмы определения составляющих кажущейся скорости в навигационном базисе;
- 5) алгоритмы навигации (определение истинной скорости, координат и других параметров в соответствии с требованиями);
- 6) алгоритмы начальной выставки и калибровки;
- 7) алгоритмы комплексирования с внешними измерениями (при наличии таковых).

Как говорилось выше, существует потребность в регулировке входных параметров ИНС. Соответственно, в текущей статье будут рассматриваться алгоритмы коррекции и контроля характеристик, поступающих из вне, которые определяются видом информации, получаемой с датчиков БИНС, и математической моделью ошибок датчиков.

В общем, представлении ИНС состоят из трёх приборов:

- 1) гироскопы (определяют угловую скорость),
- 2) акселерометры (определяют кажущееся линейное ускорение, которое выступает корректором гироскопов),
- 3) высокопроизводительный вычислитель с математическими алгоритмами (вычисление навигационных задач, обработка и фильтрация данных).

Следует отметить, что передовой технологией в производстве БИНС является технология волоконно-оптических гироскопов (ВОГ). Подводный аппарат на базе таких гироскопов не имеет подвижных частей, абсолютно бесшумен, механически прочнее аналогов, не требует специального обслуживания, имеет хорошие показатели наработки на отказ и малое энергопотребление. Подробнее исследование БИНС на основе ВОГ, описано в [4].

Соответственно, датчиками снятия учета данных БИНС являются: гироскопы и акселерометры.

В [5], описана методика калибровки БИНС по входным сигналам модели ошибок, которая выполнена на наклонно-поворотном стенде.

Однако, для решения поставленных задач АНПА должен не только компенсировать влияние внешних возмущений, но и иметь возможность предсказать их, поэтому для коррекции, получаемой из вне информации все чаще используют методы на основе ИИ.

В данной статье для минимизации ошибок более всего подойдет традиционный подход машинного обучения – обучение с учителем (в широком смысле задача классификации). Так как в данном подходе коррекция происходит за счет минимизации ошибки между ее выходом и эталоном, для этого применяются два метода:

- 1) Коррекции ошибки – метод обучения перцептрона, представляющий из себя такой метод обучения, при котором вес связи не изменяется до тех пор, пока текущая реакция перцептрона остается правильной. При появлении неправильной реакции вес изменяется на единицу, а знак определяется противоположным от знака ошибки [6].

Перцептрон – это нейросеть, представляющая из себя алгоритм двоичной классификации, который определяет, относится ли объект к искомой категории.



- 2) Метод обратного распространения ошибки - метод обучения многослойного перцептрона. Основная идея этого метода состоит в распространении сигналов ошибки от выходов сети к ее входам, в направлении, обратном прямому распространению сигналов в обычном режиме работы [6].

В рамках статьи рассматривается метод коррекции ошибки, который имеет следующие модификации:

- 1) Коррекция ошибок без квантования;
- 2) Коррекция ошибок с квантованием;
- 3) Коррекция ошибок со случайным знаком подкрепления;
- 4) Коррекция ошибок со случайными возмущениями

На данный момент часто используют гибридизацию разных методов коррекции ошибок. Как правило, нейронная сеть обучается до сходимости (сходимость говорит о том, правильная ли архитектура у нейронной сети и правильно ли были подобраны гиперпараметры в соответствии с поставленной задачей) без квантования, затем в неё добавляются операции квантования и после этого она какое-то время дообучается с целью корректировки весов.

В свою очередь гиперпараметром называется величина которая подбирается путем проб и ошибок.

В данном исследовании не будет отходить от правила и остановимся на совместном применении коррекции ошибок без квантования, и коррекции ошибок с квантованием, так как это поможет получить более точную итоговую модель. При этом, что добиться хороших результатов нужно соблюсти строгие требования к вычислительным ресурсам.

Тезисно опишем, рассматриваемые модификации:

Коррекция ошибок без квантования предполагает вводить подкрепление, когда реакция на стимул S_i неправильная, но при появлении ошибок к весу каждого активного А-элемента прибавляется величина η , которая находится по формуле (1):

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta x_i \quad (1)$$

где Δx_i — число единиц подкрепления, выбирается так, чтобы величина сигнала превышала заранее определенный порог.
$$p_i = \begin{cases} +1, & \text{if } S_i^+ \\ -1, & \text{if } S_i^- \end{cases}$$
, при этом S_i^+ — стимул, принадлежащий отрицательному классу, S_i^- — к положительному [6].

Коррекция ошибок с квантованием отличается от коррекции ошибок без квантования только тем, что $\Delta x_i = 1$

Следовательно, истолкование входных показателей является основополагающим в дальнейшей работе аппарата, так как отсутствие корректной информации с большей долей вероятности приведет к фатальным ошибкам во время миссий.

Использование методов обучения с учителем является перспективным инструментом для упрощения исправления входных данных, а совместное применение подходов на основе коррекции ошибок без квантования и с квантованием являются одинаковыми по скорости достижения решения в общем случае, и более эффективными по сравнению с методами коррекции ошибок со случайным знаком или случайными возмущениями.

Заключение

Исходя из информации, приведенной в данной статье. Получены ответы на следующие вопросы:

- 1) НПА бывают: автономные, неавтономные, полуавтономные.

В рамках статьи рассматривались автономные НПА.



- 2) Системы навигации НПА бывают: бортовыми автономными (состоящие из инерциальной навигационной системы (ИНС)), гидроакустическими, спутниковыми.
В данном исследовании рассматривались бортовые автономные системы навигации, приоритетным направлением в которых является решение задач входных параметров ИНС.
- 3) Одним из самых актуальных методов навигации, являются методы коррекции, получаемой из информации, которая использует разные математические модели нахождения ошибок. Достаточно перспективным вариантом можно назвать методы машинного обучения на основе обучения с учителем, а именно совместное применение методов коррекции ошибок без квантования и коррекции ошибок с квантованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров, Л. Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития/ Л. Бочкачев // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – №7. – С. 62-69.
2. Инзарцев, А. В. Навигация и управление автономных подводных роботов / А. В. Инзарцев, Л. В. Киселев, Ю. В. Матвиенко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – С. 164-169.
3. Матвиенко, Ю. В. Перспективы повышения эффективности автономных подводных роботов / Ю. В. Матвиенко, А. В. Инзарцев, Л. В. Киселев, А. Ф. Щербатюк // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – С. 123-141.
4. Коркишко, Ю. Н. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы на основе волоконно-оптических гироскопов / Ю. Н. Коркишко, В. А. Федоров, В. Е. Прилуцкий и др.// ООО НПК Оптилинк. – 2014. – №1. – С. 14-25.
5. Николаев, С. Г. Калибровка бесплатформенных инерциальных навигационных систем по выходным сигналам модели ошибок / С. Г. Николаев, Ю. В. Ившина. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2014. – №4(200). – С. 95-105.
6. Центр исследования искусственного интеллекта "ЕЦИИИ". Искусственный разум [Электронный ресурс]. – URL: <https://intellect.icu/obuchenie-s-uchitelem-metod-korreksii-oshibki-metod-obratnogo-rasprostraneniya-oshibki-117> (дата обращения: 10.12.2023).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Прокофьева Марина Сергеевна –

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: m4riprokofjeva@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Prokofeva Marina Sergeevna –

graduate student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: m4riprokofjeva@yandex.ru