Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Институт машиностроения, материалов и транспорта

Высшая школа автоматизации и робототехники

**ОТЧЁТ ПО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

Обзор и алгоритмов группового поведения для безэкипажных надводных катеров

Выполнил

студент гр. 3331506/60401 <*подпись*> Д.Д. Сидоренко

Руководитель

старший преподаватель <*подпись*> А.С. Габриель

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

**Реферат**

На 23 с., 12 рисунков

.

Содержание

[Введение 5](#_Toc75550876)

[1 Описание структуры навигационной системы безэкипажного судна 6](#_Toc75550877)

[2 Расчет курса на целевую точку. 9](#_Toc75550878)

[3 Описание математической модели управления судном 10](#_Toc75550879)

[4 Натурные испытания малого безэкипажного судна 12](#_Toc75550880)

[4.1 Эксперимент движения в повороте 13](#_Toc75550881)

[4.2 Эксперимент Зигзаг 14](#_Toc75550882)

[5 Построение регулятора курса на основе нечетких правил 18](#_Toc75550883)

[Вывод 21](#_Toc75550884)

[Список литературы 22](#_Toc75550885)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А Код MATLab для расчета азимута и расстояния между двумя координатами 23](#_Toc75550886)

**Перечень сокращений и условных обозначений**

В настоящем отчете по НИР применяются следующие обозначения и сокращения.

USV – Unmanned Surface Vessel (Безэкипажный надводный аппарат)

GPS – Global Position System (глобальная система навигации)

БЭК – Безэкипажный катер

БПЛА – Бес пилотный летательный аппарат

Введение

Разработка безэкипажных надводных судов (USV) ведется для рещения задач как военного, так и гражданского флотов. Для военных целей ведутся разработки в области атакующих, обороняющихся и разведывательных судов.

В области гражданского судостроения засчет USV решаются следующий список задач:

Коммерческие перевозки грузов и людей;

Исследование и картирование океана

Поиск затонувших объектов

Мониторинг перемещения косяков рыбы

Организация MASH сети в водоеме

Существующие проекты USV

На данный момент Норвегия является одной из ведущих стран в исследовании проблем разработки и управления USV.

Autosea

Норвежские компании Kongsberg, Maritime Robotics, Multi Maritime и другие ведут разработку технологий автономного управления БЭК. Данный проект направлен на запуск беспилотного транспорта различной специализации (паромы, малые грузовае суда, суда снабжения) вокруг берегов и фьордов Норвегии. Один из БЭК проекта компании Maritime Robotics представлен на рисунке 1.

Изображение выглядит как вода, внешний, небо, океан

Автоматически созданное описание

Рисунок 1 - БЭК Maritime Robotics

Yara Birkeland

Данный проект направлен на создание электрического контейнеровоза на основе системы управления компании Kongsberg. Разрабатываемое судно позволит значительно сократить выбрасы угликислого газа, по сравнению с автомобильными контейнеровозами. Так-же не смотря на высокую стоиомсть судна, годовые расходы на содержание планируются быть на 90 процентов ниже, чем на обычное судно подобых размеров. Модель контейнеровоза компании Yara Birkeland приведена на рисунке 2.



Рисунок 2 - Проект электрического контейнеровоза Yara Birkeland

AAWA (Advanced Autonomous Waterborne Application Initiative)

Данный проект направлен скорее на дистанционное управление различными судами, чем на их полную автоматизацию. Так разработана концеприя поста управления судном из капитанского мостика с берега с обзрором 360 градусов с применением технологии AR. Разработки проекта AAWA представлены на рисунке 3.

Изображение выглядит как вода, внешний, лодка, небо

Автоматически созданное описание

Рисунок 3 - Перспективные разработки AAWA

MUNIN (Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Network)

Даннный проект спонсируется европейскими исследовательскими агенмтвами. За основы взят балкер срежнего размера. Работа MUNIN строится из отдельных рабочих пакетов и включает задачи:

разработать реальную и полезную ИТ-архитектуру для автономной работы

вывести концепцию работы автономного мостика

разработать концепцию автономной работы машинного отделения,

определить процессы в береговом операционном центре необходимые для дистанционного управления судном

обосновать осуществимость разработанных решений, объединенных в концепцию автономного и беспилотного судна, выявить и расследовать юридические и материальные барьеры для беспилотных судов.

Oceanalpha

Китайское управление судостроением проводит исследование и разработки в области безэкипажного судостроения. Целью данного продразделения является разработка большого спектра разных беспилотных судов. Некоторые разработки Oceanalpha представлены на рисунке 123.

Изображение выглядит как текст, вода, синий

Автоматически созданное описание

Sea Hunter

Данный проект является военной разработкой ВМС США. Судно разрабатывалось для решения задач патрулирования приграничных территорий. Фотография судна Sea Hunter преведена на рисунке 123

Изображение выглядит как вода, лодка, внешний

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 - Sea Hunter

Децентрализация

Одним из преимуществ применения групп роботов, вместо единичных экземпляров, является децентрализованность системы. Наличие многих агентов в мультиагентной системе позволяет решать опставленные задачи быстрее и пробуктивнее. Так же при потере одного или нескольких агентов, оставшиеся агенты способны выполнять поставленную задачу.

Децентрализованная систем является сетевой. Прежде всего следует отметить, что сетевая система вполне может быть централизованной системой в том смысле, что решения принимаются центральным узлом, а затем передаются остальной части системы. Наличие большого количества общения между членами команды не означает, что система децентрализована. Можно сказать, что система распределена в географическом смысле или в смысле назначения задач, но децентрализация относится к тому, кто принимает решения.

Каждый агент в системе имеет автомат состояний, переключаемый в соответствии с информацией об окружающей среде и внутренним правилам. Мы заметили, что простые правила, идентично воспроизводимые на каждом из автоматов, приводят к сложному глобальному поведению в процессе эволюции. Это явление появления является типичной характеристикой роев. Стивен Вольфрам выделил четыре класса клеточных автоматов: •

Класс 1: после стабильной и однородной эволюции система сходится к одному состоянию. •

Класс 2: эволюция сходится к образцу состояния, траектории, которая является стабильной и периодической. •

Класс 3: имеет место неустойчивая эволюция, не сходящаяся ни к одной закономерности (хаотическая система). •

Класс 4: эволюция сводится к сложному поведению, где сосуществуют порядок и хаос. Там будут упорядоченные области с локальными паттернами и другие неупорядоченные области. Поскольку вид эволюции может зависеть от параметров локальных правил, важно смоделировать результат спецификаций локального управления.

Объединения из нескольких роботов

В мультиагентной системе для каждого агента необходимо учитывать различные параметры, такие как координаты, время, роль и т.д. При постановки задачи мультиагентой системе возникает несколько вопросов: что делать, кто это будет делать и как делать. В общем случае применения подобной системы необходимо обеспечить сотрудничество между агентами. Процесс сохранения формации (строя) подробно описан в работах [17, 18]. Процесс сохранения строя необходим для осуществления задач сканирования акватории при помощи БЭК.

В многоагентных стстемах для каждого агента необходимо учитывать различные переменные, такие как координаты, время, роль и т.п. Во впремя постановки задачи многоагентной стстеме опзникает ряд вопросов, такие как кто будет выплнять задачу, как будет выпоняться эта задача и т.п. В подобных задачах возникает необходимость сотрудничества и взаимодействия между агентами. В задачах группового сканирования возникает необходимость потдержания формации (строя). Для потдердания строф используется подход выбора ведущего агента и формирования потенциальных полей для ведомых агентов. Подробнее построение и удержанее формации в роевом поведении роботов описано в работах 17 и 18. Примером потенциального поля для потдержания формации многоагентной системе может служить потенйиальная поверхность в виде окружности, представленной на рисунке 123.

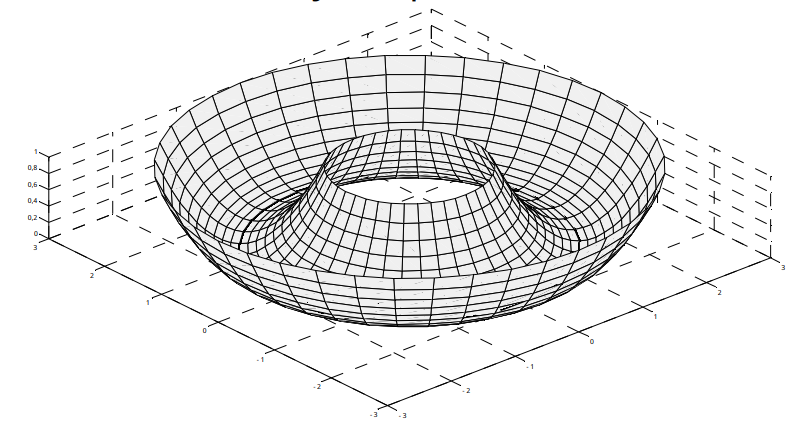


Рисунок 5 - Потенциальная форма для круглой траектории

При движении в формации могут возникать ситуации, в которых одному или нескльтким агентам системы необходимо отклониться от заданного маршрута с целью предотвращения столкновений, как с другими агентами системы, так и с препятствиями внешней среды. В работе 123 ЭТА СТАТЬЯ ПОНЕНЯТЬ. Показано как формация БЭК избигает столкновения как с препятствиями внешенй стады, так и столкновений между агентами системы. Данный пример приведен на рисунке 6. Так же в работе 123 ЭТА СТАТЬЯ ПОНЕНЯТЬ показан алгоритм выбора лидера формации. Так при статическом выборе центрального БЭК в качестве лидера возникают сложности в осуществлении разваротов и поворотов, с сохранением целостности формации. При повороте внешним агентам формации необходимо двигаться с большей скоростью, чем лидеру, соответственно при малых радиусах поворота или большой скорости лидера внешнии агенты могут не успевать выдерживать заданную позицию и будут отставать от строя. Для предотвразения ошибок такого рода предлягается динамически выбирать лидера формации при совершении каждого маневра. В кадечтве лидера выступает влешний агент формации, тем самым ограничивая своей максимальной скоростью скорости всех остальных агентов по премя совершения поворота.

При применении формации к БЭК, в отличи от БПЛА винтового типа не возникает проблемы малых скоростей внутренних агентов, так как у БЭК нет такого понятия как скорость сваливания, и даже при нулевых скоростях БЭК останется на плаву. С другой стороны при применении БЭК на подводных крытьях так же необходимо учитывать минимальную скорость формации.

Изображение выглядит как седзи, здание

Автоматически созданное описание

Рисунок 6 - Формация избегает препятствий во время движения

Так-же применяется метод задания единого пути всей формации и распределение расстояний от данного пути между членами группы. Расстояния распределяются по правилам «НА N МЕТРОВ ЛЕВЕЕ|ПРАВЕЕ». При этом лидер фромации тоже модет двигаться не по заданому единому пути, а рядом с ним. Лидер движется с заданной скоростью. Остальные участники держат заданное расстояние до лидера по пути. Пример работы подобной системы проведен на рисунке 7

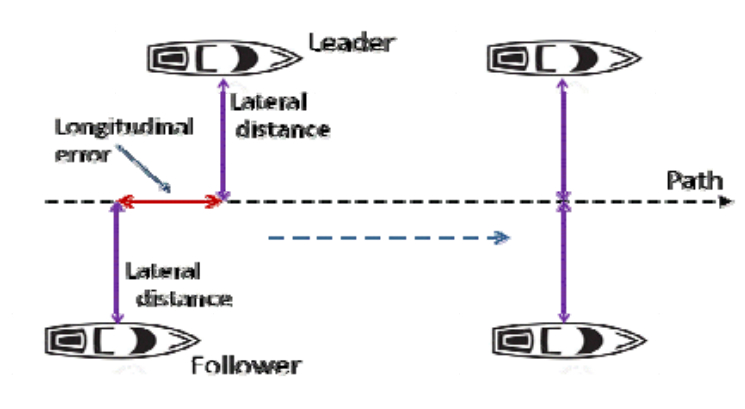


Рисунок 7 - Построение БЭК

Интересно заметить, что контуры управления, предназначенные длч работы БЭК в индиведуальном режиме не подходят для работы даже в паре, что поразано в работе 22 ЗАМЕНИТЬ. В данной работе решалась задача буксировки бона для локализации разливов нефти. Так в процессе работы пара БЭК сдивалась с маршрута и переходила в режим перетягивания каната.

Так же стоит заметить, что имеются иллюстративные исследования, включающие физическое взаимодействие [24], о коллективной транспортировке объектов роем [25], о сотрудничестве роевых ботов, с примерами самосборки и коллективного толкания объектов [26], о самосборке роя лодок в плавучие конструкции.

Области сканирования

В задачах сканирования можно выделить две области применения БЭК: военную и гражданскую. В военном применении в большенстве случаев БЭК выступает самостоятельной единицей и используется для обнаружении мин в акватории. Применение малых БЭК позполяет производить поис заглубленных минных заграждений. Так как осадка малого БЭК меньше, чем заглубление мины, то мина не срабатывает от прохода БЭК. Так же глубина сканирования нависного оборудования БЭК в виде стоционарного гидроакустического локатора позволяет обнаруживать мнны с небольшим заглублением. В задачих гражданского прменения БЭК могут импользоваться совместно с буксируемым ГБО, так как при поиске различных объектов на дне океана требуется сильно большая глубина сканирования, чем у гидроакустического локатора. Сканирование территории может осуществляться несколькими вариантами траектории. Два таких варианта, спирать и зиг-заг (газонокосилка) показаны на рисунке 123. При этом агенты роя могут осуществлять как совместное одновременное сканирование акватории для предотвращения акустических теней (рисунок 123), так и распределять область сканирования на подобласти и сканировать каждый свой участок, но в таком случае неизбежно появляются акустические тени (рисунок 123).

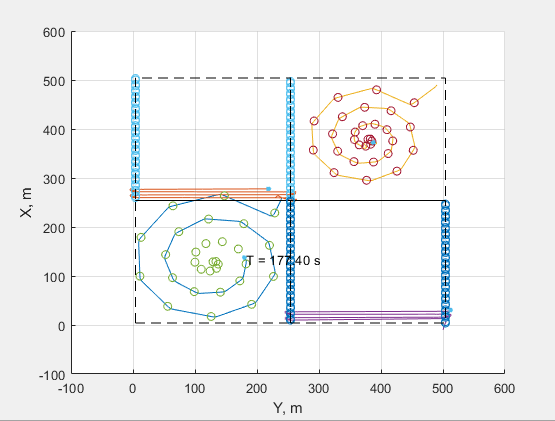


Рисунок - Распределение области сканирования на подобласти

Так же стоит рассмотреть псевдослучайные траектории сканирования и траектории, привязанные к местности. Так при сканировании акваторий со сложным рельефом дна или большим количеством островов и других запретных зон имеет смысл применять псевдослучайные траектории, так как и спиральные траектории и траектории зиг-заг будут генерироваться с большим перекрытием, зачёт обхода препятствий.

В работе [40 ЗАМЕНИТЬ] представлен наводящий метод скоординированного исследования с участием нескольких роботов, заставляющий роботов рассредоточиться в направлении неизвестных пространств. Интересными приложениями являются: обнаружение мин с использованием нескольких агентов, наблюдение за территорией с помощью роя БПЛА и исследование территории на основе ферономов и стай птиц. Обширные обзоры по разведке можно найти в работе [44 ЗАМЕНИТЬ]. Так де стоит упомянуть работу [47 ЗАМЕНИТЬ], в которой присываются процедуры сохранения связности роя во время процедуры поиска.

Муравьиный алгоритм

Исторически исследование и разработка роевых алгоритмов началась с муравьиного алгоритма. Муравьи во время разветки, при обнаружении пищи, оставляют след ферментов, для общения с другими муравьями. В последствии был предложен алгоритм оптимизации пути, на основе поведения муравьев. Так же существуют разработки в области расширения муравьинного алгоритма с использоваинем агентов исследователей и агентов собирателей. В случае нахождения какого-либо полезного ресурса количество исследователей уменьшается, а когда канного ресурса снова начинает нехватать, колчество исследователей заново возрастает. Так в работе 13 ЗАМЕНИТЬ показано, что при использовании подобного алгоритма в задаче планирования пути судна удается получить лучшие результаты.

Понятие и особенности роя

Существует обширная литература о роях, которую легко найти в Интернете. Мы хотим только сделать некоторые комментарии и порекомендовать некоторые статьи. Укореняясь, общественные насекомые представляют собой фундаментальный архетип стаи. В этом контексте статья [56] дает краткий и привлекательный анализ аспектов коллективного поведения. Часто цитируемый технический отчет о роевой робототехнике — [57]. В этом документе рассматриваются мотивы и области применения роев. В диссертации [58] Гарвардского университета содержится хороший отчет о методах, связанных с роботизированными роями. Хороший современный обзор роевой робототехники — [59]. На основе функции формы, которая заставляет помнить о трехмерных возможностях, децентрализованные контроллеры предлагаются компанией Существует обширная литература о роях, которую легко найти в Интернете. Мы хотим только сделать некоторые комментарии и порекомендовать некоторые статьи. Укореняясь, общественные насекомые представляют собой фундаментальный архетип стаи. В этом контексте статья [56] дает краткий и привлекательный анализ аспектов коллективного поведения. Часто цитируемый технический отчет о роевой робототехнике — [57]. В этом документе рассматриваются мотивы и области применения роев. В диссертации [58] Гарвардского университета содержится хороший отчет о методах, связанных с роботизированными роями. Хороший современный обзор роевой робототехники — [59]. На основе функции формы, которая заставляет помнить о трехмерных возможностях, децентрализованные контроллеры предлагаются компанией

Военная перспектива

В своей статье о роях и будущем войны [75] подчеркивает новаторскую важность монографии [76], 2005 г., в которой представлен взгляд на эволюцию доктринальных форм конфликта следующим образом: ближний бой, массовый, маневренный и роевой. . Последняя представляет собой новую форму, требующую отражения и обновления военных схем, о чем говорится в [77]. Другой, но связанный аспект — это то, как обращаться с роями роботов в военных сценариях. Хронологически отметим ряд связанных публикаций. [78] о роевом интеллекте и C2. [79] о взаимодействии человеческого роя для поиска источников радиации. В 2009 г. [80] об осуществлении человеком контроля над децентрализованными роями и [81] по аналогичному вопросу. А в 2012 году [82] предложил тактический командный подход, разбивая рой на единицы. Методология планирования миссии роя БПЛА представлена в [83]. Другими интересными публикациями являются [84] о гибридном контроле над стаями водных трутней и [85] о мерах противодействия. По сути, возникает проблема защиты при нападении роя. Примером большого визуального воздействия (видео есть в Интернете) является иранская инициатива водного роя [86]. Чисто с технической точки зрения хотелось бы привести некий радикальный пример неадекватного подхода. Один решает приобрести 100 квадрокоптеров. Они поставляются со 100 пультами радиоуправления. Затем нанимают 100 пилотов для работы с консолями и пытаются экспериментально продемонстрировать поведение роя. Мы не знаем, как каждый пилот узнает издалека, какой у него дрон. Мы также предполагаем, что любая координация будет осуществляться голосом между пилотами. Измеримые результаты будет трудно получить. К бортовому управлению дронами следует добавить дополнительный программный уровень или компонент (если таковой имеется). Целью этого программного обеспечения было бы избежать 100 консолей и пилотов. Правила локального контроля позаботятся об автономном поведении и взаимодействии с другими. Кстати, недавним мировым рекордом Гиннеса был полет 100 дронов в строю. Возможный основной способ управления роем состоит в том, чтобы спланировать удобный общий путь и использовать этот путь для назначения отдельным лицам определенных относительных местоположений (с некоторым допуском) во время движения роя. Как показано в ряде интернет-видео с большим количеством скоординированных небольших дронов, использование формирований формирований может упростить управление. Подробности управления роем см. в [87].

Вывод

В данной работе рассмотрены подходы к разработке и проектированию алгоритмов поведения БЭК в групповых задачах. Так же в работе приведено описание уже используемых моделей поведения роя и формаций как БЭК в частности, так и роботов в целом. Особое внимание уделено задачи совместного сканирования акватории и удержании формации в процесс выполнения сканирования. Рассмотрены некоторые мметоды потдержания сторя, а так-же проблемы, связанные с мотдержанием геметрии строя

Так же в работе рассмотрены методы построения траекторий сканирования бля БЭК. Рассмотрены методы построения траекторий для расперделенного сканирования акватрии с разделением на подобласти, а так же методы построения и соблюдения траектории для одновременного совместного сканирования.

Так же в работе затронуты вопросы перспективы как гражданского, так и военного применения групповых решений БЭК.

Список литературы

1. Wu G.X. и др. Design of the intelligence motion control system for the high-speed USV // 2009 2nd Int. Conf. Intell. Comput. Technol. Autom. ICICTA 2009. 2009. Т. 3. С. 50–53.

2. Choe B., Furukawa Y. Automatic track keeping to realize the realistic operation of a ship // Int. J. Fuzzy Log. Intell. Syst. 2019. Т. 19, № 3. С. 172–182.

3. Rhudy M. и др. Fusion of GPS and redundant IMU data for attitude estimation // AIAA Guid. Navig. Control Conf. 2012. 2012. № May 2014.

4. Mu D. и др. Modeling and identification for vector propulsion of an unmanned surface vehicle: Three degrees of freedom model and response model // Sensors (Switzerland). 2018. Т. 18, № 6.

5. Lim C.C. и др. Autopilot for ship control. 1983. Т. 130, № 6.

6. Karimi H.R. A computational method for optimal control problem of time-varying state-delayed systems by Haar wavelets // Int. J. Comput. Math. 2006. Т. 83, № 2. С. 235–246.

7. Das S. Ships Steering Autopilot Design By Nomoto Model. 2015. № January.

8. Yasukawa H., Yoshimura Y. Introduction of MMG standard method for ship maneuvering predictions // J. Mar. Sci. Technol. 2015. Т. 20, № 1. С. 37–52.

9. Ejaz M., Chen M. Sliding mode control design of a ship steering autopilot with input saturation // Int. J. Adv. Robot. Syst. 2017. Т. 14, № 3. С. 1–13.