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)

AIS – Automatic Identification System (автоматическая идентификационная система

IMU Inertial Measurement Unit (Инерциальный измерительный модуль)

МППСС – Международные правила предотвращения столкновения судов в море

БЭК – Без экипажный катер

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 - 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 - 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 - 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 - 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.

При работе с группами мобильных роботов удобно учитывать различные измерения порядка, такие как, например, пространство, время, роли и т. д. Мы хотели бы зафиксировать некоторые термины. При задании задачи возникает вопрос: что делать. Затем следует, кто что должен делать (допустим, несколько человек). В общем, нам понадобится сотрудничество. Представьте себе хирургическое вмешательство, выполняемое командой врачей, опытных медсестер, анестезиолога и т. д. У каждого из них есть своя роль. При определенных обстоятельствах возможно динамическое переназначение (реконфигурация). Теперь посмотрим, что происходит в дрейфующей лодке с несколькими гребцами. Они должны работать всинхронность, которыйвременная координация. Случай сохранения формации, геометрии (как у перелетных птиц) является примером пространственная координация. Более обширный типологический анализ работы нескольких роботов можно найти в [17, 18]. В мобильной робототехнике и других областях часто используется термин «местный агент». Это может означать, что агент использует GPS или, возможно, знает только свое относительное положение по отношению к некоторым другим объектам. Построения людей или роботов предлагают легкое управление движением как единое целое. Это не так для рассредоточенных групп, вероятно, без лидера. Интересно, что в статье [19] о поведении групп животных говорится, что среди многих особей будут такие, у которых есть соответствующая информация об источнике пищи или пути миграции. Используя простую модель, было показано, что чем больше группа, тем меньше доля информированных лиц, необходимых для руководства группой. Мы провели небольшое исследование анонимных образований [20, 21]. У роботов нет ID. Было предложено смешение нескольких потенциальных полей. Одно из этих полей соответствует форме образования (круг, треугольник и т.д.). Остальные потенциалы соответствуют привлечению к цели, избеганию препятствий и взаимодействию робот-робот.

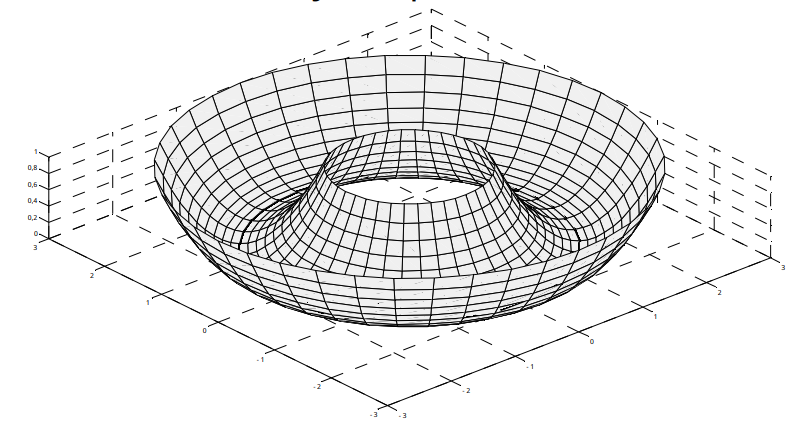


Рисунок - Потенциальная форма для круглой траектории

Путь к цели обнаруживает строй, который не следует за лидером; вместо этого движение группы является результатом движения каждого члена. Мы провели серию экспериментов с мобильными роботами, чтобы продемонстрировать объединение роботов в строй. Следует сказать, что локальные правила каждого робота должны учитывать несколько способов входа в строй (впереди или сзади другого робота) при обходе препятствий. Также были продемонстрированы переходы между различными схемами формирования. Эксперименты были использованы в качестве основы для разработки среды моделирования для более крупных экспериментов. На следующем рисунке показан смоделированный эксперимент с пластом, обходящим некоторые препятствия

Изображение выглядит как седзи, здание

Автоматически созданное описание

Рисунок - Формация избегает препятствий во время движения

Нас особенно интересуют группы автономных лодок (концепции, связанные с автономией, см. в [22]). Наши первые экспериментальные действия рассматривали подход «следуй за лидером» как для линейных, так и для фронтальных формирований. Изначально был выбран виртуальный лидер, но возникают практические трудности, связанные со скоростью лидера. При повороте участники переднего строя должны иметь разную скорость, внешний член должен ускоряться и может достигать максимальной скорости, теряя след виртуального лидера. Лучше взять члена как настоящего лидера и менять эту роль в зависимости от поворота налево или направо. Собственно, в конце концов мы изменили подход к сочетанию следования пути и лидерства. С помощью метода автоматического планирования мы получаем подходящую траекторию формирования для текущей операции. Путь можно указать компактно. Каждый член формации получает копию описания пути. Каждому члену назначается поперечное расстояние до пути. Лидер движется с заданной скоростью. Остальные участники держат заданное расстояние до лидера по пути. Следующий рисунок иллюстрирует концепцию.

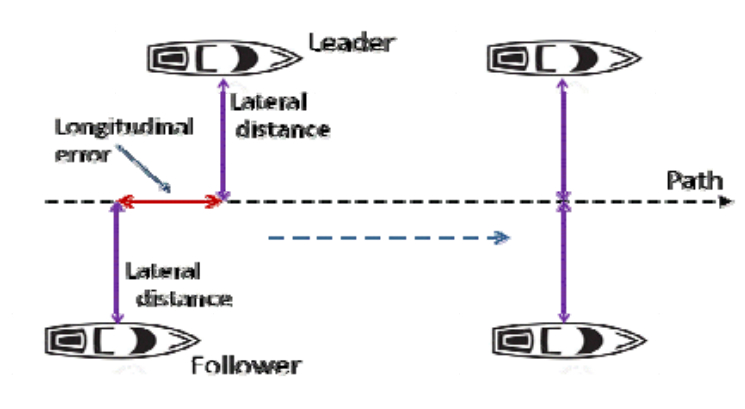


Рисунок - Построение БЭК

С соответствующими изменениями идея группового пути и сохранения взаимных расстояний (с некоторой гибкостью) может быть применена к роям. Давным-давно мы разрабатываем автоматическую систему локализации разливов нефти. Предлагается использовать два автономных корабля (USV) для буксировки бона. Мы применили только что описанное управление строем, провели экспериментальные испытания и… обнаружили проблему: два корабля быстро переходят в режим перетягивания каната [23]. Что происходит, так это то, что физическое взаимодействие транспортных средств через стрелу представляет собой новый сценарий проектирования управления. Пришлось добавить специальный закон управления. Урок для пользователей коммерческих USV заключается в том, что они предназначены для индивидуальной работы, а не в сочетании с другими транспортными средствами. Если кто-то хочет использовать USV для приложений с физическим взаимодействием, к встроенному управлению следует добавить новый программный уровень или компонент. На следующем рисунке показана одна из наших автономных лодок, используемая для сканирования и буксировки.

Имеются иллюстративные исследования, включающие физическое взаимодействие, например [24] о коллективной транспортировке объектов роем; [25] о сотрудничестве роевых ботов, с примерами самосборки и коллективного толкания объектов; и [26] о самосборке роя лодок в плавучие конструкции.

Области сканирования

Вывод

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.