

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.277.04

Повестка дня:

Защита диссертации **Чан Ван Туан**

на соискание ученой степени кандидата технических наук:

" **Автономный контроль приемников спутниковых навигационных систем для повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота**"

Специальность:

05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Официальные оппоненты:

Иванов Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Приходько Виктор Владимирович, к. ф.-м. н., старший научный сотрудник Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Ведущая организация - **Федеральный научно-производственный центр АО «НПО «Марс», г. Ульяновск**

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.277.04

от 21 сентября 2022 года

на заседании присутствовали члены Совета:

1.	Ярушкина Н.Г., председатель Совета	д.т.н., профессор	05.13.12	технические науки	Очно
2.	Киселев С.К. зам. председателя Совета	д.т.н., доцент	05.13.05	технические науки	Очно
3.	Наместников А.М., ученый секретарь Совета	д.т.н., доцент	05.13.12	технические науки	Очно
4.	Браже Р.А.	д.ф.-м.н., профессор	05.13.05	технические науки	Дистан- ционно
5.	Васильев К.К.	д.т.н., профессор	05.13.01	технические науки	Очно
6.	Гладких А.А.	д.т.н., профессор	05.13.01	технические науки	Очно
7.	Дьяков И.Ф.	д.т.н., профессор	05.13.12	технические науки	Очно
8.	Иванов О.В.	д.ф.-м.н., доцент	05.13.05	технические науки	Дистан- ционно
9.	Клячкин В.Н.	д.т.н., профессор	05.13.01	технические науки	Очно
10.	Крашенинников В.Р.	д.т.н., профессор	05.13.01	технические науки	Очно
11.	Курганов С.А.	д.т.н., доцент	05.13.05	технические науки	Очно
12.	Негода В.Н.	д.т.н., доцент	05.13.12	технические науки	Дистан- ционно
13.	Самохвалов М.К.	д.ф.-м.н., профессор	05.13.05	технические науки	Очно
14.	Сергеев В.А.	д.т.н., профессор	05.13.05	технические науки	Очно
15.	Смирнов В.И.	д.т.н., профессор	05.13.05	технические науки	Очно
16.	Ташлинский А.Г.	д.т.н., профессор	05.13.01	технические науки	Очно

Председатель
д.т.н., проф
Ученый секретарь
д.т.н., доцент



Н.Г. Ярушкина

А.М. Наместников

Председатель

Уважаемые коллеги!

На заседании диссертационного Совета Д212.277.04 из **23** члена Совета присутствуют **16** человек, в том числе в удаленном режиме **3** человека. Заседание проходит в смешанном очно-интерактивном режиме. Необходимый кворум имеем.

По специальности защищаемой диссертации **05.13.05 - Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления** (технические науки) на заседании присутствуют **7** докторов наук.

Членам Совета повестка дня известна. Какие будут суждения по повестке дня? Утвердить? (принято единогласно).

Наше заседание правомочно.

Председатель

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук **Чан Ван Туан** по теме: "Автономный контроль приемников спутниковых навигационных систем для повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота".

Работа выполнена в Ульяновском государственном техническом университете

Научный руководитель - д.т.н. **Киселев С.К.**

Официальные оппоненты:

Иванов Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиотехника», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Приходько Виктор Владимирович, к. ф.-м. н., старший научный сотрудник Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Присутствуют оба оппонента.

Письменные согласия на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

Ведущая организация - Федеральный научно-производственный центр АО «НПО «Марс», г. Ульяновск

Слово предоставляется **Ученому секретарю** диссертационного Совета д.т.н. **А.М. Наместникову Д212.277.04** для оглашения документов из личного дела соискателя.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги!

Соискателем **Чан Ван Туан** представлены в Совет все необходимые документы для защиты кандидатской диссертации (зачитывает):

- заявление соискателя;
- копия диплома о высшем образовании (заверенная);
- справка об обучении в аспирантуре;
- заключение по диссертации от организации, где выполнялась работа;
- отзыв научного руководителя;
- диссертация и автореферат в требуемом количестве экземпляров.

Все документы личного дела оформлены в соответствии с требованиями Положений ВАК.

Основные положения диссертации отражены **Чан Ван Туан** в 11 научных работах, в т.ч. в **2 статьях в изданиях из перечня ВАК, получен 1 патент на полезную модель**. Соискатель представлен к защите **22.06.2022 г.** (протокол №8). Объявление о защите размещено на сайте ВАК РФ **27.06.2022 г.**

Вся необходимая информация по соискателю внесена в ФИС ГНА.

Председатель

Есть ли вопросы по личному делу соискателя к ученому секретарю Совета? (Нет).

Есть ли вопросы к **Чан Ван Туан** по личному делу? (Нет).

Ван Туан, Вам предоставляется слово для изложения основных положений Вашей диссертационной работы.

Соискатель

Здравствуйте, уважаемый председатель, уважаемые члены Совета и гости! Сегодня я представляю вашему вниманию диссертацию на тему «Автономный контроль приемников спутниковых навигационных систем (СНС) для повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота».

Робототехника является перспективным направлением науки и техники. Современный робот должен быть автономным и работать без управления человеком.

Большинство роботов должны определять свое положение в пространстве. Для части роботов достаточно знать локальные координаты в помещении. Для других роботов необходимо определять глобальные координаты. Координаты необходимы для автоматического управления движением робота по заданной траектории.

Среди различных роботов выделяют группу наземных мобильных роботов. При функционировании они должны автоматически двигаться по заданной траектории. Часто наземные роботы имеют небольшие размеры и массу, имеют малый запас энергии.

Анализ методов и средств измерения навигационных параметров движущихся объектов показал, что отдельно ни один из них не обеспечивает высокую надежность управления движением робота. Для

повышения надежности и точности управления используют комплексные системы с несколькими измерителями. Использование комплексных систем навигации в наземных роботах требует увеличения их вычислительных мощностей. Это приводит к росту энергопотребления и сокращает время автономной работы. Возрастают стоимость и габариты робота и сложность системы управления.

В настоящее время спутниковая навигационная система является одним из наиболее совершенных средств измерения навигационных параметров движущихся объектов. Полученные с помощью приемника спутниковой навигационной системы параметры достаточны для управления движением робота.

При движении мобильного робота по земле часть ошибок и погрешностей СНС увеличивается, так как на местности со сложным рельефом или в городских условиях навигационные спутники часто закрыты и координаты робота определяются неправильно. Это приводит к нарушению целостности навигационных данных, которое снижает точность управления.

Целью работы является повышение информационной надежности системы управления наземным мобильным роботом на основе контроля приемника СНС.

В работе решены следующие задачи:

1) Анализ и оценка основных причин и характеристик информационных отказов приемников СНС в системах управления наземными роботами, приводящих к нарушению целостности навигационных данных, и основных технических решений, позволяющих повысить информационную надежность системы управления

2) Разработка модели наземного робота с системой управления на базе приемника СНС, позволяющей моделировать возникновение информационных отказов приемников СНС, разрабатывать и исследовать алгоритмы обнаружения нарушения целостности навигационных данных, способы повышения информационной надежности системы

3) Анализ и оценка применимости в системах управления наземными роботами известных алгоритмов автономного контроля приемников СНС

4) Разработка алгоритма автономного контроля приемника СНС в системе управления наземным роботом, учитывающего параметры его движения и позволяющего определять возникновение информационных отказов, приводящих к нарушению целостности навигационных данных. Исследование и оценка характеристик алгоритма автономного контроля приемника СНС

5) Разработка способа повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота при возникновении информационных отказов приемника СНС, приводящих к нарушению целостности навигационных данных

6) Исследование и оценка характеристик способа повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота при возникновении информационных отказов приемника СНС

Основные научные положения, выносимые на защиту

1) Модель наземного робота с системой управления на базе приемника СНС, позволяющая моделировать возникновение информационных отказов приемников СНС, разрабатывать и исследовать алгоритмы обнаружения нарушения целостности навигационных данных, способы повышения информационной надежности системы.

2) Алгоритм автономного контроля приемника СНС в системе управления наземным роботом, учитывающий параметры движения робота и позволяющий определять возникновение информационных отказов, приводящих к нарушению целостности навигационных данных.

3) Способ повышения информационной надежности системы управления, обеспечивающий снижение погрешности движения наземного робота при возникновении информационных отказов приемника СНС, приводящих к нарушению целостности навигационных данных.

4) Результаты модельных исследований и определения характеристик алгоритма автономного контроля приемника СНС и способа повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота при возникновении информационных отказов приемника СНС, приводящих к нарушению целостности навигационных данных.

Научная новизна работы заключается:

1) В модели наземного робота с системой управления на базе приемника СНС отличающейся тем, что она ориентирована на исследование ее информационной надежности.

2) В алгоритме автономного контроля информационных отказов приемника СНС отличающемся тем, что для корректного обнаружения нарушения целостности навигационных данных в нем учитывается дополнительная информация о параметрах движения мобильного робота, что позволяет исключить формирование ложных сигналов о недостоверности навигационных данных.

3) В способе повышения информационной надежности системы управления, отличающемся тем, что в нем реализован выбор режима управления движением робота на основе контроля целостности навигационных данных, что повышает информационную надежность системы.

Практическая значимость работы состоит в том, что определены характеристики алгоритма автономного контроля приемника СНС и способа повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота и предложен комплекс технических решений, позволяющих реализовать их в аппаратурно-безызбыточной системе управления наземным мобильным роботом, с минимальными энергопотреблением, стоимостью и габаритами.

Цель диссертации - повышение информационной надежности системы управления мобильным роботом. Для технических систем, у которых сложные алгоритмы работы, кроме аппаратной надежности определяют информационную надежность. Информационная надежность это способность алгоритма управления правильно работать при ошибках во входных данных. Характеристикой информационной надежности является погрешность управления при наличии ошибок в данных. Алгоритм системы должен быть такой, чтобы ошибки в данных

мало влияли на точность работы системы. Это важно для управления роботом потому, что он должен точно двигаться по заданной траектории даже когда его координаты определяются с ошибками.

Для контроля данных СНС в авиации используют разные методы. В работе исследован метод автономного контроля приемника СНС (RAIM - Receiver Autonomous Integrity Monitoring), который основан на специальной математической и логической обработке навигационных сигналов. Предложена общая схема автономного контроля приемника СНС. Признак информационного отказа приемника СНС предложено формировать на основе уравнений соответствия, которые устанавливают логические и параметрические связи между процессами в различных элементах системы.

Для проведения исследований в диссертации разработана модель наземного робота с системой управления с приемником СНС. Модель позволяет:

- моделировать работу системы управления с приемником СНС с учетом особенностей кинематики робота и динамики его двигателей;
- задавать движение робота по требуемым для исследования траекториям - функциональным или произвольным;
- моделировать возникновение различных ошибок приемника СНС;
- оценивать влияние информационных отказов приемника СНС на движение робота по заданной траектории;
- разрабатывать и исследовать алгоритмы контроля приемника СНС и способы управления роботом;
- оценивать информационную надежность системы управления.

В модели использована схема робота с двумя активными колесами. Колеса управляются независимыми электродвигателями. Робот имеет три координаты X , Y и угол поворота относительно оси OX . Поворот робота происходит при разных угловых скоростях левого и правого колес.

В динамической модели учтены передаточные функции двигателей робота и преобразование скоростей и координат.

Для управления роботом использована полная модель спутниковой навигационной систем. Модель приемника системы включает:

- 1) Блок «Начальные координаты приемника» задает некоторые начальные координаты приемника, которые далее итерационно уточняются в процессе моделирования;
- 2) Блок «Координаты видимых спутников» задает входные координаты спутников, используемых при моделировании для решения навигационной задачи;
- 3) Блок «Алгоритм определения координат приемника СНС» содержит математическое решение навигационной задачи (определение положения приемника);
- 4) Блок «Ошибки измерения» задает виды и параметры ошибок измерения, учитываемых в модели;
- 5) Блок «Вычисленные координаты приемника» определяет текущие координаты приемника СНС с учетом ошибок измерения.

Спутники при моделировании выбираются с учетом их зон видимости. Параметры орбиты спутников и ухода часов учитываются по эфемеридам. Для моделирования использованы стандартные алгоритмы, описанные в контрольных документах СНС.

Навигационная задача определения местоположения приемника решается стандартным способом на основе псевдодальностей до трех спутников.

Заданную произвольную траекторию в разработанной модели предложено формировать на основе данных СНС трекера, который заранее перемещается по необходимой траектории движения робота. Для этого астрономические координаты точек траектории движения трекера пересчитываются в относительные координаты точек траектории движения робота.

Реализована полная модель наземного автономного робота с системой управления на базе приемника СНС в MATLAB. Проверка правильности работы разработанной модели была проведена методом детерминированного случая. Для модели наземного робота с системой управления это будет движение по заранее определенной, функционально заданной траектории. Для проверки моделировалось движение робота по линейной траектории, гармонической траектории, траектории "треугольник" и ряду других.

Оценивались возникающие при движении погрешности позиционирования по координатам и изменения скоростей движения. При моделировании задавались различные постоянные времени двигателей робота. Результаты моделирования показали, что модель системы управления обеспечивает движение робота по различным траекториям с рассчитанными скоростями, робот движется по заданным траекториям с ожидаемыми погрешностями.

Так же было промоделировано движение робота по произвольной траектории, полученной на основе данных СНС трекера. Результаты моделирования аналогичны предыдущим.

Это позволило сделать вывод, что в модели нет ошибок и ее можно использовать для исследований.

Для исследования влияния информационных отказов приемника СНС на работу системы управления мобильным роботом и движение его по заданной траектории модель была дополнена блоком моделирования информационных отказов. В модели момент возникновения информационного отказа и ее длительность задавались случайным образом.

Моделирование движения робота при информационных отказах приемника СНС показало, что при "замораживании" навигационных данных на выходе приемника СНС приводит к большим отклонениям от заданной траектории движения наземного робота. При частом возникновении таких отказов движение робота по заданной траектории фактически нарушается.

Далее на модели робота был исследован известный автономный алгоритм контроля информационных отказов приемника СНС. Алгоритм основан на контроле последовательности невязок фильтра Калмана. При нарушении целостности навигационных данных, вызванных информационными отказами (сбоями и помехами) в навигационных данных приемника сумма невязок фильтра Калмана возрастает.

Исследование данного алгоритма о показало, что сумма невязок фильтра Калмана возрастает при "замораживании" сигнала и при резком изменении направления движения роботом. Если задать порог

определения "замораживания" сигнала, то среднее время определения информационных отказов будет около 20 секунд.

Предложен алгоритм автономного контроля приемника СНС, который заключается в следующем. Если известна продольная скорость движения робота, то за время Δt он проедет расстояние приблизительно равное $S_1 = V_{пр} \cdot \Delta t$. Когда приемник СНС работает без отказов, то за то же время Δt по результатам измерений должно быть определено перемещение S_2 . При правильной работе приемника СНС отношение $S = S_2/S_1$ приблизительно постоянно. Если произошли информационные отказы приемника СНС и координаты на его выходе не изменяются, то S_2 будет равно 0, и отношение S также будет равно нулю.

Схема моделирования предложенного алгоритма показана на слайде. Определяя при движении робота соотношение S можно контролировать работу приемника СНС.

Моделирование предложенного алгоритма показало, за время контроля в 5 сек. алгоритм определяет наличие информационных отказов приемника СНС. Таким образом время контроля по сравнению с алгоритмом на основе невязок фильтра Калмана приблизительно в 4 раза меньше.

Результаты моделирования предложенного алгоритма, показаны что в те моменты, когда в данных с приемника СНС были информационные отказы величина $S = 0$.

Как было показано движение робота при информационных отказах приемника СНС вызывает большое отклонение робота от заданной траектории. Поэтому информационная надежность такой системы управления не высока.

Для повышения информационной надежности системы управления наземным роботом разработан способ в котором для исключения больших отклонений робота от заданной траектории при ошибках приемника СНС предложено управлять движением робота по его модели. Система в этом случае будет иметь вид, представленный слайде.

Система работает следующим образом. При движении робота блок определения целостности навигационных данных контролирует приемник СНС. При правильных данных с приемника СНС выставляется признак 1, или либо при возникновении информационных отказов приемник СНС выставляется признак 0. Блок выбора режима управления переключается данным признаком. При правильной работе приемника СНС в обратную связь системы управления подаются координаты робота с него. При возникновении информационных отказов приемник СНС в обратную связь поступают координаты робота, вычисленные по его модели. Таким образом в системе происходит выбор режима управления – по измеренным приемником СНС данным положения робота или по данным, вычисленным по модели робота.

Работа предложенного способа была промоделирована на модели робота с системой управления и представлена на слайде.

На следующем слайде показаны результаты моделирования предложенного способа. По результатам сравниваются 3 траектории движения робота: заданная траектория движения робота; траектория

движения робота с информационными отказами и траектория движения робота с выбором режима управления. Результаты показали, что реализация способа управления позволяет избежать больших отклонений робота от заданной траектории.

Оценка результатов моделирования движения робота с использованием способа с выбором режима управления показала, что максимальные абсолютные отклонения от заданной траектории и среднеквадратические отклонения в 2-10 раз меньше, чем без учета информационных отказов приемника СНС.

Это подтвердило эффективность способа для обеспечения точности движения робота при возникновении информационных отказов приемника СНС и повышение информационной надежности системы управления роботом в целом.

В диссертации разработана схема системы управления движением наземного робота с приемником СНС, которая позволяет реализовать предложенные алгоритм контроля приемника СНС и способ в выборе режима управления. На модель системы управления движением наземного робота получено положительно решение.

Основные результаты работы следующие:

Проведен анализ и определены основные причины и характеристики информационных отказов приемников СНС, влияющие на точность движения наземного робота

Предложена общая схема реализации автономного контроля приемника СНС в системе управления наземным роботом

Разработана модель наземного робота с системой управления с приемником СНС.

Разработан алгоритм автономного контроля приемника СНС в системе управления.

Проведено исследование известного автономного алгоритма обнаружения информационных отказов приемника СНС на основе невязок фильтра Калмана и разработанного алгоритма. Результаты по сравнению алгоритмов показали, что при одинаковых параметрах возникающих информационных отказов разработанный алгоритм позволяет обнаружить отказы в 3-4 раза быстрее.

Предложен способ управления мобильным роботом. Способ реализует выбор режима управления при возникновении информационных отказов приемника СНС. Оценка характеристик способа показала, что он уменьшает отклонения траектории движения робота от заданной от 2 до 10 раз. Способ повышает информационную надежность системы управления мобильным роботом.

Разработана структурная схема системы управления мобильным роботом с автономным контролем приемника СНС.

Перспективным является развитие результатов, полученных в работе, для контроля в навигационных системах таких аппаратных отказов, как обрывы в цепи каналов измерения или в цепи исполнения управляющих команд;

Таким образом, задачи диссертации решены.

Спасибо большое за внимание.

Председатель

У кого есть вопросы к соискателю?

Д.т.н., профессор Курганов С.А

Измеряя скорость через напряжение, Вы имеете ввиду, что у Вас электродвигатель с очень жёсткими механическими характеристиками? На транспорте обычно используется электродвигатели с мягкой характеристикой. Поясните, пожалуйста.

Соискатель

Сначала, было предложено определять расстояние перемещения робота по продольной скорости, потом определять по напряжениям двигателей. Для управления необходимо знать угловые скорости вращения правого и левого ведущих колес или управляющие напряжения на левый и правый двигатели т.к. угловые скорости вращения колес в статике пропорциональны управляющим напряжениям. Используя эти напряжения можно учесть расстояние перемещения робота.

Д.т.н., профессор Курганов С.А.

То есть у Вас очень жёсткая характеристика, не зависящая от скорости? У Вас скорость зависит только от напряжения и не зависит от момента?

Соискатель

Угловые скорости вращения колес в статике пропорциональны управляющим напряжениям. Выходы двигателей задают скорости вращения колес.

Д.т.н., профессор Курганов С.А.

Ладно, спасибо.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Мне понравилась Ваша идея по поводу сравнения результатов модели и реального движения, определенного с помощью GPS. Как они отличаются? Вы говорите, что происходит нарушение в GPS, ведь так?

Соискатель

Да.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Так вот, при сравнении результатов, которые даёт GPS и которые даёт Ваша модель важно то, насколько они отличаются. Если сделать очень маленькое различие и при этом говорить, что GPS даёт ошибочный результат, то у Вас всё время будет система отказываться даже от хороших результатов GPS. Если же сделать большое рассогласование, когда начинает действовать Ваша модель и только тогда отказывается от результатов GPS, то можно пропустить момент получения плохих результатов. Как Вы выбираете этот порог, то есть разницу, при которой Вы говорите, что GPS работает неправильно?

Соискатель

Был исследован известный алгоритм на основе невязок фильтра Камална. При замораживании сигнала на выходе приемника СНС движение робота происходит с большими отклонениям от заданной траектории. Порог же определялся при резком изменении заданной траектории движения робота.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Я не совсем понял. GPS ведь тоже работает с ошибками? Кстати, какие ошибки у GPS Вы предполагаете?

Соискатель

У нас отказ даёт замораживание сигнала.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Среднеквадратическое сколько больше у GPS?

Соискатель

У GPS? Сейчас я покажу вам.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Покажите.

Соискатель

Вот, это длительность замораживания сигнала.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Сколько метров среднеквадратической ошибки GPS? Сколько метров?

Соискатель

Погрешности?

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Да.

Соискатель

Вот погрешности, когда влияют информационные отказы приемника СНС. Робот движется по пути в 300 метров, когда возникали информационные отказы приемника СНС, то погрешности движения робота были максимально плюс 40 метров. Соотношение получается более 10%.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Дело в том, что при использовании таких роботов, всё зависит от того, где они работают. Если это работа где-то в здании, то можно использовать дифференциальный режим GPS. Это будет очень точно. Буквально, меньше метра. Если же Вы используете на открытой местности, то если Вы не используете дифференциальный режим применительно к объектам, то у Вас будет десять метров среднеквадратическая ошибка. Вы сколько рассчитывали в Ваших экспериментах?

Соискатель

Мы рассчитали погрешности от 1 до 10 метров.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Меньше чего?

Соискатель

Десять.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Меньше десяти? Насколько? Один меньше десяти, пять меньше десяти.

Соискатель

От одного до десяти. Это у нас диапазон исследования. В среднем пять.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

При моделировании сколько брали?

Соискатель

Мы брали 5 метров.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Сколько? Пять, да? Понятно.

И ещё такой вопрос: Вы знаете, сегодня все роботы используют комплексирование. То есть используют кроме GPS различные инерциальные системы, обработку изображений. То есть если робот идёт по помещению, например, у него есть камера, он смотрит на обстановку и всё время отслеживает своё движение по обстановке и по инерциальным системам. То есть, измеряя ускорение – причём это очень хорошие датчики сегодня – он может достаточно точно измерить свою скорость. Сравнивая это с GPS, нужно сказать: правильно работает GPS или нет? Почему Вы не учитывали такие возможности?

Соискатель

Да, спасибо Вам за вопрос. Согласен с Вами, что сейчас они используют комплексные системы для управления. Но это приводит к росту энергопотребления.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Покажите Ваш первый плакат. Какое увеличение за счёт камеры? За счёт инерциальной системы? У такой штуки не изменится энергия.

Соискатель

У нас использован только датчик СНС. Кроме него мы не добавляли ни каких устройств.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Понятно.

Я хочу сказать, что при больших размерах таких роботов, которые у Вас нарисованы, потребление будет 0,01%. Но даже для небольших роботов, даже для беспилотных летательных аппаратов, различных наземных роботов, это не очень большое энергопотребление. Кроме сокращения энергопотребления никаких других причин не было? Почему Вы не рассматривали комплексирование?

Соискатель

В этой работе рассмотрен только такой случай.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Я хочу сказать, что эта идея моделирования можно использовать вместе с комплексированием. Просто надо было обратить на это внимание.

Спасибо.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Я рад, что мы стоим на одинаковой платформе по информационной надёжности и аппаратной надёжности. У меня возникло несколько вопросов. Откройте пожалуйста четвертый слайд. Вторая строка сверху: «ошибка в исходных данных». Ключевыми словами является «исходные данные». Кто виноват: GPS или человек, который исходные данные установил для траектории движения? У Вас человек участвует здесь?

Соискатель

Нет. Это информационные данные СНС.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Так, секунду, дальше будут у меня вопросы, в связи с этим. Кто исходные данные устанавливает, куда робот должен двигаться – влево, вправо, север, юг? Кто исходные данные устанавливает, траекторию? Человек, специалист какой-то, да или нет? То есть у него есть целевая функция, он знает, что робот должен выполнить такую-то задачу и соответствующим образом он задаёт траекторию движения робота, которую в последующем Вы сверяете со спутниковыми данными, который получает Ваш СНС? Так или нет?

Давайте откроем тогда исходные данные, мы зафиксировали исходные данные. Пятый плакат откройте, пожалуйста. Во втором пункте Вы пишете: «позволяющий определять возникновение информационных отказов». Я думаю, что не «исходные данные», а «информационные отказы» влияют на информационную надёжность. Понятно, да?

Соискатель

Да.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Это моя точка зрения, судя по тому.

Откройте восьмой плакат «Задание траектории».

Кто задаёт траекторию?

Соискатель

Заданную траекторию оператор.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Кто задаёт траекторию? Человек, специалист?

Соискатель

Да, специалист.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Приёмник имеет ошибки - так у Вас на плакате. Ошибки вон откуда идут, видите? Да, человек мог ошибиться по каким-то причинам, предположим? Чисто психологические вопросы. А приёмник, вот ошибки у Вас откуда идут - атмосферные помехи, о которых Вы говорили и на плакате есть у Вас. Есть ошибки и информационная надёжность от ошибок. Ясно, да? Это моё видение. Так это или нет?

Соискатель

Нет. Заданную траекторию должен задавать оператор или специалист.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Оператор, специалист, человек. В связи с этим тридцать второй слайд откройте там, где у Вас модель. Где здесь специалист, который задаёт целевую функцию роботу?

Соискатель

Здесь использован микроконтроллер, в котором сохранена вся информация.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Человек через какой элемент Вашей системы воздействует?

Соискатель

Через энергонезависимую память.

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Хорошо, так. У Вас там есть приёмник СНС, где помехи тогда? Вот здесь, чтоб говорить об информационной надёжности, нужно показать на этом устройстве, где у Вас помехи воздействуют на эту систему. Понимаете, да? Это мои пожелания и вопросы. Так вот в целевой функции, мне кажется, всё-таки не «исходные данные», а принимаемые со спутника данные, которые влияют на информационную надёжность СНС. А от обратной связи? Ещё раз покажите четвёртый слайд. А от обратной связи, которая у Вас нарисована внизу, а нет, простите, пятый плакат, где структурная схема. А от обратной связи там «умножение» идёт? Почему «умножение» у Вас? Там должен быть просто прямоугольник, мне кажется, нужно начертить и сказать, что это блок сравнения. Это моё мнение.

Я закончил выступление, у меня все. Спасибо.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Одиннадцатый слайд пожалуйста откройте. У Вас справа есть «ошибка измерения». Она по какому закону задаётся в Вашей модели? По какому закону изменяется «ошибка измерения»? Закон распределения ошибки какой?

Соискатель

Ошибки измерения задаются, как параметр от координат.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Понятно, значит ошибка есть у нас случайная, а есть механическая. Вы берёте только случайные ошибки? Как вы задаёте ошибку при моделировании?

Соискатель

При моделировании мы задавали случайные ошибки.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

По какому закону она распределена?

Соискатель

По нормальному закону распределения.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

По нормальному закону? По Гауссу.

Почему?

Соискатель

Потому что это общий закон широкого применения. Используя этот закон можно определять ошибки.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Да, универсальный закон приняли.

Почему Вы не учитываете систематические ошибки?

Соискатель

Пожалуйста, вопрос еще раз.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Есть случайные ошибки, есть систематические погрешности. Есть систематические погрешности, они возникают в этих системах, например, за счёт отражение от какого-нибудь препятствия. Они будут всегда систематическими, всегда возникает интерференция.

Соискатель

Мы исследовали только информационные отказы, возникающие случайном образом.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Хорошо, теперь откройте семнадцатый слайд. Вот, смотрите, проверка модели. И у Вас погрешности, которые вверху на графике,

они почему-то зависят от времени. Они почему зависят от времени, если они случайные.

Соискатель

Нет. Здесь нет случайных. Это проверка работы модели. И она работает с ожидаемыми погрешностями.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Всё равно я не понимаю, почему у Вас в начале погрешность вообще равна нулю. Почему она не какая-то фиксированная даже в начале процесса контроля, процесса моделирования.

Соискатель

Это зависит от постоянных времени двигателей робота.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

То есть в начале Вы измеряете идеально точно, близко к идеальному? Я не очень понимаю смысл. А потом погрешность измерения угла поворота вообще спадает со временем моделирования почему-то. Почему она уменьшается?

Соискатель

Сначала движение робота определяется постоянной времени двигателей, которые управляют скоростью колес. Двигатели из неподвижного состояния разгоняются до достижения скорости. Потом робот быстрее движется и возникают большие отклонения от заданной траектории.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

У Вас большие отклонения в начале. Это не погрешность тогда будет, а отклонение при маневрировании получается, так? То есть фактически это отклонение при маневрировании, а Вы пишете здесь «погрешности измерений».

Соискатель

Погрешности измерений, про которые вы сказали, есть только в модели, когда возникают информационные отказы приемника СНС.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Спасибо, больше нет вопросов.

Д.т.н., профессор Дьяков И.Ф.

Скажите, информационная надёжность. Что туда входит? Какие показатели информационной надёжности?

Соискатель

Информационная надёжность — это характеристика алгоритма.

Д.т.н., профессор Дьяков И.Ф.

В каких единицах измеряется информационная надёжность?

Соискатель

Показателем являются погрешности при информационных отказах.

Д.т.н., профессор Дьяков И.Ф.

Разные объекты, у всех разные показатели. Допустим, транспортные средства – это километры или может быть время работы. Какие способы были разработаны для повышения надёжности?

Соискатель

У нас показатель информационной надёжности погрешность в метрах.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Скажите пожалуйста. Допустим, Ваш агрегат упёрся, на камень попал, происходит пробуксовка колёс или попал в ров, где вода, грязь. То есть колёса будут крутиться, а аппарат будет стоять, либо двигаться не с той скоростью, которой соответствует движение колёс. Что будет тогда с Вашей моделью и с тем решением, которое она примет? И вообще, Вы рассматривали эту ситуацию?

Соискатель

Пожалуйста, еще раз повторите ваш вопрос, я не очень понял.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Вот едет аппарат Ваш, робот едет, и он попал в среду – в грязь, воду, где низкое сцепление. Колёса крутятся, а аппарат стоит. Что будет с вашей системой определения надёжности? Не вылетит ли Ваш алгоритм вообще?

Соискатель

В этом случае нарушается целостность навигационных данных, то есть информационная надёжность не высокая.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Я правильно понимаю, что Ваша система решит, что у GPS ошибка? То есть система решит, что у ГЛОНАСС ошибка?

Соискатель

Да. Можно использовать GPS или ГЛОНАСС.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

То есть в этой ситуации Ваша система не работает вообще?

Соискатель

Если робот останавливается?

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Да, остановится и будет стоять.

Соискатель

Этот случай будет считаться ошибкой.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Всё, что будет поступать от GPS, будет считаться ошибкой?

Соискатель

Если не совпадает с движением робота, то считается ошибкой.

Д.т.н., профессор Ташлинский А.Г.

Спасибо.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Вы рассматривали зависимость устойчивости Вашего алгоритма, от погрешности измерения? Например, Вы задали пять метров и для них просчитали выигрыш по времени реакции. А если не пять метров будет, а десять, двадцать. Вы рассматривали такую зависимость, когда Ваш алгоритм перестаёт работать? Это вопрос Константина Константиновича, профессора Васильева – как определить порог, где алгоритм работает?

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

Порог должен меняться.

Соискатель

Да, порог нужно определить для быстрого обнаружения информационных отказов. Сейчас я покажу как определяется порог.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Я немножко о другом. Вы проводите определение отказа, задавая какую-то погрешность измерения – пять метров, как вы сказали при моделировании. А если десять метров задать, Ваше время как изменится – время обнаружения отказа? Как оно будет изменяться в зависимости от погрешности измерения? Будет двигаться, и не пять метров, а уже десять метров будет отклонение от траектории и так далее.

Соискатель

Да, если большое времени, то можно изменить порог.

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Вы вообще проводили такой анализ – зависимость погрешности измерения от времени реакции Вашего робота или времени обнаружения отказа в зависимости от погрешности измерения?

Соискатель

В зависимости от погрешности измерения и скорости движения робота?

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Да, кстати, и от скорости. Здесь все связано. Есть ли у Вас эти данные, я так и не понял?

Соискатель

Нет, таких данных нет.

Председатель

Есть еще вопросы? Коллеги, которые работают сегодня в интерактивном режиме, возможно у вас есть вопросы. Их можно задать. Обозначьте наличие вопросов, если такое есть. Поднятых

рук нет, тогда, коллеги, закачиваем с вопросами? Все задали вопросы? (Нет).

Согласны ли члены Совета сделать технический перерыв? (Нет).
Тогда продолжаем работу.

Слово предоставляется научному руководителю работы **д.т.н. Киселеву С.К.**

Д.т.н. Киселев С.К.

Чан Ван Туан, когда поступил ко мне в аспирантуру, то встал вопрос о выборе актуальной темы. Здесь недалеко, возле Парка Победы, есть организация, которая производит GPS-трекеры «сGuard». И, поскольку там работают выпускники моей кафедры, то Чан Ван Туан был направлен туда. И первое, что мы получили, это большое количество рекламаций о GPS-трекерах. Он сидел и разбирался, по каким причинам идут рекламации, что происходит с трекерами, почему они не работают и так далее. Он проанализировал достаточно большое количество дефектов и на этом шаге выяснилось, что всякие дефекты – и падение напряжения на батарее, и неправильный монтаж антенны и другое приводит к одному и тому же дефекту. К сожалению, коллектив «сGuard» стал меняться и сотрудничество долго не продолжилось. И, взяв те данные, мы попробовали посмотреть, а как будет двигаться робот, если реально происходит «замерзание» данных на выходе СНС-трекера. Чан Ван Туан, как аспирант, очень тщательно подходит к работе, которую получает. Им получен большой объём информации. Не очень удачно он сегодня доложил, но он производил очень длительный съём сигнала с приёмника СНС, анализировал погрешности, насколько стабильно приемник держит сигналы. Далее пытался смоделировать это в модели, которую делал. Еще одним интересным поводом для этой темы исследования было то, что мы сотрудничали с нашей командой, которая делает беспилотный автомобиль. Было очень странно, когда Кирилл Валерьевич Святлов рассказывал, что сигнал приёмника СНС просто дрейфовал, машина стоит на месте, выключена, а её координаты, показывают системе, что она едет. Вплоть до того, что случалось, что машина стоит, а в какой-то определенный момент, когда СНС сигнал ушёл, координаты ушли, машина пытается вернуться на прежнее место. Вот такие случаи легли в основу этой работы. Все основные результаты, которые здесь получены, это и исследования того, какие данные получаются с приёмника СНС и построение траектории было придумано Чан Ван Туаном, что не надо задавать траекторию движения робота по точкам на карте, а нужно пройти по желаемой траектории движения и снять координаты с трекера и затем пересчитать их в модель. Моделирование в МатЛабе, где все технические решения он тщательно продумал и тщательно реализовывал. Поэтому я считаю, что итогом явилась эта диссертация, которая была сегодня представлена. И я считаю, что его квалификационный уровень в данный момент достаточный.

(Отзыв прилагается).

Председатель

Ученому секретарю Совета предоставляется слово для оглашения заключения организации, где выполнялась работа и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь оглашает заключение организации, где выполнялась работа. Затем зачитывает отзыв ведущей организации.
(Заключение и отзыв прилагаются).

Председатель

На автореферат диссертации поступило 5 отзывов, все они положительные. Согласны ли члены Совета заслушать обзор отзывов или зачитать их полный текст?

Слово для обзора отзывов, поступивших на диссертацию, предоставляется **Ученому секретарю Совета**.

Ученый секретарь зачитывает обзор отзывов.

(Отзывы прилагаются).

1. АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», г. Санкт-Петербург. Отзыв подписан главным научным сотрудником АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», доктором технических наук, профессором Колесовым Н.В.

Замечания:

В качестве недостатка работы можно было бы отметить отсутствие сопоставления с техническими решениями, предполагающими введение незначительной избыточности, например, в виде микромеханического гироскопа.

2. ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань. Отзыв подписан профессором кафедры электронного приборостроения и менеджмента качества, доктором технических наук, профессором Солдаткиным В.М.

Замечания:

• Не сформулирована научная задача исследования, а приводятся направления ее решения;

• Не приведена реализация и внедрение результатов исследования, однако этот этап весьма трудоемкий и представляет собой самостоятельное исследование и разработку;

• Рисунок 2 автореферата мало информативен, а блок «Ошибки измерений» необходимо заменить на «Оценка погрешности измерения».

3. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары. Отзыв подписан директором Алатырского филиала ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова», кандидатом технических наук, доцентом Пичугиным В.Н.

Замечания:

• не указано какие виды отказов приемника спутниковой навигационной системы можно определять разработанными средствами;

• чем ограничено использование разработанных средств для контроля других видов навигационных систем, например, инерциальных.

4. АО «Аэроприбор-Восход», г. Москва. Отзыв подписан заместителем начальника ТК0-1 по датчикам АО «Аэроприбор-Восход», кандидатом технических наук Винокуровым Л.Н.

Замечание:

• В материалах по третьей главе указано, что резкое изменение направления движения наземного робота может быть причиной ложного определения алгоритмическими средствами достоверности навигационных данных, но не описано, как данная проблема решается в предложенном алгоритме контроля приемника спутниковой системы;

• В описанных в автореферате алгоритмических решениях по повышению информационной надежности системы управления не предусмотрено комплексирование данных приемника спутниковой навигационной системы с данными измерения локального положения робота, однако такие средства (инфракрасный и ультразвуковой датчики расстояния) есть в составе системы управления, рассмотренной в главе 4;

• Определение скорости движения робота по напряжению на двигателях в реальных условиях эксплуатации может иметь значительные погрешности при наличии внешних воздействующих факторов (ветер, снег, состояние покрытия дороги), а также изменение рельефа местности. Поэтому корректнее измерять частоту вращения колес по сигналам от соответствующих датчиков;

• Учитывая наличие алгоритма определения пройденного расстояния без СНС, для повышения автономности робота в том числе в условиях боевых действий и подавления сигналов СНС противником, имеет смысл задействовать в алгоритме управления информацию, как минимум, от магнитного компаса.

5. Чистопольский филиал «Восток» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Чистополь. Отзыв подписан заведующим кафедрой приборостроения, кандидатом технических наук, доцентом Прохоровым С.Г.

Замечание:

• В работе смоделирована система управления роботом с отрицательной обратной связью по координатам мобильного робота. В тексте автореферата нет объяснений почему именно такая система управления была выбрана для моделирования.

• По результатам исследования способа управления мобильным роботом с переключением на модель при отказах приемника СНС в таблице 2 показано, что абсолютная погрешность и СКО отклонения от заданной траектории не превышает нескольких метров, но нигде не указана собственная погрешность определения координат приемником СНС, используемым в системе.

Председатель

Слово для ответа на замечания по заключению и отзывам предоставляется соискателю.

Соискатель

С всеми замечаниями я согласен.

Председатель

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту - **д.т.н. Иванов Александр Васильевич.**

Д.т.н., профессор Иванов А.В.

Уважаемый председатель диссертационного совета, члены диссертационного совета, гости и присутствующие. На сегодняшний день одной из важнейших задач роботов при движении по маршруту является определение координат местоположения, а также векторов скорости передвижения по маршруту. Единственной навигационной системой для этих целей не обойтись, поэтому широкое распространение в последнее время получили навигационные комплексы. Эти навигационные комплексы обычно включают в себя радиотехнические и нерадиотехнические системы. В качестве нерадиотехнических систем используются датчики скорости, используются датчики ускорения, используется инерциальная навигационная система платформенная или бесплатформенная, а в качестве радиотехнических датчиков наиболее часто используется спутниковая система глобальной навигации. Причем все современные навигационные комплексы используют именно спутниковую систему радионавигации. Связано это с простой вещью, Дело в том, что на сегодняшний день нет более точной системы, которая могла бы определять местоположения объекта, а также движение объекта - определять вектор скорости движения данного объекта. Но использование спутниковой навигационной системы таит в себе одну достаточно большую проблему. Это проблема связана с тем, что спутниковая система не имеет каналов хранения, по которым передаются радиосигналы. Длина этого канала распространения достаточно большая и на его пути встречаются различные трудности, при прохождении сигнала через ионосферу и тропосферу, это приводит в конечном итоге к тому, что на входе аппаратуры приёма принимается сигнал, у которого слабое отношение сигнал-шум. То есть сигнал этот достаточно маломощный. Эта вещь и приводит к двум последствиям. Первое, к тому, что на выходе аппаратуры приёма может вообще отсутствовать информация. А второе, связано с самой обработкой сигнала в приёмнике. Там, где стоят корреляционные приёмники и при слабом отношении сигнал-шум, у нас мал сигнал приемника и возникает захват не самого сигнала, а шумовых выбросов. Это явление носит название аномальных измерений сигналов. Эти недостатки приводят к достаточно серьезным последствиям. В целом ошибка в измерении дальности может быть до 150 метров. Поэтому, на сегодняшний день, стараются использовать автоматизированные системы контроля целостности или автономные системы контроля целостности. В связи с этим работа Чан Ван Туана, которую мы с вами заслушали, является актуальной, так как посвящена разработке и исследованию методов и средств повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота при возникновении недостоверности навигационных данных.

Работа построена классически. Имеет введение, заключение и четыре раздела. Я не буду зачитывать количество рисунков, страниц и всего остального.

Скажу только, что в первом разделе автор рассматривает навигационные комплексы, принципы их построения и касается вопросов спутниковых радионавигационных системах, которые интересуют его больше всего. Поэтому рассматривает принципы и подходы построения спутниковых навигационных систем. При этом делает вывод, который является основным в диссертации. Он говорит о том, что использовать навигационный комплекс можно и использовать его, может быть, лучше, но смотря какие наземные роботы. Если это роботы недостаточно большие, а аппаратура комплексов имеет достаточно большие габаритные размеры. К тому же алгоритмы обработки строятся по методу оптимально-линейных и нелинейных фильтраций требуют достаточно большой вычислительной мощности в наличии у аппаратуры приема спутниковой радионавигационной системы.

Следовательно, во втором разделе автору пришлось, и он это делает, разработать математическую модель движения робота. Чем он и занимается по ходу всей второй главы. А также разрабатывает соответственно математическую модель аппаратуры приёма спутниковых радионавигационных сигналов. Проводит моделирование информационных отказов - при возникновении двух отказов, о которых я говорил. Если это аномальные измерения, то сигнал на выходе может скачком изменяться на достаточно большие значения. Эти значения могут достигать по псевдодальности до 150 м, это предел, потому что, в противном случае, мы выйдем за предел квалификационной характеристики приемника. Но этот скачок распределен по равномерному закону, т.е. на выходе можем иметь любое значение псевдодальности от 0 до 150 м, как в одну, так и другую сторону.

И второе, что он рассматривает - когда отсутствует сигнал, т.е. происходит «замораживание» этого сигнала. По сути дела, аппаратура не выдает никакой информации и остается на прежних данных, на которых и была. Здесь он проводит моделирование - этой математической модели совместно с работой приёмником спутниковых радионавигационной системы.

Чтобы как-то решить задачу, а у него основной задачей является разработка автономной системы контроля целостности, что он предлагает в третьем разделе диссертации. Алгоритм, который, будем говорить, достаточно оригинальный с той точки зрения, что он пытается сравнивать на малых интервалах времени, какое расстояние прошёл робот и каково было приращение, которое он получил по координатам навигационной системы. В данном случае он берет отношение между двумя величинами, и если сигнал «заморожен», то у него получается ноль. А если не «заморожен», то считает, что единица. Говорить об аномальных измерениях здесь тяжело потому, что аномальные измерения в привязке к данному алгоритму, конечно, могут быть разными, но суть в том, что что мы не знаем, насколько будет произведён скачок или на сколько изменятся координаты. Если они изменятся на достаточно большое

расстояние, то тут нужно вводить пороговое устройство и решать задачу по-другому. И, разработав данный алгоритм, он пытается его сравнить. Чтобы сравнить, насколько эффективен этот алгоритм, он берёт известный алгоритм, который получается методом линейной оптимальной фильтрации – фильтр Калмана и работает этот алгоритм по невязке измерений. Суть достаточно проста. Невязка измерений – это разница между измеренным значением и прогнозом этого измеренного значения. Обычно считается, что невязка измерений распределена по нормальному закону. Всё это логично и правильно, потому что мы всегда считаем, что сигнал, который приходит от спутника – есть сигнал детерминированный плюс шум, где шум распределён по нормальному закону. За пределы трёх сигма в одну и вторую сторону. Поэтому смоделировав этот алгоритм и смоделировав свой алгоритм, он сравнивает эти два алгоритма и говорит о том, что действительно у него получается. Время обнаружения этих «замороженных» измерений, которые возникают на выходе аппаратура приёма, почти в 3-4 раза быстрее.

Ну, и, соответственно в четвертой главе уже разработано устройство, разработан способ управления движением роботом и система на основе автономного контроля приемника СНС, которая обеспечивает повышения информационной надёжности системы управления. Таким образом, по сути дела, он решил ту задачу, которая была поставлена в диссертации. Разработаны соответствующие алгоритмы автономного контроля целостности и создана система, которая позволяет в случае возникновения аномальных измерений, но в случае возникновения отсутствия сигнала, когда сигнал совсем пропадает на выходе приемника. В этом случае у него система позволяет, улучшить характеристики по сравнению с тем, когда нет этой системы автономного контроля целостности и нет общей системы по точности, а только сравнивает, когда есть системы и отсутствия системы.

Следующее, в числе наиболее значимых научных результатов, полученных соискателем, следует назвать:

- модель наземного робота с системой управления с приемником СНС;
- алгоритм автономного контроля приемника спутниковой навигационной системы;
- способ повышения информационной надёжности системы управления обеспечивает снижение погрешности движения наземного робота.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии алгоритма автономного контроля целостности навигационных данных спутниковых радионавигационных систем вот за счёт того, что был предложен новый алгоритм по контролю целостности навигационных данных на выходе приемника СНС.

Практическая значимость диссертационной работы Чан Ван Туана заключается в комплексе технических решений, позволяющих реализовать их в аппаратурно-безызбыточной системе управления наземным мобильным роботом, с минимальными энергопотреблением, стоимостью и габаритами. Развитие предложенных в работе решений может служить основой для контроля в навигационных системах

аппаратных отказов.

Достоверность результата работы. Достоверность основных результатов и выводов, сформулированных в работе, определяется использованием фундаментальных теоретических положений, справедливость которых доказана ранее и подтверждена на практике, корректным применением методов математического моделирования, теории автоматического управления, методов статистической обработки экспериментальных данных, адекватностью рассмотренных моделей реальным процессам, результатами моделирования.

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 11 печатных работах, в том числе в 2 статьях в российских рецензируемых научных журналах из Перечня, рекомендованного ВАК РФ, имеется патент на полезную модель.

Диссертация написана квалифицированно, литературно-техническим языком, снабжена достаточным количеством иллюстративного материала.

Замечания по диссертации:

1) На стр. 28 во втором абзаце, а также в таблице 1.2 указано, что наилучшему геометрическому положению спутников в рабочем созвездии при определении пространственных координат соответствует геометрический фактор меньше единицы. Следует отметить, что минимальное значение геометрического фактора равно единице и не может быть меньше единицы.

Я поясню, что существуют наилучшие оптимальные созвездия. Это созвездие, если говорить, как оно расположено, то оно расположено в горизонте три спутника через 120 градусов и вертикально над объектом расположен четвертый спутник. В данном случае это наилучшая оптимальное созвездие, которое образует тетраэдр. Объем его максимален. Никакое другое геометрическое положение и рабочее положение других спутников не может быть лучше. Почему его называют наилучшим? Потому что в этом случае за счёт геометрического расположения спутников мы получаем наименьшие дисперсные ошибки при определении координат местоположения. Никакое другое расположение спутников не обеспечивает меньшую дисперсию ошибок оценивания координат. Поэтому это грубейшая ошибка - геометрический фактор всегда наилучший или оптимальный единица, а все остальные больше единицы.

2) Разработанная структурная схема системы управления мобильным роботом в качестве датчика информации использует только СНС, что как указано в работе, обеспечивает аппаратную избыточность системы, минимальные энергопотребление, стоимость и габариты, без снижения ее точности, помехозащищенности и информационной надежности. Но при этом в работе не поясняется, как в начальный момент времени будет выбираться направление движения робота.

3) В третьей главе не поясняется почему для сравнения результатов работы предложенного алгоритма автономного контроля приемников спутниковых навигационных систем выбран метод контроля на основе фильтра Калмана, хотя существует ряд других решений, имеющих меньшую вычислительную сложность.

4) В выражении (3.8), представляющем систему векторно-матричных дифференциальных уравнений и описывающем математическую модель изменения местоположения робота, расшифровка входящих величин некорректна, правильнее писать не ошибка местоположения, а вектор ошибок, не ошибка ориентации, а вектор ошибок ориентации и так далее. Кроме того, указанное ускорение в связанной системе координат в выражении (3.8) отсутствует.

5) Быстродействие сравниваемых алгоритмов контроля приемников СНС определяется, в случае предложенного в работе алгоритма автономного контроля, длительностью интервала за который определяется отличие предполагаемого перемещения робота и изменения навигационных координат, получаемых с приемника СНС, а в случае метода на основе невязок фильтра Калмана – количеством отсчетов в скользящем окне, используемом для анализа сигнала. Для предложенного в работе алгоритма взят интервал 5 секунд, а для метода на основе невязок фильтра Калмана – 20 отсчетов. Почему именно эти значения взяты и как их изменение повлияет на работоспособность алгоритмов не рассмотрено и не исследовано.

6) Есть путаница с обозначениями в формулах и с расшифровкой величин: матрица перехода B обозначена где-то с одним индексом, где-то – с двумя, например, формулы (3.1), (3.2); в выражении (3.1) формирующий шум в модели вектора состояния должен быть с индексом k , а не $(k+1)$; в выражении (3.4) для матрицы оптимальных коэффициентов усиления индексы матрицы наблюдения H обозначены не одинаково; в выражении (3.4) матрица R_{r+1} это не матрица шумов измерений, а матрица дисперсий шумов измерений.

7) В тексте диссертации имеется достаточно большое количество орфографических, пунктуационных ошибок и опечаток.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть частично учтены автором при подготовке доклада.

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, является законченной научно-исследовательской работой и может быть квалифицирована, как совокупность научно обоснованных технических и технологических решений, внедрение которых, вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в области разработки элементов и узлов систем управления мобильными роботами.

В автореферате правильно отражено содержание диссертации, в лаконичной форме изложены основные результаты исследования и выводы по работе, представлены корректные авторские оценки научной новизны и практической значимости результатов.

Выводы.

1) Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная задача повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота при возникновении информационных отказов приемника СНС.

Тема и результаты исследования соответствуют пункту 4 раздела «Области исследований» паспорта специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

2) Диссертация является завершённой научной работой, обладающей внутренним единством, содержит новые научные результаты, нашедшие практическое использование. Полученные соискателем результаты и технические решения строго аргументированы и оценены в сравнении с известными аналогами.

3) Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук: п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а Чан Ван Туан заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по заявленной специальности.

Спасибо за внимание.

(Отзыв прилагается).

Председатель

Соискателю предоставляется слово для ответа на замечания оппонента.

Соискатель

Спасибо. С замечаниями оппонента доктора технических наук, профессора Иванова я согласен.

Председатель

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту – **к.ф-м.н. Приходько Виктор Владимирович.**

К.ф-м.н. Приходько В.В.

Диссертация выполнена на кафедре «Измерительно-вычислительные комплексы» Ульяновского государственного технического университета. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 134 наименований и 4 приложений. Общий объём работы 178 страниц, в том числе 143 страницы основного текста. В приложениях приведены алгоритм определения координат приемника спутниковых навигационных систем (СНС) в модели мобильного робота, результаты моделирования движения робота по различным траекториям, акт использования результатов работы и патент на полезную модель.

Структура диссертации традиционная – первая глава носит, в основном, обзорно-аналитический характер, в ней рассмотрен общий подход к решению поставленных задач, во второй главе разрабатывается математическая модель робота с системой управления, в третьей и четвертой главах – рассмотрены и исследованы предложенные технические решения – алгоритм контроля приемника СНС и способ повышения информационной надежности системы управления мобильным роботом.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи

работы, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе на основе обзора и анализа основных методов и средств построения навигационных систем показаны преимущества использования СНС для глобальной навигации наземных мобильных роботов. Описаны причины возникновения и виды ошибок и погрешностей в навигационных данных, возникающие преимущественно при нахождении мобильного робота с приемником СНС на поверхности земли. Выбран подход для определения достоверности навигационных данных - алгоритмы автономного контроля целостности данных в приемнике, рассмотрена общая схема реализации автономного контроля в системе управления наземным роботом. Рассмотрено понятие информационной надежности системы управления, показаны недостатки терминального управления наземными роботами при возникновении отказов навигационной системы.

Во второй главе описана математическая модель наземного робота с системой управления и приемником СНС. Модель разработана для исследования влияния информационных отказов приемника СНС на работу системы управления мобильным роботом, на параметры его движения и позволяет оценивать эффективность различных алгоритмов обнаружения нарушения целостности навигационных данных и способов повышения информационной надежности системы управления.

В третьей главе разработан алгоритм автономного контроля приемника СНС в системе управления наземным роботом. Алгоритм основан на методах обнаружения неисправностей на основе уравнений соответствия и учитывает дополнительную информацию о параметрах движения мобильного робота. Проведено сравнение характеристик разработанного алгоритма и алгоритма автономного контроля достоверности данных на основе оценки невязок фильтра Калмана.

В четвертой главе рассмотрена структурная схема системы управления мобильным роботом с автономным контролем приемника СНС, описан способ управления на основе выбора режима управления по модели робота при возникновении информационных отказов приемника СНС. Показано, что система и способ позволяют снизить погрешности следования робота по заданной траектории при недостоверности навигационных данных с приемника СНС. Разработана аппаратно безызбыточная система с минимальными энергопотреблением, стоимостью и габаритами в которой в качестве источника навигационных данных используется только приемник СНС.

В заключении обобщены результаты и выводы по проведенной работе.

Актуальность темы диссертации.

Повышение точности навигации является приоритетным направлением развития мобильных роботов. Навигация должна осуществляться в самых различных условиях - на открытом пространстве, далеко от наземных навигационных станций, в сложных промышленных или городских условиях. Параметры движения робота могут отличаться, как по динамическим характеристикам, так и по реализуемым траекториям. Определение навигационных параметров с высокой надежностью может быть проведено при использовании

сложных комплексных навигационных систем, применение которых на малогабаритных роботах не всегда возможно. Поэтому требуется разработка специальных решений, прежде всего алгоритмических, которые позволяют повысить информационную надежность системы управления мобильным роботом.

Следовательно, тема диссертации Чан Ван Туана, в которой исследуются и разрабатываются средства контроля приемников СНС и способы управления движением мобильного робота, направленные на повышение информационной надежности системы управления, является актуальной.

Научная ценность работы заключается в том, что автором предложено учитывать при построении алгоритмических средств контроля достоверности навигационных параметров, получаемых приемником СНС, характеристики движения мобильного робота. Это позволяет выявлять качественное и количественное несоответствие между перемещениями робота и данными с приемника СНС и определять информационные отказы устройства. Разработанный алгоритм контроля приемника СНС прост в реализации и не требует сложных вычислительных процедур. Разработанный способ с выбором режима управления движением робота на основе контроля целостности навигационных данных позволяет свести к минимуму влияние на движение робота сбоев в навигационных данных.

Практическая ценность диссертации Чана Ван Туана заключается в том, что алгоритм автономного контроля приемника СНС и способ повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота исследованы и показаны их преимущества перед известными решениями. Описана техническая реализация полученных решений в системе управления.

Оформление материалов диссертации.

Диссертация написана квалифицированно, техническим языком, снабжена достаточным количеством иллюстративного материала. Представленные графически и таблично данные дают полное представление о полученных результатах. Объемные результаты моделирования вынесены в приложение.

Замечания по диссертации.

1) При описании моделирования движения робота по заданным траекториям во второй главе недостаточно подробно указаны исходные данные при моделировании. Не понятно изменялись ли они при моделировании? Так погрешности позиционирования робота (0.3-0.4) метра при движении по функционально заданным траекториям и (2-6) метров при движении по произвольно заданной траектории, а максимальная скорость движения робота снизилась с (0.5-0.6) м/с до (0.2-0.3) м/с.

2) В п. 3.3 описан простой алгоритм определения информационного отказа, основанный на оценке равенства нескольких последовательных значений на выходе приемника СНС, но в дальнейшем в работе данный алгоритм не рассматривается. Не понятно почему он был исключен из исследований.

3) В работе отсутствует анализ и исследование возможности применения разработанных средств для контроля других видов информационных отказов, кроме «замораживания» сигнала на выходе

приемника СНС. Отказы могут проявляться в исчезновении сигнала на выходе приемника, в скачкообразных изменениях сигнала, в повышенном уровне помех. Каков будет результат определения этих ошибок предложенными средствами контроля не ясно.

4) В разделе 3.1 диссертации исследуется вероятность возникновения ошибок определения координат приемника СНС в течение длительного периода времени. Результаты показывают наличие кратковременных скачкообразных изменений значений координат, но полного анализа результатов измерений нет и причины возникновения этих ошибок не указаны.

5) Разрабатываемые в диссертации средства направлены на повышение информационной надежности системы без резервирования данных о положении робота, но в системе управления, описываемой в 4 главе, есть датчики определения локального положения робота. Зачем они включены в состав системы?

6) В тексте диссертации встречаются ошибки.

Заключение

Диссертация Чан Ван Туана является законченной научно-квалификационной работой и содержит комплекс научно обоснованных решений, направленных на решение важной научно-технической задачи повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота.

Работа выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне. Степень апробации работы путем опубликования основных положений в печати, 11 публикаций, и путем использования результатов в Центре новых информационных технологий Ульяновского государственного технического университета при разработке системы управления беспилотным автомобилем достаточна.

Содержание автореферата отражает основные положения работы и ключевые доводы в их защиту.

Из вышеизложенного следует, что представленная диссертационная работа Чан Ван Туана по актуальности, научно-техническому уровню и практической значимости выполненных исследований отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук.

Спасибо за внимание.

(Отзыв прилагается).

Председатель

Слово для ответа на замечания оппонента предоставляется соискателю.

Соискатель

Спасибо, Виктор Владимирович. С замечаниями оппонента я согласен.

Председатель

Кто хочет выступить?

Д.т.н., профессор Гладких А. А.

Я выслушал с большим вниманием руководителя работы и понял, что был прав, что семантика целевой функции работы нарушена – не «исходных данных», а «динамически изменяющихся данных в ходе движения этого робототехнического устройства». Потому, что иначе мы всё сваливаем в целевой установке на человека, который неправильно померил точки. Я, по-моему, прав здесь. Итак, мне очень хочется отметить то, что у нас прошло в марафоне, который сейчас сентябрьский, три работы были с представителями из зарубежных государств, и мы видим очень хорошие работы, это говорит о нашей школе высокой. И на основе того, что было высказано научным руководителем и оппонентами, я считаю, что работа достаточно достойная, очень хорошая. Естественно, она имеет перспективы в своём продолжении на основе каких-то новых теоретических подходов и высказанных критических замечаний, я буду голосовать «за». Спасибо.

Д.т.н., профессор Васильев К. К.

То, что мне понравилось, я уже сказал. Здесь предложен, по существу, новый метод. Я в первый раз увидел, что кроме физической модели (трактора, робота), есть еще математическая модель и сравнивается движение физической и математической модели. То есть идея очень хорошая. Конечно, есть и недостатки. Место этого подхода в возможность комплексирования, изменения параметров, оптимально наилучших параметров при измерении погрешности, которая встречается в дифференциальной форме или при комплексировании GPS и ГЛОНАСС, при комплексировании с другими датчиками. Вот эта часть не исследована. Но действительно, как только начинает пробуксовывать колесо, модель движется вперёд, а GPS говорит, что он стоит на месте или замедлил движение. И, конечно, еще, что сравнение с фильтром Калманом, не понятно почему использовали фильтр Калман. Ну, в принципе, это суммирование привязок правильный подход, но не единственный. Это же задача о разладке и здесь существует множество подходов очень эффективных для обнаружения разладки между наблюдениями и моделями, то есть обнаружение разладок наблюдений, поэтому здесь надо было рассмотреть пошире. Это перспектива на будущее, надеемся, что поступит у нас в докторантуру, будет все эти вопросы решать. Тема очень интересна. Я буду голосовать «за».

Д.т.н., профессор Сергеев В. А.

Я с этой работой знакомился еще на этапе обсуждения, внимательно читал, мы обсуждали. И заметно изменились акценты постановки задачи и подхода решения этих задач. Мы ушли от той дискуссии, когда обсуждали специальность, это проблематика этой специальности. На мой взгляд уже правильно и логично изложено. Теперь, что касается самого качества представленной работы. В отличие от научного руководителя мне понравилось, как он докладывал, владеет материалом и чувствуется, что это действительно он сам всё это сделал, своими руками. Если говорить по критериям – актуальность, практическая значимость и новизна –

я думаю, ни у кого не вызывает сомнения. Задача будет долго еще рассматриваться, потому что всё больше и больше автономных всяких разных движущихся объектов, пытаемся управлять ими сидя дома. Второе, научная новизна. Подход действительно новый, он имеет право на постановку, довольно оригинальный, глубина новизны – на эту тему можно долго дискутировать. Теперь практическая значимость подтверждается использованием и возможностью дальнейшего использования. Что касается качества решения задачи, который предложил нам аспирант, тут можно много пожеланий высказывать, много факторов, которые надо было еще учесть. Мне кажется, что алгоритм и сам подход это позволяет сделать. То есть он может заложить в модели и систематические погрешности – как мне представляется – и вопросы, связанные с неравномерностью профиля движения пространства. Это, конечно, будущее. Нельзя требовать от работы кандидатского уровня учёта всех возможных факторов, но сам подход перспективный, и он справился с задачей, задача поставлена, задача решена. Я буду голосовать «за» и всех призываю это делать.

Председатель

Кто еще хочет выступить? Нет желающих?

Соискателю предоставляется заключительное слово.

Соискатель

В первых словах хочу выразить огромную благодарность своему научному руководителю Киселев Сергей Константинович за огромные затраты времени и сил, которые он вложил в эту работу.

Так же благодарю наш университет и кафедру ИВК, которые дали все возможности, чтобы я выполнил эту работу.

Благодарю своих официальных оппонентов – Иванова Александра Васильевича и Приходько Виктора Владимировича за проявленное внимание к моей работе.

Так же благодарю председателя и всех членов совета за полезные замечания.

Большое спасибо.

Председатель

Переходим к голосованию. Прошу ученого секретаря организовать голосование.

Ученый секретарь организует голосование.

Председатель

Прошу ученого секретаря озвучить результаты тайного голосования.

Ученый секретарь

Оглашает итоги тайного голосования.

(Протокол тайного голосования прилагается).

Председатель
Прошу проголосовать за утверждение протокола тайного голосования.

Кто за? (Все)

Кто против? (Нет).

Кто воздержался? (Нет).

Протокол утверждается.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за - 16 , против - 0) диссертационный совет Д212.277.04 при Ульяновском государственном техническом университете признает, что диссертация **Чан Ван Туан** содержит новые решения по автоматизированному параметрическому синтезу приемников статического давления для малых дозвуковых скоростей, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 "Положения" ВАК), и присуждает **Чан Ван Туан** ученую степень кандидата технических наук по специальностям **05.13.05.**

Председатель

У членов Совета имеется проект заключения по диссертации **Чан Ван Туан**. Есть предложение принять его за основу. Нет возражений? (Нет). Принимается.

Какие будут замечания, дополнения к проекту заключения?

(Обсуждение проекта).

Председатель

Есть предложение принять заключение в целом с учетом редакционных замечаний. Нет возражений? Принимается единогласно.

Заключение объявляется соискателю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.277.04, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФГБОУ ВО «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.09.2022 № 16

О присуждении Чан Ван Туан, гражданину Социалистической республики Вьетнам, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Автономный контроль приемников спутниковых навигационных систем для повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота» по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем

управления принята к защите 22.06.2022 (протокол заседания № 8) диссертационным советом Д 212.277.04, созданным на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (432027, г. Ульяновск, ул. Северный венец, д. 32) №678/НК ОТ 18.11.2020.

Соискатель Чан Ван Туан 01 Февраля 1987 года рождения. В 2013 году соискатель окончил ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по специальности «Приборостроение». В 2016 - 2022 году обучается в аспирантуре Ульяновского государственного технического университета по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Диссертация выполнена на кафедре «Измерительно-вычислительные комплексы» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» Киселев Сергей Константинович.

Официальные оппоненты:

Иванов Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», профессор кафедры «Радиотехника»;

Приходько Виктор Владимирович, к. ф.-м. н., ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», старший научный сотрудник Научно-исследовательского технологического института им. С.П. Капицы

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральный научно-производственный центр АО «НПО «Марс», г. Ульяновск, в своем положительном отзыве, подписанном Пифтанкиным А.Н., кандидатом технических наук, главным специалистом ФНПЦ АО «НПО «Марс» и Павлыгиным Э.Д., кандидатом технических наук, главным специалистом ФНПЦ АО «НПО «Марс», утвержденном генеральным директором ФНПЦ АО «НПО «Марс», кандидатом технических наук, Маклаевым В.А., указала, что диссертация является законченной научно квалификационной работой, которая посвящена решению важной научной задачи и содержит значимые научные и практические результаты.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из списка ВАК опубликовано 2 работы, получен 1 патент на полезную модель.

Общий объем опубликованного материала составляет 66 м.п. страниц, авторский вклад - 54 м.п. страницы (82 %). Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертационной работе отсутствуют.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Чан, В.Т. Оценка достоверности данных спутниковой навигационной системы при управлении движением наземных мобильных роботов / С.К. Киселев, В.Т. Чан // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. - 2021. - Т. 10. - № 2 (54). - С. 12-15.

2. Чан, В.Т. Управление движением наземного мобильного робота при нарушении целостности навигационных данных спутниковой навигационной системы / С.К. Киселев, В.Т. Чан // Автоматизация процессов управления. - 2021. - № 2 (64). - С. 4-12.

3. Устройство управления мобильным роботом / С.К. Киселев, В.Т. Чан. // Патент на полезную модель 209590 U1. Заявка № 2021122819 от 29.07.2021. - Опубликовано 17.03.2022. - Бюл. №8.

4. Чан, В.Т. Алгоритм оценки достоверности данных спутниковой навигационной системы при управлении траекторным движением наземных мобильных роботов / В.Т. Чан, С.К. Киселев // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 22-26 Марта 2021 г.) / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. - С. 407-408.

5. Чан, В.Т. Управление движением наземного мобильного робота при нарушении целостности навигационных данных спутниковой навигационной системы / В.Т. Чан, С.К. Киселев // Научно-техническая конференция "Интегрированные системы управления" (Россия, г. Ульяновск, 18 - 19 мая 2021 г.): Сб. науч. тр. - Ульяновск: ФНПЦ АО «НПО «Марс», 2021. - С. 64-72.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов: все отзывы положительные, во всех 5 отзывах имеются замечания.

1. В отзыве главного научного сотрудника АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», г. Санкт-Петербург, доктора технических наук, профессора Колесова Николая Викторовича указано замечание: в качестве недостатка работы можно было бы отметить отсутствие сопоставления с техническими решениями, предполагающими введение незначительной избыточности, например, в виде микромеханического гироскопа.

2. В отзыве профессора кафедры электронного приборостроения и менеджмента качества ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, доктора технических наук, профессора Солдаткина В.М. имеются замечания: не сформулирована научная задача исследования, а приводятся направления ее решения; не приведена реализация и внедрение результатов исследования, однако этот этап весьма трудоемкий и представляет собой самостоятельное исследование и разработку; рисунок 2 автореферата мало информативен, а блок «Ошибки измерений» необходимо заменить на «Оценка погрешности измерения».

3. В отзыве директора Алатырского филиала ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», кандидата технических наук, доцента Пичугина В.Н. имеются замечания: не указано какие виды отказов приемника спутниковой навигационной системы можно определять разработанными средствами; чем ограничено использование разработанных средств для контроля других видов навигационных систем, например, инерциальных.

4. В отзыве заместителя начальника ТК0-1 по датчикам АО «Аэроприбор-Восход» г. Москва, кандидата технических наук Винокурова Л.Н. указаны замечания: в материалах по третьей главе

указано, что резкое изменение направления движения наземного робота может быть причиной ложного определения алгоритмическими средствами достоверности навигационных данных, но не описано, как данная проблема решается в предложенном алгоритме контроля приемника спутниковой системы; в описанных в автореферате алгоритмических решениях по повышению информационной надежности системы управления не предусмотрено комплексирование данных приемника спутниковой навигационной системы с данными измерения локального положения робота, однако такие средства (инфракрасный и ультразвуковой датчики расстояния) есть в составе системы управления, рассмотренной в главе 4; определение скорости движения робота по напряжению на двигателях в реальных условиях эксплуатации может иметь значительные погрешности при наличии внешних воздействующих факторов (ветер, снег, состояние покрытия дороги), а также изменение рельефа местности. Поэтому корректнее измерять частоту вращения колес по сигналам от соответствующих датчиков; учитывая наличие алгоритма определения пройденного расстояния без СНС, для повышения автономности робота в том числе в условиях боевых действий и подавления сигналов СНС противником, имеет смысл задействовать в алгоритме управления информацию, как минимум, от магнитного компаса.

5. В отзыве заведующего кафедрой приборостроения Чистопольского филиала «Восток» ФГБОУ «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Чистополь, кандидата технических наук, доцента Прохорова С.Г. имеются замечания: в работе смоделирована система управления роботом с отрицательной обратной связью по координатам мобильного робота. В тексте автореферата нет объяснений почему именно такая система управления была выбрана для моделирования. по результатам исследования способа управления мобильным роботом с переключением на модель при отказах приемника СНС в таблице 2 показано, что абсолютная погрешность и СКО отклонения от заданной траектории не превышает нескольких метров, но нигде не указана собственная погрешность определения координат приемником СНС, используемым в системе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетенцией, научными достижениями и наличием публикаций в соответствующей отрасли науки. Официальные оппоненты не имеют совместных проектов и совместных публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны:

- алгоритм автономного контроля приемника СНС в системе управления наземным роботом, реализующий методы обнаружения отказов на основе уравнений соответствия и учитывающий дополнительную информацию о параметрах движения мобильного робота. Разработанный алгоритм при одинаковых параметрах возникающих информационных отказов позволяет обнаружить ошибку за меньшее в (3-4) раза время, чем алгоритм на основе фильтра Калмана;

- способ управления мобильным роботом, позволяющий при возникновении информационных отказов приемника СНС уменьшить погрешности движения робота по заданной траектории в (2-10) раз, что повышает информационную надежность системы управления мобильным роботом;

- система управления мобильным роботом для реализации предложенного способа управления с автономным контролем приемника СНС. Система аппаратурно безызбыточна, обладает пониженным энергопотреблением, стоимостью и габаритами;

предложено :

- обнаруживать информационные отказы приемника СНС на основе уравнений соответствия, устанавливающих логические и параметрические взаимосвязи между процессами, происходящими в различных элементах системы управления роботом;

- осуществлять управление движением робота при возникновении информационных отказов приемника СНС по координатам, вычисленным по динамической модели робота.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана перспективность использования предложенных технических решений для повышения информационной надежности системы управления мобильным наземным роботом;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы теории автоматического управления, методы статистической обработки экспериментальных данных и цифровой обработки сигналов, методы компьютерного имитационного моделирования;

изложены причины частого нарушения целостности навигационных данных и возникновения информационных отказов в системе управления при нахождении мобильного робота с приемником СНС на поверхности земли на местности со сложным рельефом или в городских условиях;

раскрыто влияние информационных отказов, возникающих в системе управления мобильным наземным роботом, на погрешности движения робота по заданной траектории;

изучены существующие алгоритмы определения целостности навигационных данных (бортового мониторинга целостности; автономного контроля целостности навигационных данных). Показана перспективность использования автономного контроля целостности навигационных данных для систем управления наземными мобильными роботами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

результаты разработок использованы в Центре новых информационных технологий Ульяновского государственного технического университета при работе над проектом в сфере беспилотного транспорта и искусственного интеллекта для совершенствования беспилотного автомобиля «ГАЗель NEXt» при подготовке его для участия в соревнованиях «Робокросс-2021»;

определены характеристики быстродействия алгоритма автономного контроля приемника СНС при обнаружении информационных отказов и степень уменьшения погрешности движения робота по

заданной траектории при возникновении информационных отказов приемника СНС, обеспечиваемая предложенным способом управления мобильным роботом;

разработана структурная схема системы управления мобильным роботом с автономным контролем приемника СНС, обеспечивающая аппаратную безызбыточность, пониженное энергопотребление, стоимость и габариты без снижения точности, помехозащищенности и информационной надежности системы;

представлены перспективы использования предложенных технических решений для контроля аппаратных отказов и дополнительного повышения надежности системы управления мобильным роботом и исключения возникновения аварийных ситуаций при его эксплуатации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для результатов моделирования достоверность подтверждается тем, что предложенная модель наземного робота с системой управления с приемником СНС проверена методом детерминированного случая, подтверждена ее адекватность и соответствие целям разработки;

теория построена с использованием известных методов теории автоматического управления, методов математического моделирования, статистической обработки экспериментальных данных и цифровой обработки сигналов;

использованные при моделировании данные по зонам видимости навигационных спутников и эфемериды определены по альманахам глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), расчеты проведены на основе нормативных документов ГНСС;

установлено сокращение в (3-4) раза времени обнаружения отказа разработанным алгоритмом автономного контроля приемника СНС по сравнению с известным алгоритмом автономного контроля целостности навигационных данных на основе фильтра Калмана при одинаковых параметрах возникающих информационных отказов;

использованы для обработки результатов и численного моделирования среды Excel, GPX_Editor, Matlab/Simulink.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели научного исследования, постановке задач, выборе и обосновании путей их решения, получении всех основных алгоритмических и технических решений, разработке модели робота с системой управления, в планировании и проведении вычислительных экспериментов, анализе и обработке полученных результатов; в подготовке публикаций по тематике работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- в работе не проведено сопоставление полученных решений с техническими решениями, предполагающими введение избыточности по измеряемым навигационным параметрам;

- не проведено исследование применимости полученных решений для других видов информационных отказов, кроме «замораживания» сигнала на выходе приемника СНС;

- сравнение характеристик разработанного алгоритма контроля приемника СНС проведено только с одним алгоритмом обнаружения информационных отказов на основе невязок фильтра Калмана.

Соискатель Чан Ван Туан ответил на заданные в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями и пояснил, что одной из задач диссертации было получение технических решений, повышающих информационную надежность систем управления мобильным наземным роботом с одним устройством определения навигационных параметров - приемником СНС, без введения избыточности данных.

На заседании 21.09.2022 диссертационный совет принял решение:

Представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук квалифицируется как «новое решение важных прикладных задач, используемых в промышленности». Диссертация представляет собой законченное исследование, являющееся решением важной научно-технической задачи в области исследования и разработки элементов и устройств вычислительной техники и систем управления - задачи повышения информационной надежности системы управления движением наземного робота на основе автономного контроля приемника СНС.

Присудить Чан Ван Туан ученой степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против - нет.

Защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? (Нет).

Поздравляет соискателя с успешной защитой. Благодарит членов совета и всех участников за внимание.

Заседание объявляется закрытым.

Председатель Совета Д212.277.04
д.т.н., профессор

Н.Г. Ярушкина

Ученый секретарь Д212.277.04
д.т.н., доцент

А.М. Наместников

