

Министерство образования и науки Российской Федерации
Филиал Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
в г. Нижневартовске

Кафедра «Информатика»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

РЕЦЕНЗЕНТ

И.о. зав. кафедрой «Информатика»

Вед. инженер РН «РХиС»

к.т.н., доцент

/М.М.Перфильев

/ Н.И.Юмагулов

«___» _____ 2017 г

«___» _____ 2017 г.

Управление мобильным роботом

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ-12.03.01.2017.146.ПЗ ВКР

Консультанты

Экономическая часть

к.э.н., доцент

/А.В.Прокопьев

«___» _____ 2017г.

Безопасность жизнедеятельности

к.т.н., доцент

/ Н.И.Юмагулов

«___» _____ 2017г.

Руководитель работы

д.ф.м.н., профессор

/ Р.Г.Мухарлямов /

«___» _____ 2017 г.

Автор работы

обучающийся группы НвФл-431

/ И.Р. Фаттахов /

«___» _____ 2017г.

Нормоконтролер

старший преподаватель

/Л.Н. Буйлушкина/

«___» _____ 2017г.

Нижневартовск 2017

АННОТАЦИЯ

Фаттахов И.Р. Управление мобильным роботом – Нижневартовск: филиал ЮУрГУ, Информатика: 2017. 80с., 5 ил., 7 табл., библиогр. список- 20 наим., 1 прил.

Одна из фундаментальных проблем мобильной робототехники – автономное перемещение. Для выполнения этой задачи робот должен знать свое положение относительно положения своей цели.

Для эффективного функционирования интеллектуальные роботы ч\снабжены системой восприятия внешней среды, средствами анализа ситуаций и осуществляют планирование движения. При этом исключительно важна теоретико-механическая составляющая задачи, включающая исследование общих глобальных свойств управляемой системы.

В выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы построения системы управления мобильным роботом, после заданной команды траектории движения.

12.03.01.2017.146.ПЗ

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разработа		ФаттаховИ.Р.			Управление мобильным роботом	Лит.		
Проверил		МухорлямовР.Г				20	2	80
Рецензент		ПерфильевМ.М				Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Нижневартовске кафедра «Информатика»		
Н.контр.		БуйлушкинаЛ.Н						
Утвердил		Юмагулов Н.И.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ.....	10
1.1 Методы мобильной робототехники.....	10
1.2 Локализация	10
1.2.1 Расчет сбрасывания.....	11
1.2.2 Локализация на основе карт	12
1.3 Картирование	13
1.3.1 Метрические карты. Карты датчиков.....	13
1.3.2 Сетки.....	14
1.3.3 Геометрические карты	15
1.3.4 Ориентирные карты	16
1.4 Планирование движения.....	16
1.4.1 Планирование маршрута	17
1.4.2 Управление движением	17
1.5 Одновременная локализация и отображение	18
1.6 Датчики мобильных роботов	21
1.7 Фотокамеры	25
1.7.1 Трехмерные камеры	26
2 СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	28
2.1 Навигационный метод	28
2.2 Геометрическая интерпретация	29
2.3 Движение вдоль одного сегмента.....	31
2.4 Неопределенность положения	36
2.5 Обход нескольких сегментов	38
2.6 Условия сходимости	39
2.7 Доказательство сходимости	41
3 ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ	44

									л
									6
И	Лис	№	Подпис	Дат	12.03.01.2017.146 ПЗ				

3.1	Режим отображения	44
3.2	Автономный режим навигации	45
3.2.1	Вычисление <i>modus</i>	47
3.3	Проблемы с программным обеспечением	48
3.4	Ложные соответствия	49
3.5	Предотвращение препятствий	51
3.6	Систематические ошибки	51
4	ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	53
4.1	Оценка эффективности.....	53
4.2	Расчет сметы затрат на проведение работы	55
5	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	64
5.1	Анализ производственных опасностей и вредности на рабочем месте	64
5.2	Требования к эргономике рабочего места.....	72
5.3	Инструкция по охране труда на рабочем месте.....	74
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	78
ПРИЛОЖЕНИЯ		
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. КОМПАКТ–ДИСК.....	80

ВВЕДЕНИЕ

Мобильный робот, в частности колесный мобильный робот, с его простой механической структурой и присущей ловкостью, привлекает значительное внимание для динамических приложений среды в последние два десятилетия.

В последнее время робототехника переросла в развитую отрасль промышленности: большая часть роботов работают на различных предприятиях, покорение космоса опирается на широкое использование роботов с различным уровнем интеллекта.

Объектом является мобильный робот.

Предметом является разработка алгоритмов системы навигации робота.

Основная функция системы наведения является формирование команды возможной траектории, как правило, в нескольких измерениях свободы для достижения задачи робота. Функция робота навигационной системы заключается в обеспечении точного местоположения, скорости и / или информации об ориентации для системы управления и системы наведения. Стабильная и точная система навигации является мостом между системой управления и системой управления мобильными роботами, которые, в конечном счете, определяют производительность робота.

Уверенное функционирование мобильных роботов может быть обеспечено в относительно знакомых и хорошо структурированных рабочих пространствах. Развита методика управления роботами на основе хорошо сформулированных моделей и алгоритмов. При работе в незнакомом или изменяющемся окружении, мобильный робот должен адаптироваться к изменениям в окружающей среде, реагировать на непредусмотренные ситуации и действовать на основании предыдущего опыта. Таким образом, робот нуждается в системе управления с элементами искусственного интеллекта.

Целью выпускной квалификационной работы является реализация управления мобильным роботом по команде траектории движения с отслеживанием ошибок.

Задачи выпускной квалификационной работы:

1. Спланировать траекторию движения робота.
2. Создать математическую модель управления мобильным роботом.
3. Разработать алгоритмы навигации и системы управления роботом.
4. Провести анализ систематических погрешностей движения робота.
5. Провести оценку экономической эффективности исследования.
6. Рассмотреть правила техники безопасности на рабочем месте.

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

1.1 Методы мобильной робототехники

Одна из фундаментальных проблем мобильной робототехники – автономное перемещение. Для выполнения этой задачи робот должен знать свое положение относительно положения своей цели. Более того, робот должен принимать во внимание опасность окружающей среды и корректировать свои действия, чтобы максимизировать шанс добраться до места назначения. В контексте мобильной робототехники локализация означает определение положения робота в окружающей среде. Получение и представление пространственной информации об окружающей среде с помощью мобильных робототехнических датчиков называется картографией. Процесс создания входных данных для эффекторов роботов для достижения желаемого места назначения называется планированием движения. Хотя можно рассматривать эти проблемы по отдельности, они тесно связаны между собой, и особенно локализация и отображение часто изучаются вместе.

1.2 Локализация

Локализация – это проблема определения местоположения транспортного средства в абсолютной или относительной системе координат. Проблема определения местоположения получила значительное внимание уже более 3000 лет. Финикийцам известны базовые методы определения местоположения морских судов триангуляцией, корреляцией и измерением расстояния. Можно различать непрерывную локализацию, где известна начальная позиция транспортного средства и глобальная локализация, где робот не имеет априорных знаний о своем местоположении. Частный случай, когда локализованный робот внезапно перемещается в другое место, называется «проблемой похищенного робота».

1.2.1 Расчет сбрасывания

Мертвое расчисление (иногда называемое вычисленным расчетом) – это метод, основанный на навигации, когда судну приходится оценивать свою скорость относительно «мертвой» воды. В настоящее время он используется как общее название для техник, которые оценивают текущую позицию транспортного средства с ранее известной позиции (называемой фиксированной), прошедшего времени и оценкой скорости и курса транспортного средства. Хотя скорость и курс могут быть оценены экстерорецепторами, использование проприоцептивных датчиков более популярно.

Основным недостатком мертвых расчётов является тот факт, что погрешность положения растёт с течением времени. Хотя накопление ошибок может значительно замедляться за счет использования точных датчиков и тщательной калибровки датчиков, ошибки измерения интегрируются с течением времени, делая мертвые расчеты непригодными для долговременной локализации. Даже если шум датчика будет полностью устранен, даже наименьшая ошибка в определении начального положения угла вызывает потерю точности положения. Тем не менее, мертвый расчет является популярным методом быстрой оценки положения робота во многих сложных системах локализации. Кроме того, это полезно в случаях, когда робот не должен работать в течение длительного времени.

Наиболее популярным методом «мертвого счета» в области мобильных робототехнических систем является одометрия. Этот метод вычисляет скорость робота и направление движения от сигналов его исполнительных механизмов, то есть колеса или опоры. Чаще всего колесные роботы оснащаются инкрементными поворотными датчиками, прикрепленными к осям колес. Эти датчики измеряют вращение колес, и эта информация преобразуется в робота вперед и скорость рулевого управления. Помимо упомянутой выше проблемы накопления ошибок, метод чувствителен к скольжению колес и работает только на некоторых поверхностях. Иногда термин одометрия используется для методов, которые

измеряют скорость робота экстероцепторами и интегрируют эти измерения с течением времени. Эти методы могут быть основаны на оптических мышах, эффекте Доплера радиолокационных и звуковых волн и систем камер.

Другие методы мертвого счета основаны на использовании инерциальных единиц измерения и гироскопов. Для измерения истинного ускорения транспортного средства необходимо учитывать гравитацию Земли, а также центробежные силы и силы Кориолиса. Поскольку скорость измеряется косвенно путем интеграции измерений ускорения, и поэтому позиция вычисляется путем двойного интегрирования, проблема накопления ошибок еще более важна. Однако эти методы применимы к транспортным средствам, которые не контактируют с твердой поверхностью и успешно используются в авиации и в области космических полетов.

1.2.2 Локализация на основе карт

Чтобы устранить проблему кумулятивных ошибок при подсчете мертвых, робот должен интерпретировать сигналы от своих экстерорецепторов и сравнивать их с известной картой. Самый старый известный экстероцептор для навигации транспортных средств – это магнитный компас, который обеспечивает заголовок с привязкой к географической привязке. Поскольку магнитное поле Земли неоднородно, мореплаватели создали и поддерживали подробные магнитные карты, чтобы использовать компасы глобальной системы позиционирования (далее – GPS) в настоящее время является самой популярной системой локализации, главным образом потому, что GPS–приемники коммерчески доступны и доступны по цене. Он состоит из нескольких активных маяков, передающих сигналы на ~ 1.5 ГГц, вращающихся вокруг Земли. Приемник вычисляет свое положение, основанный на расстояниях, от отдельных спутников с известными положениями.

Точность локализации в районах с ясным видом на небо и хороших погодных условиях составляет около 2 метров. Однако сигнал GPS легко

поглощается водой и легко отражается. В результате точность GPS ухудшается при использовании в каньонах, лесах, тяжелых листьях или между зданиями. Преодолеть временное снижение точности локализации можно, комбинируя GPS с подсчетом мертвой точки. Альтернативно, если GPS-приемник имеет данные о своей окружающей среде, он может использовать эту информацию для отклонения отраженных сигналов и улучшения точности локализации.

1.3 Картирование

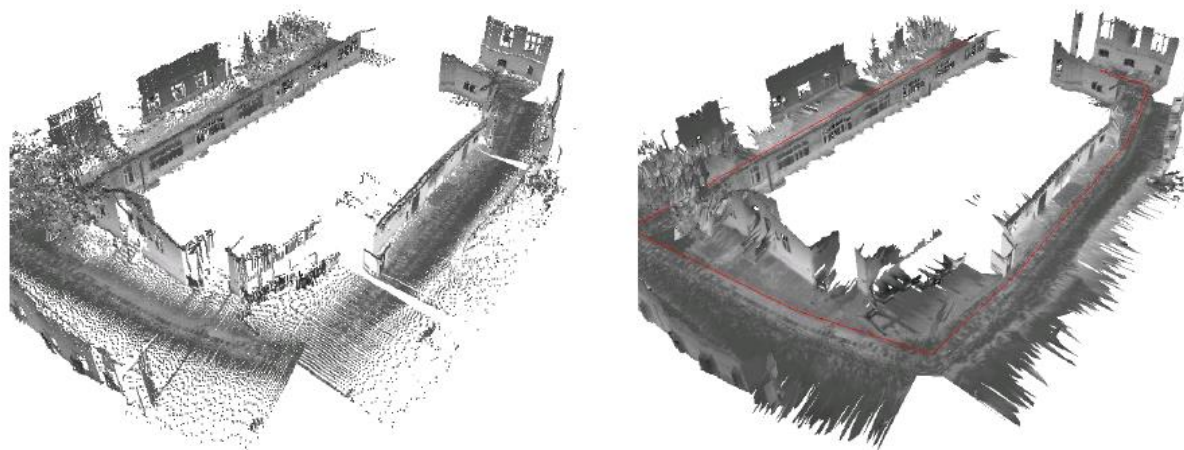
Картирование решает проблему получения пространственных моделей окружающей среды. Основная цель карт состояла в том, чтобы делиться знаниями о мире. Обмен этими знаниями позволил людям встретиться в заранее определенных местах и спланировать маршруты. Роботизированное картографирование – это процесс, в ходе которого робот получает знания о своем окружении через свои датчики. Тем не менее, основное использование карты не между несколькими роботами, но между алгоритмами планирования движения и локализации одного робота. Поскольку существует несколько методов локализации и планирования движения, в мобильной робототехнике используются различные типы карт.

Можно различать метрические и топологические карты. Для описания положения метрические карты используют фиксированную систему координат, а топологические карты используют пространственные отношения. Примерами метрических карт являются сетки занятости, геометрические и ориентировочные карты.

1.3.1 Метрические карты. Карты датчиков

Карта датчика создается путем записи и сохранения сенсорных измерений без дальнейшей обработки. Примером сенсорной карты является облако точек, в котором измерения дальности хранятся в глобальном опорном кадре

(рисунок 1.1). Несмотря на то, что такая карта сама по себе не очень полезна, карты датчиков сохраняют все измеренные данные и обычно создаются с мыслью об обработке собранных данных в будущем.



а) Горизонтальное облако точек 3D б) Триангулированное облако точек

Рисунок 1.1 – Примеры сенсорных карт

1.3.2 Сетки

Одна из старейших и наиболее популярных карт в мобильной робототехнике – сетка. В этом подходе среда моделируется как регулярная сетка однородных ячеек. Каждой ячейке присваивается вектор, который описывает некоторое физическое свойство своего внутреннего пространства. Если ячейки содержат местную высоту рельефа, карта называется сеткой высот. Другая возможность смоделировать рельеф – хранить локальную дисперсию рельефа в каждой ячейке.

В наиболее распространенной форме каждая ячейка содержит вероятность быть занятой, что приводит к так называемым сетям занятости. Предполагается, что вероятности являются независимыми, и поэтому влияние измерений датчиков на вероятность занятости, может быть, вычисляется для каждой ячейки отдельно. Каждое измерение датчика может изменить вероятность заполнения нескольких ячеек в зависимости от модели датчика, которая характеризует влияние

конкретного показания датчика на заполнение окружающих ячеек. Типичным примером является измерение дальномера, которое увеличивает вероятность заполнения ячеек с расстоянием, равным показанию датчика, при уменьшении вероятности заполнения более близких ячеек. Поскольку ячейки в сетке занятости могут быть доступны напрямую, обновление сетки после измерения датчика зависит только от модели датчика, а не от размера сетки. Для обновления сетки одновременно могут использоваться несколько датчиков, что делает простой и элегантной настройку сенсорного слияния с использованием сетки занятости. Более того, сетки занятости изначально поддерживают планирование и локализацию движения. Недостатком заполняющих сеток является неэффективность их памяти (это особенно проблематично с трехмерными сетками). Кроме того, большая часть среды состоит из пустого пространства, и поэтому большинство ячеек типичной сетки занятости не используются.

Несмотря на попытки преодолеть эту проблему, помимо единообразного отбора проб окружающей среды, единственная концепция сетки занятости заставляет ее требования к памяти расти с модельным размером среды.

1.3.3 Геометрические карты

Геометрические карты пытаются преодолеть недостаток неэффективности памяти и представляют только важные области окружающей среды. Более того, они не дискретизируют окружающую среду и поэтому более точны по сравнению с сетями занятости. Геометрические карты моделируют среду с помощью набора геометрических примитивов, обычно линий или многоугольников в двумерных и плоскостях в трехмерном случае. Геометрические карты подходят для локализации, а также для планирования движения. Хотя память эффективна, эти карты нелегко построить из-за шума датчика и неопределенности локализации. Кроме того, как правило, ландшафт на открытом воздухе слишком сложный, чтобы быть представленным несколькими геометрическими примитивами.

Существенным преимуществом геометрических карт является их доступность для многих зданий в виде моделей системы автоматизированного проектирования.

1.3.4 Ориентирные карты

Ориентирная карта представляет собой набор хорошо различимых объектов с известными позициями. В отличие от маяка, ориентир не помещается в среду с целью локализации. Первичная цель ориентирной карты – локализация, но ее также можно использовать для планирования движения. Важной проблемой является извлечение значимых ориентиров из сенсорных данных, которые могут быть дорого вычислительно. Во время создания карты, а также во время локализации воспринимаемые ориентиры должны быть связаны с ориентирами, хранящимися на карте. Если предварительный выбор не сделан, вычислительный расход процесса ассоциации увеличивается с увеличением размера карты.

Как правило, ориентиры идентифицируются изображениями камер, но также возможно извлечение ориентиров с помощью лазерного, эхолота или данных радара. Примером внутренних объектов среды являются двери, плакаты и настенные углы. В наружной среде ситуация становится еще более сложной, поскольку ориентиры сложнее определить и подвергнуть изменениям природной среды. Можно использовать точечные объекты, которые будут обсуждаться позже, или более крупные объекты, такие как стволы деревьев.

1.4 Планирование движения

Планирование – это процесс создания серии элементарных действий для достижения желаемой цели. В контексте мобильной робототехники планирование движения означает создание сигналов управления для роботизированных приводов для достижения определенной цели. Робот должен двигаться вдоль допустимого, свободного от столкновений пространства через окружающую среду. Проблема

планирования движения обычно вытекает на две подзадачи, планирование маршрута и управление движением.

1.4.1 Планирование маршрута

Планирование маршрута решает проблему поиска трассируемого пути до нужного места назначения. Как правило, полученный план представляет собой последовательность точек, который робот должен пройти, чтобы достичь цели. Для планирования пути алгоритмам нужна карта рабочего пространства робота. Большинство алгоритмов планирования маршрутов работают с сетями занятости и геометрическими картами. Планирование маршрута для топологических карт основано на классической графе.

В геометрических картах – гранулярность полученного плана, то есть плотность точек, образующих траекторию робота. Плотность определяется выборкой рабочего пространства робота, которая либо детерминирована для рандомизированных.

1.4.2 Управление движением

Алгоритмы управления движением генерируют входы исполнительного механизма робота (например, скорости колеса, мощность широтно-импульсной модуляции, входной ток на исполнительные механизмы), чтобы перемещать робота по множеству точек, заданным в планировании движения. Эти входы генерируются с помощью замкнутых или прогнозирующих контроллеров. Структура и параметры этих контроллеров сильно зависят от физических параметров робота. Оптимальный выбор этих параметров может быть выполнен вручную или самим контроллером.

Основная проблема вышеупомянутой декомпозиции заключается в том, что планирование маршрута не учитывает ограничения по кинематике робота и, следовательно, может не генерировать.

Оптимальные по времени пути. Для некоторых случаев динамических ограничений робота, сгенерированный путь может вообще не быть перемещаемым для робота.

Этот недостаток решается применением быстрого поиска случайных деревьев. Эти алгоритмы способны составлять планы для роботов со многими степенями свободы, соблюдая при этом их кинодинамические ограничения. Однако этот класс алгоритмов работает медленно, если не применять подходящую эвристику.

Существует также класс BUG алгоритмов, которые не создают длинных комплексных планов, но используют простые представления об окружающей среде, дешевые датчики и не требуют априори известных карт. Несмотря на минимализм, эти алгоритмы доказуемо полны – они находят путь, если он существует.

1.5 Одновременная локализация и отображение

Локализация и сопоставление редко рассматриваются отдельно, в большинстве случаев робот постепенно добавляет новую информацию к карте и использует локализацию на основе карты для получения своей позиции. Это называется одновременная локализация и отображение (далее – SLAM) или параллельная локализация и отображение (далее – CML). Так как ошибка локализации влияет на качество карты и наоборот, ключевая проблема SLAM связана с неопределенностью положения робота и карты. Используют вероятностные методы для обновления знаний робота о его положении и окружающей среде. Были использованы два основных подхода к вероятностному моделированию: расширенный метод фильтрации Кальмана и фильтрация частиц. Оба подхода работают последовательно, распределения вероятности обновляются в так называемых этапах прогнозирования и измерения, которые соответствуют движению робота и датчику. Во время шага прогнозирования, который

соответствует движению робота, неопределенность в положении робота возрастает. Этап измерения обычно приводит к уменьшению неопределенности.

Расширенные методы фильтрации Калмана (далее – EKF) моделируют как местоположение робота, так и ориентир с помощью многомерных гауссовских распределений. В базовой версии SLAM мировая информация хранится в векторе, содержащем позиции робота и ориентира, и ковариационную матрицу этого вектора состояния. Каждый раз, когда робот перемещается или проводит измерение, изменяется вектор состояния и ковариационная матрица, которая описывает неопределенность положения робота. Как и в предыдущих методах, интенсивность вычислений возрастает с увеличением размера карты. Это особенно болезненно для наивных реализаций SLAM, где вычисление усиления Калмана при обновлении карты требует инвертирования ковариационной матрицы.

Было реализовано огромное количество методов SLAM, некоторые из которых сосредоточены на скорости, некоторые на точности или других аспектах. Визуальное отображение карт иногда рассматривалось как достаточное доказательство функциональности алгоритма. Расширение картографических алгоритмов до 3D дало визуально еще более лучшие результаты, а назначение и полезность создаваемых карт часто отходили на задний план. Наборы данных вроде, по-видимому, обеспечивают хорошее направление к возможности качественного сравнения одновременных методов локализации и картографирования. Методы SLAM, которые не разрешают закрытие цикла, подвергаются дрейфу и поэтому качественно сопоставимы с одометриями с точки зрения оценки глобального положения.

Прочный математический фон фильтра Калмана позволил исследовательскому сообществу построить достаточную теоретическую базу для SLAM на основе EKF. Сформулированы доказательства сходимости EKF и нижних границ на неопределенность положения робота.

К сожалению, оптимальность фильтра Калмана доказана только для линейных систем, и поэтому слабость методов EKF лежит в ошибках линеаризации. Из-за ошибок, допущенных при линеаризации, методы EKF могут

давать непоследовательные результаты. Процесс линеаризации создает серьезную угрозу для согласованности оценки положения робота. Однако основным недостатком фильтрации Калмана является то, что он может моделировать только унимодальные распределения вероятностей. Это серьезное ограничение, потому что робот не может поддерживать больше гипотез относительно своего положения и карты. Рассмотрим простую ситуацию, показанную на рисунке 1.2, где робот выполняет три шага предсказания, а затем определяет конкретный ориентир. Поскольку карта содержит два одинаковых ориентира, ЕКФ может обновляться двумя способами: либо учитывает вездесущую вездесущность (красная точка), либо рассматривает только более схожую ветку на этапе измерения.

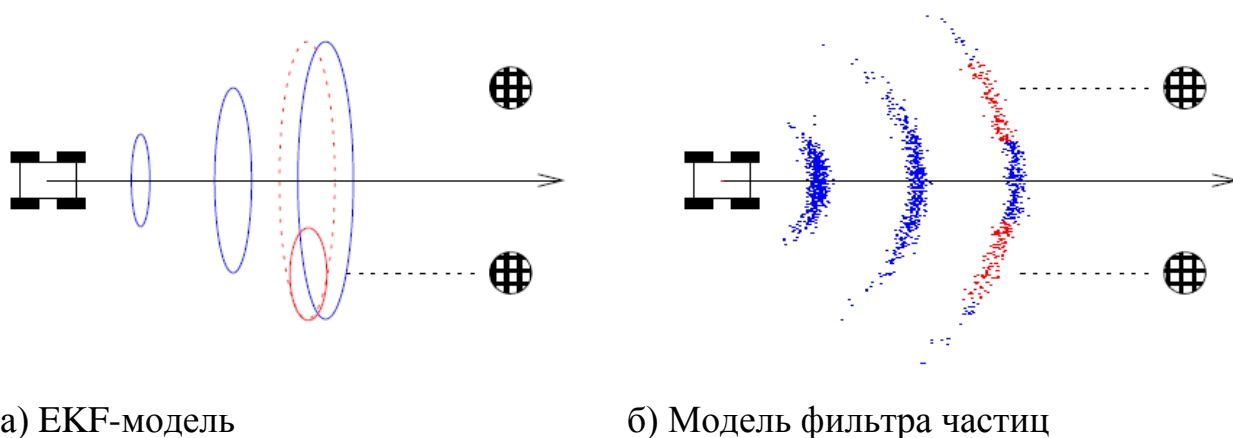


Рисунок 1.2 – Эволюция положения робота по модели ЕКФ и фильтр частиц

Это ограничение может быть преодолено путем фильтрации частиц. Идея фильтрации частиц возникла из области компьютерного зрения, где она использовалась для визуального слежения. Идея состоит в поддержании нескольких «частиц», каждый из которых имеет уникальную гипотезу о положении и карте робота. Плотность этих частиц соответствует распределению вероятности положения робота. Каждый раз, когда робот перемещается, частицы перемещаются и случайным образом искажаются в соответствии с моделью движения робота (это соответствует шагу прогнозирования). На этапе измерения сенсорные входы имитируются для каждой частицы и сравниваются с реальными измерениями. Основываясь на этом сравнении, частицы можно выбросить,

дублировать или оставить в покое. Основным недостатком фильтрации частиц является вычислительная сложность, так как для правильного моделирования неопределенности необходимо поддерживать большое количество частиц.

Теоретические решения только для подшипников SLAM приобрели большое значение, поскольку вычислительная мощность современных компьютеров позволяет обрабатывать изображения в реальном времени. Природа визуальной информации позволяет строить редкие карты из хорошо различимых наземных знаков, которые относительно легко регистрируются. Однако информация о диапазоне не предоставляется непосредственно стандартными камерами. Некоторые визуальные методы используют стереокамеры для получения информации на ближайшем расстоянии. Другие методы заменяют стереовидение движением и используют одиночную (монокулярную) камеру. Однако большинство монокулярных подходов являются сложными в вычислительном отношении и обеспечивают низкие рабочие скорости при отображении крупномасштабных сред. Эта проблема может быть решена путем деления большой глобальной карты на более мелкие карты с информацией о взаимном расположении.

1.6 Датчики мобильных роботов

Датчики – это устройства, которые позволяют извлекать знания об окружающем мире. Как правило, роботизированный датчик преобразует некоторую физическую величину в электрический сигнал, обрабатываемый вычислительными системами робота. Их можно разделить на проприоцептивные датчики, которые измеряют внутреннее состояние робота и экстероцептивные датчики, которые предоставляют информацию об окружающей среде. Однако это разделение не ясно, потому что некоторые датчики могут использоваться в двух направлениях. Например, акселерометр, который считается типичным проприоцептивным датчиком, может также использоваться для классификации местности.

1) Проприоцептивные датчики. Как уже отмечалось ранее, проприоцептивные датчики предоставляют роботу информацию, поступающую из его тела. Помимо встроенного аккумулятора, контроля температуры и тока, проприоцептивные датчики могут предоставить роботу информацию о скорости и ориентации. Наиболее широко используемыми интероцепторами являются акселерометры, гироскопы и энкодеры колесных валов.

2) Инерциальные единицы измерения. Акселерометр является инструментом для измерения ускорения в одном или нескольких направлениях. Его можно использовать либо для оценки скорости робота, либо для использования в качестве инклинометра. Одноосевой акселерометр в настоящее время является редкостью, наиболее распространенными являются акселерометры с тремя осями, которые измеряют ускорение в трех ортогональных направлениях. Первоначально гироскоп был устройством для поддержания ориентации, основанной на сохранении углового момента. Большинство современных гироскопов используют вибрационные элементы и принцип силы Кориолиса для оценки угловых скоростей транспортного средства. Как и в случае акселерометров, сегодняшние гироскопы входят в вариант с тремя осями, причем оси гироскопов выровнены ортогонально. Как правило, информация от трех осевых гироскопов и акселерометров сплавляется для оценки ускорения и ориентации транспортного средства. Интеллектуальное устройство, которое выполняет такой синтез, называется инерциальным измерительным блоком. Эти единицы обычно доступны на рынке, и их цена колеблется от десятков до тысяч евро в зависимости от их точности.

3) Кодированные колеса. Кодер вала колеса измеряет вращение двигателей или колес автомобиля. Хотя существуют датчики, которые измеряют абсолютный угол колеса, наиболее распространенным типом является инкрементный ротационный кодер (далее – IRC), который генерирует серию электрических импульсов при вращении колеса. Принцип работы IRC обычно основан на оптическом или магнитном эффекте (эффект Холла). Эти датчики дешевы, легко интегрируются, и многие из них уже встроены.

4) **Компас.** Компас – это инструмент, который обеспечивает стабильную информацию о направлении, обычно посредством измерения магнитного поля Земли. Электронные компасы основаны на принципах анизотропного магнетосопротивления или эффекта Холла и часто встраиваются как интегральные компоненты инерциальных единиц измерения. Недостатком магнитного компаса является относительная слабость магнитного поля Земли, которое легко затеняется локальными источниками магнитного поля. Кроме того, магнитное поле других небесных тел часто намного слабее, и магнитные измерения должны быть заменены другими принципами, например, отслеживание солнца. Тем не менее, магнитный компас является наиболее распространенным устройством измерения абсолютного курса мобильных роботов на Земле.

5) **Тактильный датчик.** Хотя тактильные датчики по-прежнему популярны, их использование в мобильных роботах ограничено. С теоретической точки зрения, осязания достаточно для перемещения по окружающей среде. Практически они могут использоваться в качестве датчиков последней инстанции, которые в случае столкновения выключают роботы–двигатели, чтобы минимизировать ущерб. Их недостаток заключается в том, что, кроме дорогостоящих искусственных кожных растворов, датчики не могут покрывать весь корпус робота.

6) **Ультразвуковой дальномер.** Ультразвуковые дальномеры (или гидролокаторы) были одним из самых популярных мобильных датчиков робототехники в девяностых годах. Ультразвуковой дальномер состоит из передатчика, который испускает взрыв звуковых волн и приемник, который принимает волны, отраженные отдаленными объектами. Измеряя время между передачей и приемом сигнала, можно измерить расстояние от потенциального препятствия. Однако скорость звука зависит от температуры, давления и влажности среды, через которую он проходит. Многие материалы, например ткани, поглощают звуковые волны и, следовательно, их трудно обнаружить с помощью гидролокатора. Напротив, объекты с гладкими поверхностями могут отражать звуковые волны от приемника. Распространены также случаи, когда

ультразвуковой сигнал несколько раз отражается до достижения приемника. Поскольку звуковой сигнал не имеет узкой направленности, точное положение препятствия неизвестно. Это несколько ограничивает использование гидролокатора для локализации и картирования, но является преимущественным для предотвращения столкновения.

7) Инфракрасные дальномеры. В отличие от гидролокаторов, большинство инфракрасных (далее – ИК) дальномеров не измеряют время пролета передаваемой инфракрасной волны, а скорее используют принцип триангуляции или просто измеряют интенсивность отраженного сигнала. Существенным преимуществом инфракрасного приемопередатчика является то, что он также может использоваться для связи между роботами малого радиуса действия, что полезно для применений с несколькими роботами и роботизированных роев. Одним из самых популярных инфракрасных дальномеров является серия SHARP GP2DX, которая передает узкий инфракрасный луч и обнаруживает его с помощью линейной камеры. В зависимости от конкретного типа, он достигает дальности до 6 метров с точностью около 5%. Его недостатком является то, что его (аналоговые) выходные характеристики являются нелинейными, и сам принцип триангуляции вызывает мертвую зону вблизи датчиков. Кроме того, его чувствительность на больших расстояниях влияет отражающий материал, и датчик имеет проблемы в средах с более высокими температурами. Тем не менее, низкая цена ИК дальномеров делает их популярным выбором для небольших роботов.

8) Лазерные дальномеры. Лазерный дальномер, иногда называемый LIDAR, работает по принципу, аналогичному гидролокационному. Он передает вспышки света и, измеряя время их полета, устанавливается расстояние до других объектов. Современные дальномеры используют вращающийся или широкий лазерный луч и обеспечивают серию (обычно сотни) измерений расстояния в секунду. Тот факт, что все эти измерения лежат в одной плоскости, делает их особенно полезными для внутренних применений, когда плоскость сканирования параллельна полу. Их диапазон, точность и надежность сделали их популярным

выбором для многих мобильных исследовательских групп по робототехнике, которые продемонстрировали полезность дальномера для построения 2D–карт.

Датчики дальности также используются на открытом воздухе, чтобы получить обзор окружающей среды перед роботом. В этом случае необходимо получить трехмерную информацию. Для этого 2D дальномер можно наклонить вниз в фиксированном положении. Альтернативным способом является управление шагом дальномера с помощью сервомотора или отражением его лучей с помощью подвижного зеркала. Можно также использовать коммерческий 3D–лазерный сканер для интеллектуальных транспортных средств или гражданского строительства.

Один из самых популярных 2D лазерных дальномеров для более крупных роботизированных платформ – SICK LMS, который предлагает дальность до 80 м, точность до 1 мм и обеспечивает 361 измерений с полем зрения 180°. Недостатком этих лазерных дальномеров являются его размеры, вес и цена. Хотя миниатюрные версии лазерных дальномеров, такие как URG 04 LX, обеспечивают 728 измерений с полем зрения 240° и максимальным диапазоном 4 м, существуют и используются в небольших роботах, их цена также высока.

Недостаток лазерных дальномеров связан с тем, что они работают в схожих спектрах, как человеческий глаз. Это означает, что в не идеальных погодных условиях, таких как туман, дождь и снег, лазерные дальномеры не могут предоставить значимые данные. Поэтому, если LIDAR входит в состав некоторой критически важной системы, например это автономный автомобиль, то, скорее всего, потерпит неудачу при тех же условиях, что и человек.

1.7 Фотокамеры

Цифровая камера предоставляет данные, которые близки к тому, как люди воспринимают мир. Достижения в области электроники позволили не только миниатюризировать саму камеру, но и вычислительное оборудование, необходимое для обработки данных, которые предоставляет камера. Область

понимания изображений – одна из самых быстрорастущих областей информатики, и в ней есть много методов интеллектуальной обработки изображений. Таким образом, если кто-то решит основывать восприятие робота на машинное зрение, в его распоряжении будет необходимое аппаратное и программное обеспечение. Некоторые камеры даже встраивают платы с микроконтроллерами, цифровыми сигнальными процессорами и программируемыми вентиляемыми матрицами, которые позволяют запускать дополнительные алгоритмы обработки изображений внутри них и сообщать только о желаемых результатах.

Недостаток камеры лежит в ее пассивной природе – она не работает в условиях, когда недостаточно света или слишком много света. Кроме того, свойства стандартных камер по-прежнему намного хуже, чем у человеческого глаза. Нужно понимать, что речь идет не только об оптических характеристиках, например светочувствительность, но также и способность сетчатки глаза выполнять высокопараллелизованное обнаружение признаков изображения. Кроме того, камера не обеспечивает глубину сцены, которая в необходимых случаях должна восстанавливаться путем комплексной обработки данных. Однако на рынке доступно множество камер с различными свойствами, и хотя они предоставляют больше данных об окружающей среде, их цена сравнима с ценой сонаров и инфракрасных дальномеров.

1.7.1 Трехмерные камеры

Трехмерная камера – это устройство, которое снимает основное ограничение стандартной камеры и обеспечивает глубину сцены. Большинство коммерчески доступные 3D-камеры содержат процессоры, которые вычисляют глубину воспринимаемой сцены. В принципе, мы можем выделить три типа 3D-камер: системы времени пролета, структурированного света и стереокамеры.

Камера времени пролета работает аналогично лазерному дальномеру — она передает (обычно инфракрасный) свет на сцену и измеряет время, которое требуется для возврата к приемнику камеры. Основное отличие между камерой

времени полета и LIDAR заключается в том, что время полета захватывает всю сцену сразу, а не сканирует ее по точкам.

Выводы по разделу один:

В последнее время робототехника переросла в развитую отрасль промышленности: большая часть роботов работают на различных предприятиях, покорение космоса опирается на широкое использование роботов с различным уровнем интеллекта. Особое внимание уделяется автоматизации тяжелых, утомительных и монотонных работ в различных отраслях с помощью роботоманипуляторов.

2 СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

2.1 Навигационный метод

Предлагаемый метод навигации основан на следующих предположениях:

- среда робота считается двухмерной плоскостью;
- карта уже существует в виде последовательно соединенных линейных сегментов с ориентиром;
- робот способен распознавать и связывать непустое подмножество картографических ориентиров и определять их осанку;
- робот может (неточно) измерить пройденное расстояние посредством одометрии;
- экстероцептор имеет ограниченное поле зрения и направлен в направлении движения робота.

Пусть путь P состоит из последовательности линейных отрезков p_i . Робот движется по плоскости, то есть его положение равно (x, y, φ) , а скорости переднего хода и поворота составляют v и ω соответственно. Робот, который используется в данной дипломной работе, имеет дифференциальный, неголономный привод, и поэтому $\dot{x} = v \cos(\varphi)$ $\dot{y} = v \sin(\varphi)$. Для каждого сегмента карты p_i существует непустое подмножество ориентиров для его обхода и отображение между положением робота внутри сегмента и ожидаемым отношением каждого ориентира. В начале каждого сегмента робот сбрасывает свой счетчик одометрии и поворачивается примерно к концу сегмента, чтобы ощутить хотя бы один из ориентиров сегмента. Он устанавливает соответствия видимых и нанесенных на карту ориентиров и вычисляет различия в ожидаемых и признанных ориентирах. Робот задается в направлении, которое уменьшает эти различия при движении вперед до тех пор, пока его одометрия не покажет, что текущий сегмент пройден.

Определение 1 (свойство навигации по замкнутому пути). Предположим, что робот использует карту окружения только для корректировки курса, а измерение расстояния по одометрии несколько раз перемещает замкнутый контур. Тогда путь, к которому привязана неопределенность местоположения робота в любой точке, имеет свойство навигации по замкнутому пути.

Теорема 1. Путь, состоящий из нескольких соединенных неколлинеарных сегментов, сохраняет свойство навигации по замкнутому пути, если выполнены условия, которые представлены выше.

2.2 Геометрическая интерпретация

Предположим, что данный путь является квадратом, и робот должен неоднократно перемещаться. Робот размещен в случайном (2D гауссовском распределении с нулевым средним) положении около начала первого сегмента. Поэтому неопределенность исходной позиции может быть отображена как окружность, в которой робот найден с некоторой вероятностью. Метод навигации включен, и робот начинает двигаться по первому сегменту. Поскольку он воспринимает ориентиры вдоль сегмента и корректирует его заголовок, отклонение его боковой позиции уменьшается. Однако из-за ошибки одометра увеличивается ошибка продольного положения. Поэтому в конце сегмента круг, обозначающий неопределенность положения, становится эллипсом с более короткой осью, перпендикулярной сегменту. Эффект корректировки заголовка зависит от бокового отклонения, чем больше отклонение, тем сильнее эффект корректировки заголовка, и поэтому боковая ошибка уменьшается на определенный коэффициент для каждого пройденного сегмента. Ошибка одометрии не зависит от текущего отклонения положения и зависит только от длины пройденного сегмента. В нашем случае каждый сегмент имеет одинаковую длину, и мы можем смоделировать ошибку одометрии с помощью аддитивной постоянной o .

После прохождения сегмента робот поворачивается на 90° и начинает двигаться по второму сегменту. Неопределенность снова меняется, но из-за изменения направления длинная ось эллипса сжимается, а более короткая удлиняется из-за ошибки одометрии. Поскольку это повторяется для каждого пройденного сегмента, размер эллипса неопределенности может сходиться к конечному значению. Так как эта конкретная траектория симметрична, мы можем легко вычислить каждый размер эллипса и посмотреть, стабилизируются ли эти значения. Определим более длинную и короткую полуоси i -го эллипса как a_i и b_i соответственно и установим уравнения

$$\begin{aligned} a_{i+1} &= b_i + o, \\ b_{i+1} &= a_i h, \end{aligned} \quad (1)$$

где h – коэффициент уменьшения боковых ошибок;

o – одометрическая ошибка ($o = 1, h = 0,25$).

Уравнение (1) представляет собой влияние коррекции курса, которое уменьшает боковую неопределенность с помощью коэффициента h и измерения одометрии, что увеличивает продольную ошибку на фиксированное значение o . Переписывая уравнения (1), получим

$$\begin{aligned} a_{i+2} &= a_i h + o, \\ b_{i+2} &= h(b_i + o) \end{aligned} \quad (2)$$

Если коэффициент уменьшения неопределенности боковой позиции h ниже единицы, то $a_\infty = \lim_{i \rightarrow \infty} a_i$ и $b_\infty = \lim_{i \rightarrow \infty} b_i$ существуют и получаются из

$$\begin{aligned} a_\infty &= \frac{o}{(1-h)}, \\ b_\infty &= \frac{ho}{(1-h)} \end{aligned} \quad (3)$$

Это означает, что по мере того, как робот многократно перемещается по указанному пути, размеры эллипса, характеризующие неопределенность положения робота, сходятся к a_∞ и b_∞ . Заметим, что a_∞ и b_∞ не зависят от неопределенности исходной позиции и существование конечного решения уравнения (2) не зависит от конкретного значения ошибки о одометрии. Несмотря на полезность, этот конкретный симметричный случай дает нам лишь базовое понимание проблемы.

2.3 Движение вдоль одного сегмента

Сначала рассмотрим, как робот движется по одному прямому сегменту. Мы сосредоточимся на позиции до и после пересечения одного сегмента и установим сопоставление с ошибкой позиции робота в начале сегмента на ошибку местоположения робота на конце сегмента.

Нашим первым шагом является создание модели, которая аппроксимирует движение робота по одному отрезку пути. Чтобы модель была простой, мы предполагаем, что робот, а также ориентиры расположены в плоскости. Рассмотрим карту, состоящую из одного сегмента длины s с d ориентирами, с позициями, представленными в виде векторов u_i . Так как робот оснащен датчиком прямого хода подшипника, предполагаемые ориентировочные позиции не предполагаются равномерно распределенными вдоль пути, а скорее сдвинуты в направлении.

Движения робота на расстояние ρ можно считать, что

$$\rho \approx \frac{1}{d} \sum_{i=0}^{d-1} u_{ix}, \quad (4)$$

где d – количество назначенных ориентиров.

Поместим начало сегмента в начало координат и конец сегмента в позиции $[s, 0]^T$. Мы обозначаем положение робота перед обходом сегмента как

$a = [a_x, a_y]^T$ и конечное положение робота как $b = [b_x, b_y]^T$, (рисунок 2.1). Предположим, что в каждый момент прохождения сегмента робот распознает непустое подмножество W ранее нанесенных на карту ориентиров и головок примерно в центр, обозначенное w . Когда робот находится в начале сегмента, среднее положение видимых ориентиров w равно приблизительно $[\rho, 0]^T$. Когда робот пересекает сегмент, он теряет из виду соседние ориентиры и узнает новые. Как новые, более отдаленные ориентиры появляются в работе.

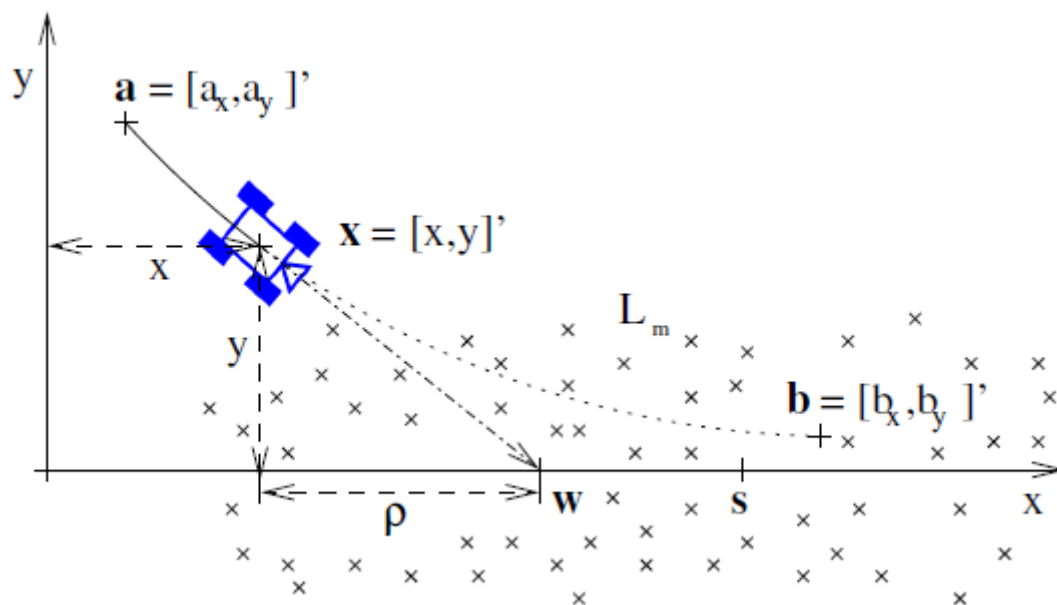


Рисунок 2.1 – Модель навигации для одного сегмента

Вид и близлежащие ориентиры исчезают, множество W меняется, и его центроид w перемещается по сегменту. Можно предположить, что w движется приблизительно с той же скоростью, что и робот, то есть $w \approx [\rho + x, 0]^T$, где x относится к положению робота.

Основываясь на этих предположениях, можно определить положение робота $[x, y]^T$ в терминах $y = f(x)$. Движение робота характеризуется следующим дифференциальным уравнением

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\rho}{-y} \quad (5)$$

Решение (5) дает нам траекторию, по которой движется робот:

$$y = ce^{\frac{-x}{\rho}} \quad (6)$$

Рассматривая граничное условие $a_y = f(a_x)$ константа c равна

$$c = \frac{a_y}{e^{\frac{-a_x}{\rho}}} \quad (7)$$

Принимая во внимание, что расстояние между воспринимаемыми ориентирами выше, чем неопределенность положения робота (то есть $|\rho| \gg |a_x|$), константа c приблизительно равна a_y , и мы можем переписать уравнение (6).

$$y = a_y e^{\frac{-s}{\rho}} \quad (8)$$

Подставляя длину отрезка s в x в уравнение (8), можно вычислить робота в поперечном направлении перемещение после прохождения всего сегмента. Предполагая, что длина сегмента карты выше, чем начальное боковое смещение робота (то есть $s \gg |a_y|$), пройденное расстояние робот в направлении сегмента равен приблизительно длине сегмента s . Поэтому мы можем оценить положение робота после прохождения сегмента длины s по уравнению

$$\begin{aligned} b_x &= a_x + s, \\ b_y &= a_y e^{\frac{-s}{\rho}} \end{aligned} \quad (9)$$

Мы можем переписать уравнение (9) в матричную форму

$$\begin{pmatrix} b_x \\ b_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{-s}{\rho}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s \\ 0 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Это справедливо для безошибочной одометрии. Если ошибка одометрии моделируется как мультипликативная неопределенность, уравнение (10) изменяется на

$$\begin{pmatrix} b_x \\ b_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{-s}{\rho}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s + sv \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где v – случайная величина, полученная из гауссовского распределения с нулевым средним и дисперсией c .

Мы также должны рассмотреть шум датчика курса ξ и изменить уравнение (11) на

$$\begin{pmatrix} b_x \\ b_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{\frac{-s}{\rho}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s + sv \\ \xi \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где ξ – случайная величина, полученная из гауссовского распределения с нулевым средним и дисперсией τ .

Консолидируя предыдущее уравнение (12), мы можем утверждать

$$b = Ma + s, \quad (13)$$

где $s = (s + sv, \xi)^T$, эта модель движения выполняется для сегмента, выровненного по оси x .

Для сегмента с азимутом α , уравнение (13) должно быть применено во вращающейся системе координат:

$$b = R^T(MRa + s) \quad (14)$$

Уравнение (14) поворачивает систему координат таким образом, что сегмент с азимутом α является параллельным с осью x , применяет корректировку

курса M и сдвиг s и поворачивает систему координат назад, так что сегмент сохраняет свое исходное направление α . В следующем тексте мы определяем $N = R^T M R$, что сокращает уравнение (14) до

$$b = Na + R^T s, \quad (15)$$

где

$$R = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-\frac{s}{\rho}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & m \end{pmatrix} \quad (15.1)$$

Наиболее важным свойством модели движения является то, что элемент m матрицы M меньше единицы. Все вышеупомянутые предположения об окружающей среде (ориентировочный сдвиг, равный ρ , $\rho \gg |ax|$ и так далее) Могут быть ослаблены до тех пор, пока $m < 1$ для $s > 0$.

Это означает, что представленное доказательство не ограничивается ориентирными навигационными методами. Например, рассмотрим робота, который использует реактивный алгоритм, чтобы держать себя посередине прямого пути или коридора. Как правило, чем больше робот смещается от продольной оси пути, тем больше изменяется его курс, чтобы устранить перемещение. Помещая ось x системы координат по продольной оси пути, и считая, что φ мало, мы можем утверждать, что

$$\frac{dy}{dx} \approx \varphi \approx -\iota y, \quad (16)$$

где φ – заголовок робота;

ι – положительная константа.

Если мы подставим $\iota = \rho - 1$, получим уравнение (5), что означает, что приведенное доказательство справедливо и для вышеупомянутых реактивных методов.

2.4 Неопределенность положения

Теперь можно установить зависимость неопределенности положения робота на конце сегмента от его неопределенности в начале сегмента. Учтите, что положение робота a перед обходом сегмента является случайной величиной с двумерным нормальным распределением со средним \hat{a} и ковариационной матрицей A . Для вычисления неопределенности положения робота после обхода сегмента мы применяем уравнение (15) к a . Поскольку модель движения робота в уравнении (15) имеет только линейные и абсолютные условия, неопределенность положения робота после обхода сегмента будет представлять собой нормальное распределение со средним значением b и ковариационной матрицей B .

Обозначим $a = \hat{a} + \tilde{a}$, где \hat{a} – среднее a , и \tilde{a} – случайная величина нормального распределения с нулевым средним и ковариацией A . Аналогично можно обозначить $b = \hat{b} + \tilde{b}$ и $s = \hat{s} + \tilde{s}$. Учитывая, что отрезок начинается с a , уравнение (14) принимает вид

$$b = \hat{b} + \tilde{b} = R^T M R (a - \hat{a}) + R^T (\hat{s} + \tilde{s}) + \hat{a}, \quad (17)$$

который соответствует перемещению начала сегмента в начало координат, используя уравнение (14) и переводя результат обратно. Поскольку мы заботимся о неопределенности положения, а не о самой позиции, мы перепишем уравнение (17) в виде

$$\tilde{b} = R^T M R \tilde{a} + R^T (\hat{s} + \tilde{s}) + \hat{a} - \hat{b} \quad (18)$$

Поскольку \hat{b} и \hat{a} соответствуют концу сегмента и начинаются соответственно, $\hat{b} = \hat{a} + R^T \hat{s}$, и мы можем сократить уравнение (18) до

$$\tilde{\mathbf{b}} = \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \tilde{\mathbf{a}} + \mathbf{R}^T \tilde{\boldsymbol{\zeta}} \quad (19)$$

Чтобы установить ковариационную матрицу $\tilde{\mathbf{b}}$, мы можем применить оператор ожидания следующим образом:

$$\mathbf{B} = \mathbb{E}[\tilde{\mathbf{b}}\tilde{\mathbf{b}}^T] = \mathbb{E}[(\mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \tilde{\mathbf{a}} + \mathbf{R}^T \tilde{\boldsymbol{\zeta}})(\mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \tilde{\mathbf{a}} + \mathbf{R}^T \tilde{\boldsymbol{\zeta}})^T] \quad (20)$$

Расширяя правую часть уравнения (20), получим

$$\mathbf{B} = \mathbb{E}[\mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \tilde{\mathbf{a}} \tilde{\mathbf{a}}^T \mathbf{R}^T \mathbf{M}^T \mathbf{R}] + \mathbb{E}[\mathbf{R}^T \tilde{\boldsymbol{\zeta}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T \mathbf{R}^T \mathbf{M}^T \mathbf{R}] + \mathbb{E}[\mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \tilde{\mathbf{a}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T \mathbf{R}] + \mathbb{E}[\mathbf{R}^T \tilde{\boldsymbol{\zeta}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T \mathbf{R}] \quad (21)$$

Так как матрицы \mathbf{R} и \mathbf{M} постоянны, мы можем переписать уравнение (21) как

$$\mathbf{B} = \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \mathbb{E}[\tilde{\mathbf{a}} \tilde{\mathbf{a}}^T] \mathbf{R}^T \mathbf{M}^T \mathbf{R} + \mathbf{R}^T \mathbb{E}[\tilde{\boldsymbol{\zeta}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T] \mathbf{R}^T \mathbf{M}^T \mathbf{R} + \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \mathbb{E}[\tilde{\mathbf{a}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T] \mathbf{R} + \mathbf{R}^T \mathbb{E}[\tilde{\boldsymbol{\zeta}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T] \mathbf{R} \quad (22)$$

Так как векторы $\tilde{\boldsymbol{\zeta}}$ и $\tilde{\mathbf{a}}$, характеризующие шум датчика и ошибку начального положения, независимые и некоррелированные, выражения $\mathbb{E}[\tilde{\mathbf{a}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T]$ и $\mathbb{E}[\tilde{\boldsymbol{\zeta}} \tilde{\mathbf{a}}^T]$ являются нулевыми матрицами. Это позволяет упростить уравнение (22) как

$$\mathbf{B} = \mathbf{R}^T \mathbf{M} \mathbf{R} \mathbf{A} \mathbf{R}^T \mathbf{M}^T \mathbf{R} + \mathbf{R}^T \mathbf{S} \mathbf{R}, \quad (23)$$

где \mathbf{S} – матрица, характеризующая одометрию и шум камеры:

$$\mathbf{S} = \mathbb{E}[\tilde{\boldsymbol{\zeta}} \tilde{\boldsymbol{\zeta}}^T] = \begin{pmatrix} s^2 \epsilon^2 & 0 \\ 0 & \tau^2 \end{pmatrix} \quad (23.1)$$

Уравнение (23) позволяет вычислить неопределенность положения робота после прохождения одного сегмента.

2.5 Обход нескольких сегментов

Рассмотрим путь, состоящий из n цепных сегментов, обозначаемых $i \in \{0, \dots, n - 1\}$, причем конец последнего сегмента равен началу первого сегмента, то есть рассматриваемый путь закрыт. Обозначим длину и ориентацию i -го сегмента как s_i и α_i соответственно. Позиции робота до и после пересечения i -го сегмента обозначаются как a_i и b_i соответственно. Поскольку положение робота в конце i -го сегмента равно его начальному положению на сегменте $i + 1$, можно утверждать, что $a_{i+1} = b_i$.

Модель неопределенности положения, полученная из уравнения (23) для i -го пройденного сегмента, равна

$$A_{i+1} = B_i = R_i^T M_i R_i A_i R_i^T M_i^T R_i + R_i^T S_i R_i \quad (24)$$

Рассматривая $N_i = R_i^T M_i R_i$ и определяя $T_i = R_i^T S_i R_i$, мы можем переписать уравнение (24) в виде

$$A_{i+1} = N_i A_i N_i^T + T_i \quad (25)$$

Можно вычислить неопределенность положения робота в терминах ковариационной матрицы после перемещения i сегментов пути в следующих терминах:

$$A_i = \left(\prod_{j=i-1}^0 N_j \right) A_0 \left(\prod_{j=0}^{i-1} N_j^T \right) + \sum_{j=0}^{i-1} \left(\left(\prod_{k=i-1}^0 N_k \right) N_j^{-1} T_j \left(N_j^T \right)^{-1} \left(\prod_{k=j}^{i-1} N_k^T \right) \right) \quad (26)$$

Чтобы изучить, как изменяется неопределенность положения робота после того, как робот проедет весь путь, состоящий из n сегментов, обозначим

$$\check{N} = \prod_{j=i-1}^0 N_j, \quad (27)$$

а также

$$\check{T} = \sum_{j=0}^{n-1} \left(\left(\prod_{k=n-1}^j N_k \right) N_j^{-1} T_j (N_j^T)^{-1} \left(\prod_{k=j}^{n-1} N_k^T \right) \right), \quad (28)$$

и перепишем уравнение (26) в виде

$$A_n = \check{N} A_0 \check{N}^T + \check{T} \quad (29)$$

Определим $C_m = A_{mn}$ и модифицируем уравнение (29) как

$$C_1 = \check{N} C_0 \check{N}^T + \check{T} \quad (30)$$

Мы можем выразить изменение неопределенности положения робота после того, как он пройдет весь путь, как:

$$C_{i+1} = \check{N} C_i \check{N}^T + \check{T} \quad (31)$$

Доказывая, что C_i сходится к конечной матрице при возрастании i до бесконечности, докажем теорему 1.

2.6 Условия сходимости

Выражение (29) является дискретным матричным уравнением Ляпунова. Если все собственные значения \check{N} лежат внутри единичной окружности и \check{T} является симметричной и положительно-полуопределенной, то $\lim_{i \rightarrow \infty} C_i$ конечна и равна C_∞ , которая может быть получена путем решения

$$C_\infty = \check{N} C_\infty \check{N}^T + \check{T} \quad (32)$$

Определим симметричность и положительно-полуопределенную матрицу \check{T} . Сначала рассмотрим симметричность матрицы \check{T} , определенную в уравнении (24). Так как матрица S_i построена как диагональная, $T_i = R_i^T S_i R_i$ симметрична. Произведение $X T_i X^T$ симметрично для любого X и, следовательно, все слагаемые в уравнении (28) симметричны. Сложение сохраняет симметрию и, следовательно, матрица

$$\check{T} = \sum_{j=0}^{n-1} \left(\left(\prod_{k=n-1}^j N_k \right) N_j^{-1} T_j (N_j^T)^{-1} \left(\prod_{k=j}^{n-1} N_k^T \right) \right), \quad (33)$$

является симметричным. Положительно-полуфинитная симметрия \check{T} доказывается аналогично симметричности.

Чтобы доказать, что собственные значения \check{N} лежат в единичной окружности, мы используем положительность и симметричность матрицы M_i . Поскольку каждый N_i равен $R_i^T M_i R_i$, его собственные значения такие же, как у диагональной матрицы M_i , а собственные векторы являются столбцами R_i . Собственные значения N_i поэтому соответствуют одному и $e^{-s_i/\rho}$, которые являются положительными числами. Поэтому матрица N_i положительно определена и симметрична. Так как произведение положительно определенной матрицы и симметричной положительно определенной матрицы положительно определено, то матрица $\check{N} = N_{n-1} N_{n-2} \dots N_0$ положительно определена. Более того, максимальное собственное значение произведения $X Y$ меньше или равно $x u$, где x и u являются доминирующими собственными значениями X и Y . Так как доминирующее собственное значение каждого N_i равно единице, все собственные значения \check{N} меньше или равны единице. Доминирующее собственное значение $\check{N} = N_{n-1} N_{n-2} \dots N_0$ равно единице, только если все собственные значения его частичных произведений $N_{n+1} N_i$ равны единице. Другими словами, доминантное собственное значение \check{N} равно единице тогда и только тогда, когда доминирующие собственные значения произведений $N_{n+1} N_i$ равны единице для всех $i \in$

$\{0, 1, \dots, n - 2\}$. Условия, удовлетворяющие условию, что собственные значения любого произведения $N_{n+1}N_i$ ниже единицы, обеспечивают существование конечного решения уравнения (32). Чтобы поддержать теорему 1, мы должны найти эти условия.

2.7 Доказательство сходимости

Мы будем использовать тот факт, что произведение собственных значений матрицы равно определителю матрицы, а сумма собственных значений равна матричной трассе. Обозначим собственные числа матрицы произведения $N_{n+1}N_i$ как λ_0, λ_1 и меньшее собственное значение N_i как n_i ($n_i = e^{\frac{-s_i}{\rho}}$). Для удобства обозначим $j = i + 1$. Так как $\det N_i = 1$, $n_i = n_j$,

$$\det(N_j N_i) = \det N_j \det N_i = n_i n_j = \lambda_0 \lambda_1 \quad (34)$$

Поскольку $\lambda_{0,1} \in \langle 0, 1 \rangle$, мы можем утверждать, что

$$(1 - \lambda_0)(1 - \lambda_1) \geq 0, \quad (35)$$

и поэтому

$$\lambda_0 \lambda_1 - \lambda_0 - \lambda_1 + 1 \geq 0, \quad (36)$$

комбинируя (34) и (36), получим

$$1 + n_i n_j \geq \lambda_0 + \lambda_1 \quad (37)$$

Считая, что сумма собственных значений равна матричной трассе, получим

$$\text{trace}(N_j N_i) \leq 1 + n_i n_j, \quad (38)$$

поскольку $N_i = R_i^T M_i R_i$, мы можем разложить (38) до

$$\text{trace}(R_j^T M_j R_j R_i^T M_i R_i) \leq 1 + n_i n_j, \quad (39)$$

поскольку $\text{trace}(AB) = \text{trace}(BA)$, перепишем (39) в виде

$$\text{trace}(M_j (R_i R_j^T)^T M_i R_i R_j^T) \leq 1 + n_i n_j \quad (40)$$

Матрицы R_i и R_j представляют вращения. Матрица R_i обозначает поворот на угол α_i , а R_j обозначает поворот на угол α_j , а их произведение $R_i R_j^T$ обозначает вращение на $\alpha_i - \alpha_j$. Если обозначить разность между этими углами как β ($\beta = \alpha_i - \alpha_j$) и матрицу, представляющую поворот на β при $R_{ij} = R_i R_j^T$, то уравнение (40) можно переписать в виде

$$\text{trace}(M_j R_{ij}^T M_i R_{ij}) \leq 1 + n_i n_j \quad (41)$$

Разлагая матрицы $M_j R_{ij}^T$, получаем

$$M_j R_{ij}^T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -n_j \sin \alpha & n_j \cos \alpha \end{pmatrix} \quad \text{и} \quad M_i R_{ij}^T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -n_i \sin \alpha & n_i \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (41.1)$$

Неравенство (41) можно переписать в виде

$$(1 + n_i n_j) \cos^2 \beta + (n_i + n_j) \sin^2 \beta \leq 1 + n_i n_j, \quad (42)$$

и далее сводится к

$$1 + n_i n_j - (1 - n_i - n_j + n_i n_j) \sin^2 \beta \leq 1 + n_i n_j \quad (43)$$

Наконец, получим

$$(1 - n_i)(1 - n_j) \sin^2 \beta \geq 0 \quad (44)$$

Поскольку $n_i = e^{\frac{-s_i}{\rho}}$ и, следовательно, $n_i \in (0, 1)$ и $n_j \in (0, 1)$, неравенство (44) строгое для $\sin \beta \neq 0$. Отсюда следует, что неравенство (35), что означает, что и λ_0 , и λ_1 меньше единицы. Следовательно, оба собственных значения произведения матриц $N_i N_j$ меньше единицы, если $\beta \neq \pi |n \in \mathbb{N}$. Следовательно, матрица \check{N} имеет собственное доминирующее значение, равное единице, только если все соединенные сегменты пути коллинеарны. Другими словами, спектральный радиус \check{N} меньше единицы, если путь обучения не является простой прямой. Так как все собственные значения \check{N} лежат в единичной окружности и \check{T} симметрично, ковариационная матрица C_∞ , обозначающая неопределенность положения робота в начале первого сегмента пути, конечна и может быть получена путем решения алгебраического уравнения

$$C_\infty = \check{N} C_\infty \check{N}^T + \check{T}. \quad (45)$$

Выводы по разделу два:

Мы установили уравнения (14), описывающие движение робота, оборудованного ориентировочным навигационным методом, который использует экстерочувствительное зондирование только для коррекции заголовка робота. Это позволило изучить эволюцию неопределенности положения робота, когда она проходит через известную среду. Изменяя уравнение (24) на замкнутые траектории, можно переписать его как дискретное уравнение Ляпунова (45)

3 ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

3.1 Режим отображения

На этапе сопоставления робот вручную управляется через среду в режиме поворота и создает карту, состоящую из нескольких прямых сегментов. Оператор может либо позволить роботу идти вперед, либо остановить его, и повернуть его в нужном направлении. Во время движения вперед робот отслеживает функции изображения камеры и фиксирует свои позиции на карте местности (местный сегмент). Когда робот останавливается, он сохраняет карту ориентиров и ждет, пока оператор повернет ее в нужном направлении и возобновит движение вперед, чтобы отобразить другой сегмент. Процедура, которая создает карту одного сегмента, описана на рисунке 3.1.

Algorithm 1: Изучение одного сегмента

Input: α – initial robot orientation (compass value)

Output: (α, s, L) – associated data to segment, where s is traveled distance and L is set of landmarks, a landmark is tuple (k, e, u, v, f, g) , where g is a SURF descriptor, k is counter of feature detection, u and v is position of feature in the image (at the moment of first, resp. last occurrence), f and g denote distance from segment start according to u , resp. v .

```
L ← ∅ // множество узнаваемых ориентиров
T ← ∅ // множество узнаваемых ориентиров
 $\alpha$  ← compass value // ориентация робота в начале отображения сегмента
repeat
   $\bar{d}$  ← current traveled distance from the segment start
  S ← extracted features,  $(u, e) \in S$ ,  $u$  position,  $e$  feature descriptor
  foreach  $t_i = (e_i, k_i, u_i, v_i, f_i, g_i) \in T$  do
     $(u_a, e_a) \leftarrow \text{argmin}\{||e_i, e(s)|| \mid s \in S\}$  // выбрать наиболее подходящий
    дескриптор от S до e
     $(u_b, e_b) \leftarrow \text{argmin}\{||e_i, e(s)|| \mid s \in S \setminus \{(u_a, e_a)\}\}$  // выбрать следующий наиболее
    подходящий дескриптор
    if  $||e_i, e_a)|| \leq ||e_i, e_b)||$  then
       $t_i \leftarrow (e_i, k_i + 1, u_i, u_a, f_i, d)$  // обновить соответствующий ориентир
      S ← S  $\setminus \{(u_a, e_a)\}$  // удалить сопоставленную функцию из текущего
      набора обнаруженных функций
    else
      T ← T  $\cup \{t_i\}$  // удалить  $t_i$  из набора отслеживаемых ориентиров
      L ← L  $\cup \{t_i\}$  // добавить  $t_i$  к набору узнаваемых ориентиров
  foreach  $(u, e) \in S$  do
    T ← T  $\cup \{(e, 1, u, u, \bar{d}, \bar{d})\}$  // добавить новую функцию в набор отслеживаемых ориентиров
until robot is in the mapping mode
 $\bar{g} \leftarrow \bar{d}$  // общее пройденное расстояние по сегменту
L ← L  $\cup$  T // добавить текущие ориентиры к известным ориентирам
```

Рисунок 3.1 – Алгоритм карты одного сегмента

Прежде чем робот начнет изучать сегмент, он сбрасывает свои счетчики одометра и считывает данные компаса, чтобы установить α . После этого робот начинает двигаться вперед и непрерывно отслеживает, обнаруженные функции, и помещает их на карту L ориентира, пока оператор не потребует остановки. Алгоритм отображения может быть описан посредством манипуляции с тремя наборами ориентиров: обнаруженные в данный момент ориентиры S , ориентиры, которые нужно отслеживать, и карты наземных ориентиров L . Набор S изменяется каждый раз при обработке нового изображения. Для каждого отслеживаемого в данный момент ориентира t_i (из набора отслеживаемых ориентиров T) найдены два лучших соответствия (посредством их описательного евклидова расстояния) из набора S . Если одна из пар значительно больше похожа на другую, то обновляется отслеживаемое ориентирное t_i – описание (значения k, v, g), и лучший совпадающий признак удаляется из S . Если нет, ориентир t_i перемещается из набора T на множество L . Оставшиеся элементы в наборе S добавляются к набору отслеживаемых ориентиров T , их значения f, g устанавливаются на текущее значение пройденного расстояния от начала сегмента и их счетчика признака обнаружения k установлено в единицу. В конце сегмента его описание сохраняется, и оператор может перевести робота в другое направление и начать отображение другого сегмента.

3.2 Автономный режим навигации

Основная идея режима автономной навигации состоит в том, чтобы извлечь набор соответствующих ориентиров на карте и оценить их положение в текущем изображении камеры. Эти ориентиры сопрягаются, и рассчитывается разница между расчетными и реальными позициями. Режим этих различий затем используется для корректировки заголовка робота.

Во-первых, оператор вводит последовательность сегментов и указывает, должен ли робот многократно перемещаться или нет. Затем он начинает процедуру навигации, как описано на рисунке 3.2. Робот помещается в начале первого

сегмента, загружает описание первого сегмента, поворачивается в направлении азимута сегмента, сбрасывает свою одометрию и начинает движение вперед.

Каждый раз, когда обрабатывается новое изображение, робот считывает свой одометрический счетчик d и проверяет, какие ориентиры в наборе L были замечены на одинаковом расстоянии от начала сегмента, то есть, какие ориентиры имеют меньшее первое обнаруженное расстояние f и выше последнее обнаруженное расстояние g , чем значение счетчика одометра d . Предполагаемое положение этих ориентиров в изображении камеры затем вычисляется по их u , v , f , g и d с помощью линейной интерполяции, и они помещаются в набор отслеживаемых ориентиров T . Тогда спаривание между множествами T и S устанавливается аналогично тому, как в фазе отображения. Для каждой такой пары вычисляется разность в координатах горизонтальных изображений. Режим этих различий оценивается методом голосования гистограммы. Режим преобразуется в значение коррекции направления движения, которое сообщается модулю управления движением робота. После того как расстояние перемещения робота больше или равно длине данного сегмента, загружается следующее описание сегмента и процедура повторяется. Во время навигации робот отображает соответствующие состояния (нанесенные на карту и узнаваемые ориентиры, коэффициент успеха распознавания и так далее) в его графическом интерфейсе.

Algorithm 2: Перемещение одного сегмента

Input: (α, s, L) – associated data to segment, where α is initial angle of robot orientation at segment start, s is traveled distance and L is set of landmarks, a landmark is senary (e, k, u, v, f, g) , where e is a SURF descriptor, k is counter of feature detection, u and v is position of feature in the image (at the moment of first, resp. last occurrence), f and g denotes distance from segment start according to u , resp. v .

Input: c – steering gain parameter

```

turn( $\alpha$ ) //поворот робота в направлении  $\alpha$ 
 $\hat{d} \leftarrow$  current traveled distance from the segment start
while  $\hat{d} < s$  do
   $T \leftarrow \emptyset$  // набор текущих отслеживаемых ориентиров
   $H \leftarrow \emptyset$  // гистограмма горизонтального отличия позиции
   $\hat{d} \leftarrow$  current traveled distance from the segment start
   $S \leftarrow$  extracted features,  $(u, e) \in S$ ,  $u$  position,  $e$  feature descriptor
  foreach  $I_i = (e_i, k_i, u_i, v_i, f_i, g_i) \in L$  do
    if  $g_i \geq \hat{d} \geq f_i$  then
       $T \leftarrow T \cup \{I_i\}$  // Добавить ориентир к отслеживаемым ориентирам в соответствии с пройденным расстоянием
  while  $|T| > 0$  do
     $(e_i, k_i, u_i, v_i, f_i, g_i) \leftarrow \operatorname{argmax}_{t \in T} k(t)$  // получить ориентир с максимальным количеством появлений  $k$ 
     $p \leftarrow \frac{\hat{d} - f_i}{v_i - u_i} + u_i$  // оценить его координаты изображения
     $(u_a, e_a) \leftarrow \operatorname{argmin}_{e \in S} \{ \|e_i, e(s)\| / |s| \}$  // выбрать наиболее совпадающий дескриптор от  $S$  до  $e_i$ 
     $(u_b, e_b) \leftarrow \operatorname{argmin}_{e \in S \setminus \{(u_a, e_a)\}} \{ \|e_i, e(s)\| / |s| \}$  // выбрать следующий наиболее подходящий дескриптор
    if  $\|e_i, e_a\| < \|e_i, e_b\|$  then
       $H \leftarrow H \cup \{p_x - u_{ax}\}$  // добавить горизонтальную разницу к гистограмме
       $T \leftarrow T \setminus \{(e_i, k_i, u_i, v_i, f_i, g_i)\}$  // сбросить использованный ориентир
   $\omega \leftarrow c \cdot \operatorname{mode}(H)$  // определить скорость движения нового робота
  set robot steering velocity to  $\omega$ 

```

Рисунок 3.2 – Алгоритм перемещения одного сегмента

3.2.1 Вычисление modus

Ключевым расчетом в алгоритме навигации является оценка режима разницы между координатами горизонтальных изображений отображаемых и распознаваемых признаков. Поскольку различия вычисляются с точностью субпикселя, используем метод голосования с гистограммой, чтобы найти режим. Гистограмма H имеет 31 ячейки, каждый бит представляет интервал в 20 пикселей. В начале алгоритма 2 все бины поля H устанавливаются равными нулю. Каждый раз, когда вычисляется разность, значение соответствующего бункера увеличивается. Как только гистограмма построена, вычисляется среднее значение всех различий ближе 30 пикселей к центру наивысшего бина и рассматривается режим. Нужно обратить внимание, что гистограмма построена итеративно, и

вычисление режима возможно даже тогда, когда основной цикл алгоритма 2 прерывается до того, как обрабатываются все ориентиры в Т. Это свойство важно, когда нужно удовлетворять ограничениям реального времени.

Кроме того, гистограмма не содержит только информацию о режиме, но также и уровень сравнения наблюдаемых и нанесенных на карту ориентиров. Проще говоря, в случаях, когда максимум гистограммы четко различим, вычисленное рулевое значение ω , вероятно, будет правильным. Напротив, плоская гистограмма указывает на большое количество неправильных соответствий и опасность того, что рулевое значение ω неверно. Для оценки качества гистограммы используем понятие информации. Если обозначим значение i -й гистограммы bin как h_i , h , сумму h_i по всем бинам и количество ячеек n , мы можем определить информацию гистограммы $I(H)$ как

$$I(H) = \log_2 n + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{h} \log_2 \frac{h_i}{h} \quad [\text{bit}] \quad (46)$$

Если рассматривать горизонтальные положения обнаруженных и ожидаемых ориентиров (то есть элементы S и T) как случайные величины с равномерным распределением, значение $I(H)$ относится к взаимной информации между этими двумя переменными. Значение $I(H)$ может использоваться не только для прогнозирования правильности значения поворота ω , как в тезисе, но и для выбора наиболее подходящей карты из множества доступных карт.

3.3 Проблемы с программным обеспечением

Некоторые требования трудно реализовать, поскольку реализация предложенного метода предназначена для доказательства концептуальных экспериментов, должна быть реализована быстро и должна обрабатывать большие объемы сенсорных данных.

Обычно достижение надежности означает тщательное тестирование программного и аппаратного обеспечения. Однако программное обеспечение, используемое для доказательства концептуальных экспериментов, должно быть реализовано за короткое время и поэтому всегда содержит ошибки и часто не работает должным образом. В случае аномального завершения программы, панели управления робота выполняют последние выпущенные команды, и робот продолжает движение со слепым определением, которое может легко привести к его повреждению.

Операции в режиме реального времени трудно добиться, особенно в небольших роботах, которые могут не иметь всего необходимого оборудования для выполнения самых интенсивных вычислений. В этих случаях желательно передавать сенсорные данные робота (особенно изображения) на внешний компьютер, который достаточно быстр для выполнения необходимых вычислений при удовлетворении ограничений в реальном времени.

Программное обеспечение должно легко интегрироваться в более крупные структуры и должно легко переноситься на различные роботы. Это означает, что сам навигационный алгоритм должен выдавать выход, пригодный для всех мобильных роботов, например, вперед и скорость поворота. Пересчет вывода на команды, специфичные для конкретного робота, должен осуществляться независимым программным модулем.

Теоретическое доказательство сходимости основывается на нескольких предположениях, которые могут быть не всегда выполнены.

3.4 Ложные соответствия

Самой сложной проблемой является невозможность установить правильные соответствия. Однако алгоритм работает даже в случае большого количества выбросов. Рассмотрим ситуацию, в которой система осуществляет навигацию, и все ее установленные соответствия являются ложными. Отклонение горизонтальной позиции обнаруженных и сопоставленных признаков будет в

основном случайной величиной. Поэтому гистограмма H , которая построена для того, чтобы установить скорость поворота робота, будет иметь одинаковое заполнение. Поэтому скорость вращения робота будет случайной. Теперь рассмотрим, что есть несколько правильно установленных соответствий. Каждое правильно установленное соответствие увеличивает значение бина, что соответствует отклонению истинного курса робота. Поэтому вероятность того, что правильный bin достигает максимального значения, возрастает с каждым правильным соответствием.

В действительности, мы получаем 80% – 90% правильно установленных соответствий, если навигационная фаза следует за картированием немедленно. По мере старения карты соотношение правильных соответствий, как правило, падает. Скорость «распада карты» зависит от окружающей среды и обусловлена главным образом двумя факторами: кратковременными изменениями освещения, вызванными изменением положения Солнца и текущими погодными условиями и долгосрочными изменениями среды, вызванными сезонными факторами. И освещение, и долговременные изменения не столь значительны в помещениях, потому что освещение обычно искусственное и сезонные изменения не происходят. Предполагается, что освещение и сезонные изменения играют важную роль в условиях наружного воздуха. Чтобы оценить устойчивость системы к изменениям освещения, можно провести такой эксперимент, в котором робот проходит путь длиной 1 км в открытом воздухе. Чтобы оценить устойчивость системы к сезонным изменениям окружающей среды, нужно составить карту пути длиной 50 м в парке. Путь должен быть автономно перемещен, а затем повторно отображен через месяц. Это делается в течение двенадцати месяцев подряд. Результаты обоих экспериментов должны показывать, что система является надежной как для долгосрочной и краткосрочной изменения окружающей среды.

Динамические объекты и окклюзии вызывают лишь временное и незначительное уменьшение отношения правильно установленных соответствий.

3.5 Предотвращение препятствий

Предлагаемый метод навигации не включает в себя предотвращение препятствий. Однако его можно дополнить модулем предотвращения столкновений, который берет на себя управление роботом всякий раз, когда обнаруживается препятствие в курсе робота. Такой модуль направляет робота вокруг препятствия, пока путь между роботом и его дорогой не станет чистым. После этого навигационная система на основе визуального представления берет на себя управление и направляет робота по алгоритму 2.

Поскольку препятствия имеют конечные размеры, ошибка местоположения робота будет расти конечным значением каждый раз, когда пройдет препятствие. С теоретической точки зрения случайные препятствия в траектории робота можно смоделировать добавлением в уравнение (15) случайного вектора с нулевым средним значением s . Хотя добавление увеличит матрицу S в уравнении (23), симметрия S будет сохранена. Препятствия, следовательно, увеличивают матрицу \tilde{T} matrix в уравнениях (45, 32), но поскольку \tilde{T} остается симметричным, уравнение (32) будет иметь единственное решение. Однако неопределенность положения робота, представленная матрицей C_∞ , будет увеличиваться. Таким образом, предотвращение препятствий уменьшит точность навигации робота, но оно должно оставаться стабильным.

Ясно, что существует ряд препятствий, из-за которых алгоритм потерпит неудачу, потому что после кругового обхода препятствия робот не найдет отображенные функции.

3.6 Систематические ошибки

Поскольку алгоритм навигации основан на двух датчиках, в нашем алгоритме есть два источника систематических ошибок: одометрия и камера.

Систематическая ошибка одометрии означает, что если робот пройдет расстояние d , он сообщит, что пройденное расстояние равно $d(1 + \eta)$.

Это распространенный случай в робототехнических системах, частой причиной является изменение давления в шинах. Ошибка приведет к тому, что длины сегментов s и ориентировочные данные f и g будут в 10 раз выше на карте, чем в действительности. Однако в фазе навигации ошибка одометрии даст в 10 раз более высокие значения расстояния робота от начала сегмента, и поэтому ошибки в карте и ошибка местоположения робота будут подавлять друг друга. Это означает, что систематические ошибки одометрии не будут иметь никакого эффекта. Фактически, если робот имеет систематическую ошибку одометра в 8.5%.

Систематическая ошибка камеры означает, что обнаруженные признаки сдвинуты на некоторое значение θ . Это соответствует несоосности оптической оси камеры и тела робота. Обычно это происходит из-за несовершенства монтажа камеры или несовершенной оптической системы. Опять же, это приводит к тому, что позиции ориентиров u , v на карте отличаются от случая с идеальной камерой. Однако, когда робот встречается с тем же самым местоположением, обнаруженные позиции ориентира будут сдвинуты так же, как и на этапе отображения. Поэтому систематическая ошибка отменяется, как и в предыдущем случае.

Выводы по разделу три:

Так как алгоритм навигации основан на двух датчиках, в алгоритме есть два источника систематических ошибок: одометрия и камера. При определенных условиях эти систематические ошибки подавляются.

4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

4.1 Оценка эффективности

Объектами инвестиционной деятельности являются вновь созданные и модернизируемые основные фонды, и оборотные средства, ценные бумаги, целевые денежные вклады, научно-техническая продукция, другие объекты собственности, а также имущественные права и права на интеллектуальную собственность.

Создание и воспроизводство основных фондов может финансироваться за счет:

- 1) Собственных финансовых ресурсов и внутрихозяйственных резервов инвестора (прибыль, амортизационные отчисления, денежные накопления и сбережения граждан и юридических лиц, средства, выплачиваемые органами страхования в виде возмещения потерь от аварий, стихийных бедствий и др.).
- 2) Заемных финансовых средств инвесторов (банковские и бюджетные кредиты, облигационные займы и т.д.).
- 3) Привлеченных финансовых средств инвестора (средства, получаемые от продажи акций, паевые и иные взносы членов трудовых коллективов, граждан, юридических лиц).
- 4) Денежных средств, централизуемых объединениями (союзами) предприятий в установленном порядке.
- 5) Инвестиционных ассигнований из государственных бюджетов и внебюджетных фондов.
- 6) Иностраннх инвестиций.

Инвестирование в создание и воспроизводство основных фондов осуществляются в форме капиталовложений путем строительства новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих промышленных предприятий и субъектов.

Расширение действующего предприятия представляет собой, либо строительство последующих очередей дополнительных производственных комплексов и производств по новым проектам, либо строительство или расширение существующих цехов основного, вспомогательного и обслуживающего производств. Оно ведется, как правило, на территории действующего предприятия или на примыкающих площадях.

Реконструкция – это полное или частичное переоборудование или переустройство действующего предприятия с заменой морально устаревшего и физически изношенного оборудования путем механизации и автоматизации производства, устранения диспропорций в технологических звеньях и вспомогательных службах. При реконструкции допускается строительство новых цехов взамен старых.

Техническое перевооружение – комплекс мероприятий по повышению технического уровня отдельных производств, в соответствии с современными требованиями путем внедрения новой техники и технологии, механизации и автоматизации производственных процессов, модернизации и замены устаревшего оборудования, улучшения организации и структуры производства. Оно направлено на повышение интенсификации производства, увеличение производственных мощностей, улучшение качества выпускаемой продукции.

Поскольку предприятия, как правило, не располагают достаточными финансовыми ресурсами для поддержания производства динамично развивающегося рынка, перед ними всегда возникает задача: с одной стороны, обосновать перед будущими инвесторами привлекательность и необходимость модернизации или ввода новых основных фондов, а с другой – доказать привлекательность осуществления инвестиционного проекта на основе оценки его эффективности.

Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта является одним из наиболее ответственных этапов прединвестиционных исследований. Она включает детальный анализ и интегральную оценку всей технико–экономической и финансовой информации, собранной и подготовленной для анализа в результате

работ на предыдущих этапах прединвестиционных исследований.

Главное внимание в существующих условиях во всех звеньях планирования и должно быть сосредоточено на наиболее рациональном и эффективном использовании материальных, трудовых и финансовых ресурсов, а также в устранении неоправданных издержек и потерь.

В данной работе предлагаемым инвестиционным мероприятием является система управления мобильным роботом.

4.2 Расчет сметы затрат на проведение работы

При разработке какого-либо устройства важно знать экономические показатели, которые наряду с техническими характеристиками будут определять эффективность проведения разработки. При проведении работы учитываются следующие статьи затрат:

- основные материалы и комплектующие изделия;
- покупные и комплектующие изделия;
- основная и дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления по единому социальному налогу;
- затраты на специальное оборудование;
- затраты на услуги сторонних организаций;
- накладные расходы;
- прочие прямые расходы.

Общая сумма затрат на разработку рассчитывается по формуле:

$$K = \Phi ЗП + М + АО + ЭЭ + СН + СО + НР + ПР, \quad (47)$$

где К – единовременные затраты на проведение исследований;

ФЗП – фонд заработной платы исполнителей работы (ОЗП+ДЗП);

ОЗП – основная заработная плата;

ДЗП – дополнительная заработная плата;

М – стоимость материалов;

АО – амортизационные отчисления;

ЭЭ – затраты на потребление электроэнергии;

СН – отчисления на социальные нужды;

СО – затраты на услуги сторонних организаций;

НР – накладные расходы;

ПР – прочие прямые расходы.

1. Основные материалы и комплектующие изделия.

На этапе разработки материальные затраты основном представляют собой затраты, представленные в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Материалы и комплектующие изделия

Наименование	Тип	Количество, шт.	Стоимость 1 шт., руб.	Сумма, руб.
Бумага писчая	A4	500 листов	0,40	200
Папка под раздаточный материал 40 листов	A4	1	70	70
CD диск	R	1	20	20
Итого				290

2. Основная и дополнительная заработная плата.

Смета затрат на проведение исследований состоит из накладных и прямых расходов. Для составления сметы рассчитаем затраты на заработную плату, которая состоит из основной и дополнительной (далее – ОЗП и ДЗП), а также отчисления на социальные нужды. Также в смету входят затраты на материалы, арендная плата, амортизация оборудования и затраты на работы, выполняемые

другими организациями.

Размер ОЗП устанавливается, исходя из численности работников, трудоемкости и средней заработной платы (далее – СЗП) за один рабочий день. ОЗП рассчитывается суммированием прямой заработной платы, надбавки (для руководителя) и районного начисления (далее – РН). РН составляет 30% от суммы прямой заработной платы и надбавки. Надбавка руководителю составляет 900 рублей.

Прямая заработная плата находится произведением базовой ставки за один рабочий день на количество затраченных на работу дней. ДЗП рассчитывается следующим образом:

$$\text{ДЗП} = \text{ОЗП} \cdot \% \text{ДЗП}, \quad (48)$$

где %ДЗП – процент дополнительной заработной платы, который равен 13%.

Для участников разработки установлены разряды тарифной сетки, которые занесены в таблицу 5.3, где дневная ставка рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{Дн}} = \frac{З_{\text{Мес}}}{\Phi_{\text{Мес}}}, \quad (49)$$

где $З_{\text{Мес}}$ – месячный оклад исполнителя;

$\Phi_{\text{Мес}}$ – фонд времени в днях.

При шестидневной рабочей неделе фонд времени составляет 26 дней.

Дневная ставка, умноженная на количество рабочих дней, даст месячный оклад исполнителя.

Результаты расчётов затрат на оплату работы исполнителей представим в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчёт затрат на оплату работы исполнителей

Исполнители	Разряд по ЕТС	Трудоёмкость, дни	Месяч. оклад, руб.	Дневная ставка, руб.	ОЗП, руб.	ДЗП, руб.	Итого, руб.
Руководитель	15	25	2904	111.7	4800	624	5424
Разработчик	7	54	1479	56.9	3994	519.22	4513.22
Итого, руб.					8794	1143.22	9937.22

3. Отчисления во внебюджетные фонды.

Приведем расчеты отчислений на социальные нужды (далее – СН). Эти расходы представляют собой отчисления по единому социальному налогу (пенсионный фонд, медицинское страхование, социальное страхование и так далее).

Отчисления от заработной платы по единому социальному налогу составляют 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы и рассчитываются по формуле:

$$ЕСН = 0,3 \cdot (ОЗП + ДЗП), \quad (50)$$

где ОЗП – основная заработная плата, руб.;

ДЗП – дополнительная заработная плата, руб.

Согласно формуле (50), отчисления на СН составят:

$$ЕСН = 0,3 \cdot (8794 + 1143,22) = 2981,17 \text{ рублей.}$$

Фонд заработной платы (далее – ФЗП) рассчитывается по формуле:

$$ФЗП = ОЗП + ДЗП + ЕСН, \quad (51)$$

$$ФЗП = 8794 + 1143,22 + 2981,17 = 12918,39 \text{ рублей.}$$

Таким образом, ФЗП составил 12918,39 рублей.

4. Затраты на амортизацию.

Затраты на спецоборудование (далее – ЗО) представляют собой амортизационные отчисления (далее – АО) за эксплуатацию ПЭВМ в период проведения исследований плюс затраты на потребление электроэнергии (далее – ЭЭ): $ЗО=АО+ЭЭ$. Вся работа в основном проводится за компьютером (75%). Норма амортизации для компьютера – 30%. Сумму амортизационных отчислений за период проектирования рассчитываем по формуле:

$$АО = \frac{C_b N_a g_i t}{F_{el}}, \quad (52)$$

где C_b – стоимость компьютера (35000 руб.);

N_a – норма амортизационных отчислений (30%);

g_i – количество используемых компьютеров (1);

t – время работы компьютера ($54 \cdot 0,75$ раб. дня);

F_{el} – эффективный фонд времени работы компьютера (252 рабочих дня).

$$АО = \frac{35000 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 54 \cdot 0,75}{252} = 1687,5 \text{ рублей.}$$

Сумма амортизационных отчислений составляет 1687,5 рублей.

5. Затраты на электроэнергию.

Затраты на ЭЭ состоят из электропотребления компьютера и могут быть рассчитаны по формуле (53):

$$ЭЭ = W_y t C_{эл}, \quad (53)$$

где W_y – установленная мощность, кВт (компьютер с монитором – $230 \text{ Вт} + 360 \text{ Вт} = 0,59 \text{ кВт}$);

t – время работы компьютера ($54 \cdot 0,75$ дней $\cdot 8$ часов);

$C_{эл}$ – тариф на электроэнергию (1,82 руб. за кВт/час).

$$ЭЭ = 0,59 \cdot 54 \cdot 0,75 \cdot 8 \cdot 1,82 = 347,9 \text{ рублей.}$$

Затраты на электроэнергию составляют 347,9 рублей.

Таким образом, найдем ЗО:

$ЗО = 1687,5 + 347,9 = 2035,4$ рублей.

6. Услуги сторонних организаций.

В расчет затрат на работы, выполненными сторонними организациями (далее – СО), можно включить распечатку текста пояснительной записки. Данные затраты приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Услуги сторонних организаций

Наименование услуги	Количество, шт.	Стоимость 1шт., руб.	Сумма, руб.
Распечатка листов ПЗ	75	6	450
Распечатка раздаточного материала	15	6	90
Итого			540

Таким образом, СО составили 540 рублей.

7. Накладные расходы.

Это расходы на управление и хозяйственное обслуживание при разработке проекта. Накладные расходы (далее – НР) составляют 20% от общей суммы фонда заработной платы. Используя значения из таблицы 4.2, получим:

$$НР = 0,2 \cdot \text{ФЗП}. \quad (54)$$

$НР = 0,2 \cdot 12918,39 = 2583,68$ рублей.

8. Прочие прямые расходы.

Прочие прямые расходы представляют собой затраты на транспорт и непредвиденные расходы (3% от суммы предыдущих статей затрат) и составляют 527,96 рублей.

Представим результаты расчета затрат в виде таблицы 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчета затрат

№ п.п.	Статьи затрат	Сумма, в рублях
1	Материалы и комплектующие	290,0
2	Сумма ОЗП и ДЗП исполнителей	9937,22
3	Отчисления по единому социальному налогу	2981,17
4	Затраты на специальное оборудование	1687,5
5	Услуги сторонних организаций	540,0
6	Накладные расходы	2583,68
7	Прочие прямые расходы	540,6
Итого		18560,17

Рассчитаем эффективность исследования.

Чтобы оценить эффективность проведенной работы, следует сравнить базовую методику, используемую для расчетов экономических показателей, и разработанные модели. Поскольку в настоящее время на предприятии нет специальной расчетной методики, то сравнение не представляется возможным.

В таком случае произведем оценку эффективности разработки путем расчета коэффициента научно-технической результативности (далее – КНТР):

$$K_{\text{НТР}} = \sum_{i=1}^m K_{\text{ЗН},i} K_{\text{ДУ},i}, \quad (55)$$

где $K_{\text{ЗН},i}$ – коэффициент значимости (далее – КЗН) i -го фактора, используемого для оценки;

$K_{\text{ДУ},i}$ – коэффициент достигнутого уровня (далее – КДУ) i -го фактора;

m – количество факторов научно-технической результативности.

Величина коэффициента значимости по каждому из факторов

устанавливается экспертным путем, и при этом их сумма должна быть равна единице. Аналогично коэффициент значимости, величина коэффициента достигнутого уровня определяется экспертным путем с учетом качества признака фактора и его характеристики ($K_{ДУ} \leq 1$). Факторы и признаки, характеризующие научно–техническую результативность, их числовые значения приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристика факторов и признаков работы

Фактор научно-технической результативности	КЗН	Качество фактора	Характеристика фактора	КДУ
Перспективность использования результатов	0,4	Важно	Результаты работы, которые помогут в процессе принятия решений и выборе стратегии	0,75
Завершенность полученных результатов	0,3	Достаточно	Автоматическая обработка данных, также удобство использования, рекомендации	0,8
Масштабность возможной реализации результатов	0,3	Отдельные организации	Время реализации до пяти лет	0,8

В соответствии с данными таблицы 4.1 и соотношением формулы (55):

$$K_{НТ,Р} = 0,4 \cdot 0,75 + 0,3 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,8 = 0,78$$

Выводы по разделу четыре:

Экономический расчет показал, что управление мобильным роботом целесообразно. Полученное значение $K_{НТ.Р}$ довольно высокое, и очень близкое к единице, можно сделать вывод о высокой эффективности проведенной работы.

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1 Анализ производственных опасностей и вредности на рабочем месте

В выпускной квалификационной работе разрабатывалась математическая модель и составлялись алгоритмы. Для выполнения этих задач применялась персональная электронно-вычислительная машина (далее – ПЭВМ). Поэтому рассмотрим вопросы безопасности работы с персональным компьютером.

Изучение и решение проблем, связанных с обеспечением здоровых и безопасных условий, в которых протекает труд человека – одна из наиболее важных задач в разработке новых технологий и систем производства. Изучение и выявление важных причин производственных несчастных случаев, профессиональных заболеваний, аварий, взрывов, пожаров и разработка мероприятий и требований, направленных на устранение этих причин позволяют создать безопасные и благоприятные условия для труда человека. Комфортные и безопасные условия труда – один из основных факторов, влияющих на производительность служащих вычислительных центров.

Работающие на ПЭВМ, в первую очередь, отмечают нарушение зрения, утомление мышц рук и спины, общую слабость. Основными факторами вредного влияния компьютера на организм человека являются:

- электромагнитное поле и излучение;
- видимое излучение экрана;
- блики и мерцания;
- нарушение эргономических норм при работе с компьютером.

Нормы радиационной безопасности определены в СанПиН 2.6.1.2523–09.

С точки зрения излучения наиболее опасен монитор. Он излучает в электромагнитном диапазоне от 1 Гц до 1 ГГц. Для того чтобы снизить эмиссионные характеристики техники, в современных компьютерах предусмотрена внутренняя защита. Однако для нее необходимо заземление устройства. При этом очень важно проследить, чтобы провод заземления не просто

«присутствовал в розетке», но не прерывался по всей цепочке. Однако заземление часто отсутствует, и все современные разработки по защите от излучений становятся бесполезны.

Дисплей компьютера является источником ионизирующего облучения человека в производственной среде и доза облучения при $l = 10$ см равна 0.025 – 0.05 Бэр/год.

Для определения мероприятий по защите от ионизирующего излучения экрана монитора произведем расчет мощности излучения и эквивалентной дозы излучения за год и сравним ее с действующими «Нормами радиационной безопасности» (далее – НРБ), приведенными в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Мощность излучения и доза излучения за год по НРБ

Наименование параметров	Допустимое значение
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг видеодисплейный терминал (ВДТ) по электрической составляющей должна быть не более: В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц; В диапазоне частот 2 – 400 кГц.	25 В/м 2.5 В/м
Плотность магнитного потока должна быть не более: В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц В диапазоне частот 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Поверхностный электрический потенциал не должен превышать	500 В

Спектр излучения компьютерного монитора включает в себя рентгеновскую, ультразвуковую и инфракрасную области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. В настоящее время внимание исследователей привлекают биологические эффекты низкочастотных

электромагнитных полей (далее – ЭМП), которые до недавнего времени считались безвредными. В отличие от ионизирующих излучений, например рентгеновских лучей, низкочастотные ЭМП не могут расщеплять атомы. Считалось, что неионизирующее излучение не может вредно влиять на организм, если оно недостаточно сильно, чтобы вызвать тепловые эффекты или электрошок. Однако в ряде экспериментов было обнаружено, что ЭМП с частотой 50 – 60 Гц, возникающие вокруг видеодисплеев, могут инициировать биологические сдвиги вплоть до нарушения синтеза ДНК в клетках животных. В отличие от рентгеновских лучей электромагнитные волны обладают необычным свойством - опасность их воздействия совсем необязательно уменьшается при снижении интенсивности облучения. Определенные ЭМП действуют не клетки лишь при малых интенсивностях излучения или на конкретных частотах, в так называемых «окнах прозрачности». Таким образом, существует опасность влияния ЭМП видеодисплейных терминалов, несмотря на то, что такие поля весьма слабы. Медицинские исследования показали, что излучения, сопровождающие работу компьютера, могут весьма отрицательно сказываться на здоровье человека.

Видимое излучение, блики и мерцания экрана, как показывают данные экспериментов, способствуют возникновению:

- близорукости и переутомлению глаз;
- мигрени и головной боли;
- раздражительности, нервному напряжению и стрессу;
- низкочастотные поля;
- некоторые заболевания кожи могут обостриться за дисплеем;
- может воздействовать на метаболизм и биохимические реакции крови на клеточном уровне, в результате чего у оператора возникают симптомы стресса;
- воздействие низкочастотных полей может способствовать возникновению серьезных заболеваний.

Электростатическое поле вызывает катаракту глаз и помутнение

хрусталика.

Требования к качеству электромагнитной безопасности определены в СанПиН 2.2.4.1191–03.

Электромагнитное поле имеет электрическую и магнитную составляющую, причем их взаимосвязь сложна. Считается, что магнитная составляющая вызывает большую реакцию, чем электрическая. Наиболее чувствительны к магнитному воздействию психически больные люди. На расстоянии от видеотерминалов до оператора электрическая и магнитная составляющие поля оцениваются отдельно. Согласно стандартам РФ с учетом широкополосности спектра ЭМИ видеотерминала предложен самый широкий норматив в диапазоне частот 0.06...300 МГц – 10.0 В/м по электрической составляющей и 0.3 А/м по магнитной составляющей электромагнитного поля. Замеры проводятся на расстоянии 0.05 м от центра экрана и боковых стенок. Предельно допустимая величина электрического поля – 2.5 В/м.

По «Санитарным правилам и нормам» мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0.05 м от экрана и корпуса ВДТ при любых положениях регулировочных устройств не должна превышать $7.74 \cdot 10$ А/КГ мбер/час, 100мкР/час.

Электрические установки, к которым относится практически все оборудование ПЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность. Специфическая опасность электроустановок: токоведущие проводники, корпуса стоек ПЭВМ и прочего оборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения (пробоя) изоляции, не подают каких-либо сигналов, которые способны предупредить человека об опасности.

При этом необходима правильная организация труда, под которой понимается строгое выполнение ряда организационных и технических мероприятий и средств, установленных действующими «Правилами установки электроустановок» (далее – ПУЭ).

Использовавшееся помещение с ПЭВМ относится к классу помещений без повышенной опасности с точки зрения поражения электрическим током.

Температура окружающей среды $+20\pm 5^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха $60\pm 20\%$. В помещении должны быть непроводящие полы, отсутствовать токопроводящая пыль, отсутствовать электрически активная среда, отсутствовать возможность одновременного прикосновения к металлическим частям прибора и заземляющему устройству, отсутствовать высокая температура и сырость.

Для защиты от поражения электрическим током все токоведущие части должны быть защищены от случайных прикосновений кожухами, корпус устройства должен быть заземлен. Заземление выполняется изолированным медным проводом сечением 1.5 мм^2 . Общая шина присоединяется к заземлению, сопротивление которого не должно превышать 4 Ом . Питание устройства должно осуществляться от силового щита через автоматический предохранитель, срабатывающий при коротком замыкании нагрузки.

Помещения, в которых установлены ПЭВМ, по пожарной опасности относятся к категории Д, и должны удовлетворять требованиям по предотвращению и тушению пожара по ГОСТ 12.1.004-91. Обязательно наличие телефонной связи и пожарной сигнализации.

Материалы, применяемые для ограждающих конструкций и отделки рабочих помещений должны быть огнестойкими. Для предотвращения возгорания в зоне расположения ЭВМ обычных горючих материалов (бумага) и электрооборудования, необходимо принять следующие меры:

- в машинном зале должны быть размещены углекислотные огнетушители типов ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8. Согласно типовым правилам пожарной безопасности на каждые 100 м^2 площади помещения ВЦ должен приходиться один огнетушитель;
- в качестве вспомогательного средства тушения пожара могут использоваться гидрант или устройства с гибкими шлангами;
- для непрерывного контроля машинного зала и зоны хранения носителей информации необходимо установить систему обнаружения пожаров, для этого можно использовать комбинированные извещатели типа КИ-1 из расчета один извещатель на 100 м^2 помещения.

Меры пожарной безопасности определены в ГОСТ 12.1.004-91.

Другой вредный фактор – шум. Основным источником шума являются печатающие устройства, множительная техника и установки для кондиционирования воздуха, а в самих ВДТ – вентиляторы систем охлаждения и трансформаторы. Также шум, проникающий извне. По «Санитарным правилам и нормам» уровень шума не должен превышать 60 дБ.

При длительном воздействии шума снижается острота слуха, изменяется кровяное давление, ослабляется внимание, ухудшается зрение, происходит изменение в дыхательных центрах, что вызывает изменения в координации движений, кроме того, значительно увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке. Интенсивный шум является причиной нарушений нормальной работы сердечно–сосудистой системы, нормальной функции желудка и ряда других функциональных нарушений в организме человека.

Большое влияние на работу оказывают метеорологические условия, которые не должны отклоняться от СанПиН 1340-03. Реально, метеорологические условия отвечают требованиям указанного стандарта и, в частности, хотя помещение не оборудовано кондиционером, в целом температура воздуха соответствует нормам.

Вредные факторы:

– повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны. Температура в помещении, согласно нормам (СанПиН 1340-03), должна поддерживаться равной 20 – 22°С в холодное и 20 – 25°С в теплое время года

– повышенная или пониженная влажность воздуха рабочей зоны. Относительная влажность должна быть в пределах 40 – 60 % (СанПиН 1340-03 ССВТ);

– повышенное или пониженное барометрическое давление в рабочей зоне и его резкое изменение;

– повышенная или пониженная подвижность воздуха. Скорость движения воздуха не должна превышать 0.2 м/с в холодное время года и 0.5 м/с в теплое;

- повышенная загрязнённость воздуха рабочей зоны.

Из всех параметров микроклимата для тех, кто работает с вычислительной техникой, особое значение имеет влажность воздуха. В сухом воздухе повышенные уровни электростатического поля возрастают еще больше. Под действием электростатического поля поляризуются частицы, которые «собирают» на себя микробы и пыль – это может привести к ряду аллергических заболеваний.

Таблица 5.2 – Требования к микроклимату в помещении

Период года	Холодный	Переходной	Теплый
Категория работ	легкая	легкая	легкая
Температура, °С	17 ÷ 22	23 ÷ 25	до 28
Относительная влажность, %	30 ÷ 60	не более 75	не более 55
Скорость движения воздуха, м/с	0.3	0.5	0.5

Для поддержания нормальных параметров воздушной среды на производстве необходимо учитывать период года (тёплый, холодный или переходный), тяжесть выполняемой работы (лёгкая – 1 категория) и характеристику помещения. Для поддержания в помещениях параметров воздушной среды, удовлетворяющих требованиям СНиП (Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха), а также требованиям СанПин 1340-03, необходимо применение общеобменной вентиляции, систем отопления и кондиционеров. Кроме того, необходимо проводить влажные уборки не чаще, чем один раз в день, так как влажность воздуха оказывает большое влияние на терморегуляцию организма: повышенная влажность (выше 85%) затрудняет терморегуляцию из-за снижения испарения пота, а слишком низкая (ниже 20%) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Особенно велико значение освещения, т.к. при его недостатке могут возникнуть такие заболевания, как заболевания глаз, близорукость, резь в глазах, катаракта. Правильно выполненная система освещения имеет большое значение в

снижении производственного травматизма, уменьшая потенциальную опасность многих производственных факторов, создаёт нормальные условия для работы органам зрения и повышает общую работоспособность организма. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. В помещении используется комбинированное освещение - искусственное и естественное. Естественное освещение проникает в помещение через окно. Этим обеспечивается боковое освещение. Необходимо помнить, что местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана и увеличивать освещенность экрана более 500 лк.

Коэффициент естественной освещенности должен быть не менее 1%. При одновременной работе с бумажными документами и использованием видеотерминалов, а также при вводе данных в компьютер уровень освещенности должен быть не менее 500 лк. Следует заметить, что использование ламп дневного света, пульсирующих с частотой 50 Гц, совместно с мониторами, частота кадров которых $50 \div 60$ Гц, вызывает у человека серьезные длительные нарушения нервной системы. Поэтому рекомендуется использовать смешанное освещение и менять частоту кадровой развертки мониторов в сторону увеличения до $70 \div 90$ Гц.

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях за счет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ВДТ и ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м^2 и яркость потока, при изменении системы отраженного освещения, не должна превышать 200 кд/м^2 .

Для исключения бликов отражения на экранах от светильников общего освещения необходимо применять специальные фильтры для экранов, защитные козырьки или располагать источники света параллельно направлению взгляда на экран с обеих сторон. Не допускается расположение дисплеев экранами друг к другу.

5.2 Требования к эргономике рабочего места

Правильное положение тела также важно при длительной работе с персональным компьютером. Необходимо следовать рекомендациям эргономики в организации рабочего места. Неправильная организация рабочего места и порядка работы может приводить к заболеваниям нервной системы, таким как стресс, стенокардия и головные боли, заболеваниям костно–мышечной системы:

- ревматизм, остеохондроз, радикулит, запястный синдром и синдром длительных статических нагрузок, заболеваниям глаз;
- близорукость, воспалительные заболевания глаз, катаракта, отслоение сетчатки, косоглазие.

Согласно СанПиН 2.2.2.542–96 (технологические процессы, сырье, материалы, оборудование, рабочий инструмент) при конструировании оборудования и организации рабочего места пользователя ВДТ и ПЭВМ следует обеспечивать соответствие конструкции всех элементов рабочего места и их взаимного расположения эргономическими требованиями с учетом характера выполняемой пользователем деятельности, комплексности технических средств, форм организации труда и основного рабочего положения пользователя.

Для уменьшения нагрузки на глаза и снижения уровня зрительной утомляемости помещение должно содержать не более двух – трех основных цветов.

Работа инженера по характеристикам зрительных работ относится к третьему разряду. Рекомендуемая освещенность при работе с экраном дисплея компьютера составляет 300 лк, при работе с экраном в сочетании с работой над документами 400 лк.

Площадь и объем помещений должны соответствовать количеству работающих. Необходимо учесть эргономические свойства человека, силовые и скоростные возможности его анализаторов, скорость реакции.

При операторской деятельности 25% времени предоставляется человеку для отдыха. Поток информации ограничивается с учетом пропускной способности

работающего – 30 ед/сек.

Предпочтительный угол наблюдения равен 90° к плоскости экрана. Оптимальный угол зрения – в пределах $10 - 30^\circ$ в боковом или вертикальном направлениях от горизонтали.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 - 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ВДТ и ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снятия статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития и утомления. Тип рабочего стула (кресла) должен выбираться в зависимости от характера и продолжительности работы с ВДТ и ПЭВМ с учетом роста пользователя.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Схемы размещения рабочих мест с ВДТ и ПЭВМ должны учитывать расстояния между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого), которое должно быть не менее 2.0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1.2 м.

Для снижения напряжения при работе и последующего утомления зрительных анализаторов должен быть правильно организован режим работы, введены паузы и перерывы.

Положение тела должно соответствовать направлению взгляда. Расположение клавиатуры не должно приводить к напряжению рук. Уровень клавиатуры – чуть выше колен. Клавиатура должна иметь регулируемую подставку для изменения угла ее наклона, так как при длительной работе нагрузка на руки очень большая.

5.3 Инструкция по охране труда на рабочем месте

При работе в лаборатории следует руководствоваться правилами техники безопасности при работе с электроустановками до 1000 В. Пользователь должен предварительно пройти вводный инструктаж на рабочем месте. За невыполнение требований, содержащихся в инструкции, несётся ответственность в дисциплинарном порядке.

Требования безопасности определены в СПиП 12–03–2001.

Общие требования безопасности:

- К работе в техническом отделе на ПЭВМ допускаются лица достигшие 18 летнего возраста, прошедшие соответствующее обучение, а также инструктаж по охране труда и технике безопасности.
- Данное помещение является служебным и присутствие посторонних лиц строго воспрещается.
- В помещении строго воспрещается курить и распивать спиртные напитки.
- Весь пожарный инвентарь и противопожарное оборудование должны содержаться в исправном состоянии и находиться на видном месте.
- Ответственность за соблюдение правил охраны труда и техники безопасности несёт непосредственный руководитель организации, а контроль осуществляет руководитель технического отдела.

Требования безопасности перед началом работы:

- Перед началом работы на ПЭВМ необходимо снять с себя электростатический разряд, убедиться в исправности аппаратуры и проверить заземление на наличие повреждений.
- Для уменьшения нагрузки на глаза рекомендуется очищать экран от пыли влажной салфеткой раз в сутки.
- В помещении используется естественная вентиляция, поэтому для ее улучшения рекомендуется открывать форточку, а в теплое время года - окно.

Требования безопасности во время работы:

– Во время работы не рекомендуется передвигать блоки включения ПЭВМ во избежание повреждения накопителей на жестких дисках и других электромеханических узлов ПЭВМ, а также опасности поражения электротоком.

– Через каждый час работы рекомендуется делать перерыв на 10 минут, согласно требованию санитарных норм. Если перерывы делаются через два часа, их продолжительность надо увеличивать до 15 – 20 минут.

– Во время работы воспрещается снимать защитный экран с монитора.

Требования безопасности в аварийных ситуациях. Во время работы возможен ряд аварийных ситуаций вид:

– Попадание корпуса устройства под напряжение при коротком замыкании в электросистеме, пробое изоляции и отсутствии или неисправности заземления.

– Выход из строя отдельных узлов устройства вызванный перегрузкой или нарушением правил его эксплуатации.

При обнаружении признаков горения электрооборудования необходимо обесточить помещение центральным выключателем и воспользоваться средствами огнетушения, применяемыми в данной ситуации. В технических помещениях следует применять только углекислотные и бромэтиловые огнетушители. Следует помнить, что нарушение вентиляции ПЭВМ, вызванное перекрытием вентиляционных решеток, проемов, кроме возможного повреждения, может привести к возгоранию элементов электрических схем.

Требования безопасности по окончании работ:

– В конце рабочего дня, прежде чем покинуть помещение, необходимо навести порядок на рабочем месте.

– Обо всех неполадках, обнаруженных во время работы, требуется известить своего непосредственного руководителя.

Выводы по разделу пять:

В данном разделе проведен анализ производственных опасностей и вредностей на рабочем месте, ознакомлен с требованиями к эргономике рабочего места и ознакомлен с инструкциями по охране труда на рабочем месте.

Пользователи допускаются к работе на ПЭВМ только после прохождения инструктажа по безопасности труда и пожарной безопасности в лаборатории в целом и на каждом рабочем месте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были сформулированы следующие выводы:

1. Спланирована траектория движения робота. Составлены уравнения, описывающие движение робота, оборудованного ориентировочным навигационным методом.
2. Создана математическая модель управления мобильного робота.
3. Разработаны алгоритмы навигации и системы управления роботом.
4. Проведен анализ систематических погрешностей движения робота.
5. Проведена оценка эффективности исследования. Полученное значение коэффициента научно-технической результативности довольно высокое.
6. Рассмотрены правила техники безопасности на рабочем месте, согласно государственным стандартам, санитарным правилам и нормам.

В целом, предложенная разработка системы управления мобильным роботом является целесообразной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухарлямов, Р.Г. Моделирование процессов управления, устойчивость и стабилизация систем с программными связями / Р.Г. Мухарлямов // Известия РАН. «Теория и системы управления». – 2015. – № 1. – С. 15-28.
2. Принципы и уравнения динамики механических систем: учебное пособие / Р.Г. Мухарлямов, – Нижневартовск. Изд-во Нижневарт. гос. ун-та. – 2013. – 135 с.
3. Абрамов, Н.В. Управление динамикой систем с программными связями: монография / Н.В. Абрамов, Р.Г. Мухарлямов. Ж.К. Киргизбаев. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. – 202 с.
4. Бабич, А. В. Промышленная робототехника / А.В. Бабич. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 263 с.
5. Сорокин, Н.Д. Охрана окружающей среды на предприятии. «Интеграл». / Н.Д. Сорокин / Санкт-Петербург, 2009 г. – 189 с.
6. Andreas Nüchter, 3D Robotic Mapping - The Simultaneous Localization and Mapping Problem with Six Degrees of Freedom, vol. 52 of Springer Tracts in Advanced Robotics, Springer, 2009. – pp. 85–97.
7. Guilherme V. Raffo, , “A predictive controller for autonomous vehicle path tracking,” Transactions on Intelligent Transportation Systems / Guilherme K. Gomes, Julio E. Normey-Rico, Christian R. Kelber, and Leandro B. Becker. – vol. 10, no. 1, 2009. – pp. 92–102.
8. Палагин, В.А. Техническое задание на перспективную разработку мобильного робота для использования в чрезвычайных ситуациях / В.А. Палагин. – Харьков: Разработка СКБ «Робототехника и мехаторника» ХНУРЕ, 2008. – 18 с.
9. СТО ЮУрГУ 04–2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

10. Баранов, Д.Н. Разработка интеллектуальной системы управления мобильными роботами на основе следящей системы технического зрения и нечеткой логики: автореф. дис. кандидата техн. наук: 12.06.08 / Д.Н. Баранов. – М.: [Ун-т «СТАНКИН»], 2008. – 222с.
11. Костров, Б. В. Искусственный интеллект и робототехника / Б.В. Костров, В.Н. Ручкин, В.А. Фулин. - М.: Диалог-Мифи, 2008. - 224 с.
12. Гейтс, Б. Механическое будущее / Б. Гейтс // Журн. «В мире науки». – 2007. – №7. – С. 37-43.
13. Мартыненко, Ю. Г. Управление движением мобильных колёсных роботов / Ю.Г. Мартыненко. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 80с.
14. Бобровский, С.Н. Навигация мобильных роботов / С.Н Бобровский, С.Н. Гончаров// Журн. «PC Week». – 2004. – №9. – С. 60-63.
15. Зайцев, Н.Л. Экономика промышленного предприятия. Практикум: учебное пособие. / Н.Л. Зайцев. – М.: ИНФРА - М, 2001. – 192 с.
16. Бурдаков, С.Ф. Системы управления движением колесных роботов / С.Ф. Бурдаков, И.В. Мирошник, Р.Э. Стельмаков. – Санкт-Петербург: «Наука». – 2001. – 266 с.
17. Градецкий, В.Г. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям / В.Г. Градецкий, В.Б. Вешников, С.В. Калиниченко. – М.: «Наука», 2001. – 178 с.
18. Кукин, П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): учебное пособие для вузов / П.П. Кукин. – М.: Высшая школа, 1999 г. – 318с.
19. Управление программным движением многозвенного манипулятора // Вестник РУДН, сер. Прикладн. матем. и информ., 1998. – N 1. – С. 22-39.
20. Каляев, А.В. Однородные управляющие структуры адаптивных роботов / А.В. Каляев, Ю.В. Чернухин. – гл. ред. физ.-мат. лит. – М.: «Наука», 1990. – 152 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. КОМПАКТ-ДИСК

Содержание:

1 Пояснительная записка к ВКР

2 Презентация