**2. Актуальность**

Применение мобильной робототехники расширяется. Автономная навигация необходима в транспорте, складском хозяйстве, освоении космоса и ликвидации последствий стихийных бедствий. В таких динамических средах навигация рядом с людьми и объектами требует высокой автономности, надежности и безопасности.

**3. Цель и задачи**

Соответственно данное исследование направлено на повышение автономности, безопасности и надежности систем навигации мобильными роботами путем разработки алгоритма принятия решений.

**4. Существующие подходы и их недостатки**

Стандартным подходом при реализации автономной навигации на мобильном роботе является использование некоторой системы навигации в качестве модуля, который принимает показания датчиков робота и параметров окружения и подает сигналы управления на робота. Система навигации решает задачи локализации, картографирования и планирования пути.

Для успешной навигации требуется контролировать и исключать непредвиденные события, которые могут серьезно ограничить надежность представления среды (например неполадки с датчиками, проскальзывание колес, изменение ориентации под воздействием внешних факторов или не обнаруживаемые препятствия). Такие ситуации провоцируют небезопасное поведение и требуют вмешательства человека-оператора и восстановления работоспособности робота вручную. Для этого системе требуется отдельная независимая система наблюдения за состоянием.

Также для успешной навигации в динамическом окружении системе управления требуется учитывать направление и величину скорости динамических объектов для более безопасного планирования траектории вблизи людей и других объектов.

**5. Архитектура разработанной системы**

В качестве основы разработанной системы использовался мобильный робот TurtleBot3, система навигации Navigition2 и модуль локализации.

Данные модули были расширены:

1. Системой контроля, целью которой является повышение автономности и надежности
2. Системой учета динамических объектов, целью которой является повышение безопасности при навигации вблизи динамических объектов

**6. Система контроля**

Система контроля основана на архитектуре поведенческого дерева, с помощью которого обеспечивается непрерывная проверка состояния робота и системы навигации. При обнаружении неисправностей алгоритм вызывает поведение, направленное на восстановление работоспособности робота.

Компоненты системы работают в отдельных потоках выполнения для повышения скорости реакции. Коммуникация между модулями осуществляется через синхронные и асинхронные интерфейсы.

**7. Основное поведенческое дерево**

Проход дерева осуществляется в цикле с определенной частотой, по мере прохождения сигнал проверяет определенные условия и выполняет действия.

Корневой управляющий узел является узлом последовательности, который определяет поведение типа «логическое И», исходя из этого поддеревья расположены в порядке возрастания сложности (слева-направо). При такой конфигурации узел последовательности не позволит выполнение поведений высокого уровня, если система обнаружит неполадки на более фундаментальных уровнях.

Поведенческое дерево включает:

1. Проверку датчиков и одометрии.
2. Контроль уровня заряда батареи при навигации. Навигация отменяется, если заряд недостаточен для достижения цели навигации.
3. Проверка состояния планировщика пути.
4. Обработка столкновений: обнаружение столкновения, обновление карты, перестроение пути.

**8. Поддерево LIDAR**

Рассмотрим пример реализованного поддерева для проверки работоспособности датчика LIDAR, представленный граф получен из программы визуализации поведенческих деревьев Groot.

Выполнение дерева заключается в проверке условий и реализации действий, траекторию прохода определяют специальные узлы управления.

**9. Пример работы системы контроля – график скоростей при навигации к цели и отключении LIDAR**

На данном слайде отображены графики линейной и угловой скоростей робота при выполнении им задачи навигации во время которой случается отключение LIDAR. После того как отключился лазерный датчик поведенческое дерево обнаружив это, начинает выполнять поведение восстановления. Уменьшается линейная скорость до минимально возможной (в данном случае до 5 сотых м/с) и производится попытка перезапуска датчика, после того как датчик восстановил свое функционирование процесс навигации продолжается.

**10. Система учета динамических объектов**

Система учета динамических объектов адаптирует навигационные процессы на основе информации о динамических объектах. Это позволяет уменьшить число столкновений во время навигации.

Задачу можно декомпозировать на 3 подзадачи: обнаружение дин объекта, слежение за ним и оценка его сокрости, а также передача информации о нем для планироващика траектории (реализуется через отображение на карте местности, как так в качестве представления окружения система навигации использует вероятностные карты занятости)

**11. Задача обнаружения**

Для обнаружения динамических объектов в окружении применяется метод отделения заднего плана. Используются два бегущих усредняющих фильтра (медленный и быстрый) с добавлением медианного фильтра для 8 соседних пикселей.

Затем применяется пороговая фильтрация и в результате получается бинарная карта, на которой обозначены дин объекты.

Далее применяются методы библиотеки компьютерного зрения OpenCV для определения границ и центров динамических объектов.

**12. Задача слежение и оценки скорости**

Задача слежения подразумевает сопоставление обнаруженных объектов на предыдущем и текущем шаге времени. Это вид задачи о назначении. Данная задача подразумевает собой минимизацию общего евклидова расстояния между отслеживаемыми объектами и новым набором обнаруженных объектов на каждом шаге времени.

Для оценки скорости отслеживаемых объектов применяется фильтр Калмана. Вектор состояния для каждого объекта представляется его положением и скоростью.

**13. Задача отображения объекта на карте местности**

Для того чтобы планировщик пути учитывал информацию о полученной скорости и положении отслеживаемых динамических объектов требуется отметить зоны штрафов вокруг динамических объектов на карте стоимости.

Для каждого объекта область штрафа определяется относительно его системы координат (в которой началом является центр объекта, а осью 0х – направление его движения)

Значения штрафов вокруг объектов будут распределены по двумерному гауссовскому закону. При этом ковариационная матрица распределения должна иметь такие значения, чтобы область штрафа была больше для более быстрых объектов. Также учитывается направление скорости для отображения большей зоны штрафа вдоль направления движения объекта. Это достигается путем смешивания двух двумерных нормальных распределений

**14. Пример работы системы учета дин объектов**

Рассмотрим пример работы системы учета дин объектов.

В верхней части экрана изображена среда моделирования в которой находится мобильный робот и пешеход, передвигающийся со скоростью 1м/с.

В нижней части расположены окна, которые показывают работы отдельных модулей системы.

1. В левом нижнем углу расположен результат работы модуля обнаружения дин объектов. Расположена исходная бинарная карта окружения, а справа от нее бинарная карта с обнаруженным динамическим объектом.
2. Результат слежения и оценки скорости дин объекта отображен в правом нижнем окне программы визуализации. он представляет собой прямоугольник с вектором скорости
3. Там же можно увидеть область затрат, имеющую форму двумерного номрального распределения.

Данная система позволяет планировщику траектории учитывать информацию о скорости динамических объектов, таким образом система навигации успешно корректирует траекторию, позволяя роботу избежать столкновения

**15. Тестирование системы учета дин объектов**

Для проверки систему учета дин объектов был создан симуляционный мир с 3-мя пешеходами, имеющими различные скорости движения и преед роботм стояла задача навигации в другой конец комнаты.

Для оценивания рассчитывались две величины:

1. Успешная навигация - процент от общего числа тестов, при котором робот достигает цель навигации
2. Столкновение - процент от общего числа тестов, в которых не была достигнута цель навигации из-за столкновения робота с пешеходом

Анализируя результаты, можно увидеть, что разработанная система учета динамических объектов показала более высокий процент успешной навигации во всех 3-х сценариях. Наиболее существенное улучшение происходит на третьем тесте (скорость пешеходов 1 м/с).

**16. Итоги – слайд с итогами как в конце ВКР**

В данной работе продемонстрирована реализация системы принятия решений для задачи автономной навигации в условиях динамического окружения. Целью разработки системы являлась увеличение автономности, надежности и безопасности. Этого удалось достичь за счет внедрения системы контроля и системы учета динамических объектов

Предлагаемая система способна реагировать на сбой различных компонент и предсказывать движение динамических объектов, а её архитектура также построена по принципам модульности, что упрощает дальнейшую доработку.