

1570692

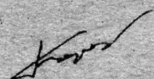
На правах рукописи

УДК 621.865.8

БОРЗЕНКОВ ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ
МНОГООСНОГО ПОДВИЖНОГО РОБОТА ЛЕГКОГО КЛАССА
С НЕПОВОРОТНЫМИ ДВИЖИТЕЛЯМИ В ОРГАНИЗОВАННОЙ
СРЕДЕ

Специальность: 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов
и производств (машиностроение)



АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2000

Работа выполнена в Московском государственном открытом университете (МГОУ).

Научный руководитель – д.т.н., профессор КАПУСТИН Н.М.

Официальные оппоненты – д.т.н., профессор Панфилов Ю.В.

к.т.н., доцент Михайлов В.А.

Ведущее предприятие - НИКИМТ

Защита состоится « 7 » декабря 2000 г. на заседании диссертационного Совета К 053.15.01 в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Телефон для справок: (095) 267-0963

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направить

С диссертацией и авторефератом просим направить в библиотеку МГТУ им. Н.Э.Баумана

Автор

Ученый

диссертации

к.т.н.

Рябов В.Т.

Подпись

№ 150m

Объект

им. Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Современные производства, связанные с изготовлением или использованием вредных веществ и опасной продукции, в силу своей технической сложности не могут быть защищены от возникновения на них аварий или террористических актов, что практически всегда сопряжено с возможностью утраты здоровья или гибелью ликвидаторов последствий аварий и сотрудников соответствующих служб безопасности. В ряде случаев человек вообще бывает непригоден для выполнения определенных работ, например в пространствах, куда он по своим антропометрическим параметрам не может проникнуть.

Опыт использования дистанционно-управляемых подвижных роботов (ПР) для ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, а также для иных работ с опасными предметами и веществами наглядно показала эффективность применения таких устройств.

Однако, управление ПР на расстоянии, в незнакомой обстановке при отсутствии непосредственного визуального контакта, ставит перед оператором сложную задачу ориентирования в пространстве по фрагментам телевизионного изображения. Расположение средств видеонаблюдения ниже естественного уровня глаз оператора, и как следствие этого - искаженный ракурс предметов, изменяет восприятие действительности и вносит ошибки в оценку размеров предметов и расстояний до них. Неадекватность восприятия может явиться причиной ошибочных действий и в итоге - привести к срыву выполнения задачи.

В этой связи представляется логичным изменить технологию управления движением ПР таким образом, чтобы отдельные операции управления, например движение по объекту к цели, можно было бы передать техническим средствам, исключив "человеческий фактор", предоставив оператору общий контроль за действиями ПР и, как крайний случай - возможность перехода на традиционное ручное управление.

Необходимость решения этой проблемы в настоящее время приобретает особую остроту в связи с возрастанием количества попыток проведения террористических актов в местах скопления людей и на транспорте. В этой связи чрезвычайную актуальность приобретают разработки по созданию автоматизированных робототехнических комплексов легкого класса, позволяющих в условиях жесткого лимита времени в кратчайший срок решать задачи поиска и обезвреживания опасных предметов и обеспечивающих при этом безопасность персонала.

Основу упомянутых комплексов должны составлять недорогие подвижные роботы легкого (до 40 кг) класса, технические возможности кото-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1570692

Борзенков В.В. Автоматизац

МГТУ
им. Н.Э. Баумана

рых позволяют гибко приспосабливать их к действиям в структурах и специфических условиях организованной среды. В настоящее время подобные комплексы оборудуются системами ручного управления и эффективность их применения полностью зависит от мастерства оператора.

Цель работы. Целью настоящей работы является повышение эффективности ведения поиска (сокращение времени движения к цели) и обезвреживания опасных предметов в незнакомой организованной среде с помощью многоосного ПР легкого класса с неповоротными движителями.

Методы исследований. Теоретические исследования проводились на основе теории автоматизированного управления, теории неопределенности, теории аналитической геометрии, теории навигации. Экспериментальные исследования особенности поведения ПР при преодолении препятствий проводились на опытной образце робототехнического комплекса легкого класса "Термит", предназначенного для обезвреживания взрывоопасных предметов (ВП). Моделирование автоматизированного процесса управления ПР при проведении поисковых работ в условиях организованной среды проводились на ЭВМ с использованием специально разработанного программного обеспечения.

Научная новизна.

Предложена и теоретически обоснована концепция автоматизированного управления движением ПР, предназначенного для ведения работ по поиску и обезвреживанию опасных предметов в условиях специфики объектов с организованной средой.

Выполнено математическое описание организованной среды, включающее: геометрическое описание среды, описание факторов сопротивления, оценку технического состояния ПР.

Научный результат. Разработана научно обоснованная методика автоматизированного управления ПР, включающая: математическую модель выбора оптимального лабиринта; математическую модель выбора оптимальной траектории движения ПР по избранному лабиринту.

На основе методики автоматизированного управления разработана динамическая модель движения ПР в организованной среде, позволяющая осуществлять в масштабе реального времени управление перемещением робота с учетом воздействия внешних возмущений.

Разработан классификатор объектов с организованной средой и сформулированы их качественные стереотипные свойства.

Практическая ценность. Результаты исследования поведения ПР, проведенных с помощью разработанной динамической модели, положены в основу пакета технических решений по автоматизации системы дистанционного управления существующего мобильного робототехнического

комплекса легкого класса “Гермит”, предназначенного для обезвреживания взрывоопасных предметов.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на VIII научно-технической конференции “Экстремальная робототехника” в ЦНИИ РТК (г.С-Петербург, апрель 1998г), на кафедре “Автоматизация производства и проектирования в машиностроении” в Московском государственном открытом университете (МГОУ) в июне 1999 г. и июне 2000 г.

Публикации. Основные материалы и результаты диссертации опубликованы в 3 печатных работах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и основных выводов, списка литературы 79 наименований, содержит 194 страницы машинописного текста, из них 34 рисунка, 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрена актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

Первая глава посвящена обзору проводившихся ранее работ по автоматизации управления подвижными роботами различного назначения. На основании проведенного анализа сформулированы задачи исследования и дана характеристика объекта исследования.

В качестве объекта исследования выступает подвижный робот легкого класса массой до 40 кг, входящий в состав мобильных комплексов для проведения специальных работ, оборудованных передвижными постами ручного дистанционного управления.

Подвижные роботы указанного класса обладают рядом уникальных особенностей: небольшими размерами, связанными с необходимостью функционирования в условиях стесненных пространств и узких проходов; небольшой массой, связанной с необходимостью быстрой доставки к месту проведения работ одним человеком; невысокой автономностью из-за ограниченности бортовых энергетических ресурсов и связанной с жесткой регламентацией внутренних объемов, выделяемых под источники автономного энергообеспечения; относительно невысокой профильной проходимостью из-за своих небольших размеров.

Пульт управления роботом устанавливается на специальной передвижной тележке – посту дистанционного управления, перемещаемого силами одного оператора. Аппаратура системы управления располагается частью на самом роботе, частью на посту дистанционного управления. На роботе располагается наименее дорогостоящая и габаритная аппаратура.

Практика применения ПР легкого класса для проведения специальных работ показывает, что основу систем управления составляют системы ручного дистанционного управления с видео наблюдением. Недостатки, присущие таким системам, компенсируются их универсальностью и высокой приспособляемостью к условиям поиска за счет навыка оператора. Вместе с тем, в процессе управления движением ПР по объекту и при маневрировании в поисках пути подхода к цели, у оператора возникает ряд вопросов, часто не имеющих очевидных решений, например: как надежно ориентироваться и определять местоположение ПР в незнакомой среде с монотонной структурой, с неясной маркировкой, с ограниченной высотой, в задымленной атмосфере и т.д.; каким образом сократить время движения ПР к точке назначения; по каким признакам определить момент выхода ПР в заданную точку; как учитывать степень влияния различных факторов сопротивления среды на характер движения и техническое состояние; как объективно оценить текущее техническое состояние ПР; как обеспечить, при необходимости, скрытность передвижения ПР и т.п.

Необходимость использования ПР для обезвреживания опасных предметов диктует ряд требований на учете которых базируется идеология автоматизированного управления его действиями. К числу таких требований относятся следующие:

а) в процессе применения ПР может быть уничтожен или выведен из строя, следовательно он не должен быть дорогим;

б) использование для управления систем, основанных на радиосигналах, а также наличие на борту ПР иных активных излучателей большого радиуса действия может создать, например, предпосылки для преждевременного срабатывания ВП, снабженного ловушкой - детектором радио-, ультразвукового и др. видов излучений. Поэтому способ передачи управляющих команд по кабелю является предпочтительным, т.к. свободен от наличия демаскирующих признаков, хотя и ограничивает подвижность ПР;

в) жесткие требования к размерам и к минимизации стоимости ПР не позволяют разместить на его борту дорогостоящее и габаритное оборудование автономного "интеллектуального" управления движением, поэтому целесообразно оснастить ПР простыми измерительными устройствами, обработку результатов которых, равно как и управление движением самого ПР, передать внешней автоматизированной системе управления;

г) в связи с отсутствием подробного описания объекта и невозможностью проведения предварительной разведки рабочей зоны из-за жесткого ограничения времени проведения работ, возможно выявление на пути движения неучтенных препятствий, обнаруживаемых по несанкционированному изменению параметров движения;

д) в целях уменьшения погрешности определения фактической величины изменения курсового угла при маневрировании, целесообразно применять бортовой поворот "на месте".

Во второй главе проведен анализ условий функционирования ПР, описана структура организованной среды, проведена классификация объектов, на которых могут проводиться поисковые работы. Дано представление о факторах воздействия среды на ПР.

Под организованной средой понимается пространство с упорядоченной внутренней структурой и совокупностью свойств, которые необходимо учитывать при планировании перемещений ПР.

Структура среды характеризуется: геометрией; элементами внутреннего содержания; наличием факторов сопротивления.

Под геометрией среды – помещением понимается трехмерное пространство ограниченного объема с горизонтальной или наклонной опорной поверхностью, на которой расположены элементы внутреннего содержания – оборудование и иные предметы внутренней обстановки. Оборудование и предметы занимают объемы, запрещенные для перемещения в нем ПР – запретные зоны.

Области пространства между запретными зонами, образуют комплекс проходов – лабиринт, внутри которого движение ПР возможно.

Особыми элементами внутреннего содержания, в отношении которых и выполняются поисковые работы, являются, так называемые цели (взрывоопасные предметы; предметы, содержащие радиоактивные или отравляющие вещества, иные опасные предметы).

К факторам сопротивления (механического, физического и химического действия) относятся: отклонение опорной поверхности от горизонтали; локальные и протяженные неподвижные препятствия; вибрации и колебания опорной поверхности; воздушные потоки; наличие на гладкой опорной поверхности слоя сыпучих и антифрикционных покрытий; физические поля; агрессивная или взрывоопасная атмосфера; наличие агрессивной жидкости на опорной поверхности.

Воздействие среды на ПР может осуществляться в прямой или косвенной формах. Прямое воздействие среды - это комплекс факторов непосредственно препятствующих или затрудняющих функционирование ПР: тактильное воздействие запретной зоны на ПР; силы сопротивления, возникающие при преодолении уклона; силовое импульсное воздействие внешней среды (ударная волна) и т.п. Косвенное воздействие среды - это комплекс факторов изменяющих эксплуатационные параметры отдельных систем ПР: воздействие физических полей (радиационных, тепловых и

пр.); световое воздействие (в т.ч. лазером); воздействие химически агрессивных веществ и паров и т.п.

Реакция ПР на возмущение, вызванное фактором прямого воздействия зависит от интенсивности и времени его действия, поэтому для своевременного принятия мер по компенсации действия каждого конкретного фактора необходимо выявлять интенсивность воздействия на начальной стадии его появления.

Из анализа возникающей при движении величины несоответствия расчетных и фактических координат места ПР – *н е в я з к и*, вытекает стратегия машинного планирования движения ПР по помещению, заключающаяся в выборе пути движения наиболее простой конфигурации с минимальным количеством поворотов, обходом участков с неясной топографией опорной поверхности и областей действия факторов сопротивления.

Реакция ПР на возмущение от фактора *к о с в е н н о г о* воздействия среды проявляется не сразу и носит накопительный характер, что требует вести учет времени пребывания ПР в зоне влияния этих факторов.

Среди разнообразия объектов с организованной средой можно выделить следующие классы: производственные помещения; территории предприятий; административные помещения; подземные коммуникации; места скопления людей; транспорт.

В третьей главе представлена методика описания организованной среды, включающая ее геометрическое описание, номенклатуру и свойства факторов сопротивления. Представлено разработанное в соответствии с предложенной методикой математическое описание среды

Геометрическое описание организованной среды включает преобразование графической информации, считываемой с первичных носителей. Первичными носителями информации могут выступать твердые копии (чертежи-планировки), либо магнитные, оптические и др. носители (дискета, лазерный диск).

Математическое описание структуры помещения содержит информацию о его границах, координатном расположении и геометрических параметрах оборудования, препятствий, иных предметов обстановки, образующих “запретные” для движения ПР зоны.

В четвертой главе представлены методики: формирования и выбора оптимального лабиринта для движения ПР; формирования траектории движения ПР. Разработана, согласно предложенной методике, динамическая модель движения ПР в среде. Проведена оценка устойчивости движения ПР под воздействием факторов сопротивления среды.

При автоматизированном способе вычленение лабиринтов произво-

дится рассечением геометрического пространства среды параллельными плоскостями перпендикулярно опорной поверхности. Точки пересечения следов плоскостей с элементами помещения и контурами "запретных" зон группируются, образуя массив из n -лабиринтов.

Диалоговый способ построения лабиринта применяется в случае необходимости соблюдения ряда условий, описание которых в формальном виде трудно или вообще нецелесообразно осуществлять и заключается в выборе самим оператором наиболее приемлемых, с его точки зрения, сочетаний проходов, составляющих лабиринт.

Критериями выбора подходящего лабиринта могут выступать: минимальное количество изгибов и поворотов; наименьшее количество известных возмущающих факторов и препятствий; требование обеспечения скрытности движения ПР; субъективные соображения оператора.

Траектория движения ПР к конечной точке пути рассчитывается внутри границ лабиринта одним из следующих способов.

Формирование траектории по конечной точке пути. При планировании движения ПР к заданной конечной точке, исходными данными являются математическое описание лабиринта и координаты начальной (стартовой) точки движения. Расчет координат опорных точек траектории производится вычислительным комплексом системы управления в следующем порядке:

а) из начальной точки $OT(0)$ местонахождения ПР к конечной точке $OT(i)$ проводится нуль-вектор (ξ_0). Если вектор пересекает хотя бы одну из границ лабиринта, то из этой же начальной точки проводится веер i -векторов в секторе 180° по 90° в сторону каждого борта (рисунок 1);

б) вычисляются координаты точек пересечения i -векторов с границами лабиринта (рисунок 2);

Если на ПР не используются средства активной локации или его движение должно происходить в зоне запрета использования указанных средств, то за границу лабиринта принимается граница "опасного сближения", которая и участвует во всех последующих расчетах;

в) по обе стороны каждого вектора на расстоянии половинной габаритной ширины ПР проводятся параллельные прямые, образующие "полосу движения" вдоль вектора;

г) каждая "полоса движения" проверяется на отсутствие пересечения с границами лабиринта. Векторы, чьи "полосы движения" пересекают границы лабиринта, из дальнейшего анализа исключаются;

д) оставшиеся векторы анализируются по величинам их длин и углов отклонения от направления на конечную точку. Оптимальным считается

Граница зоны запрета активной локации

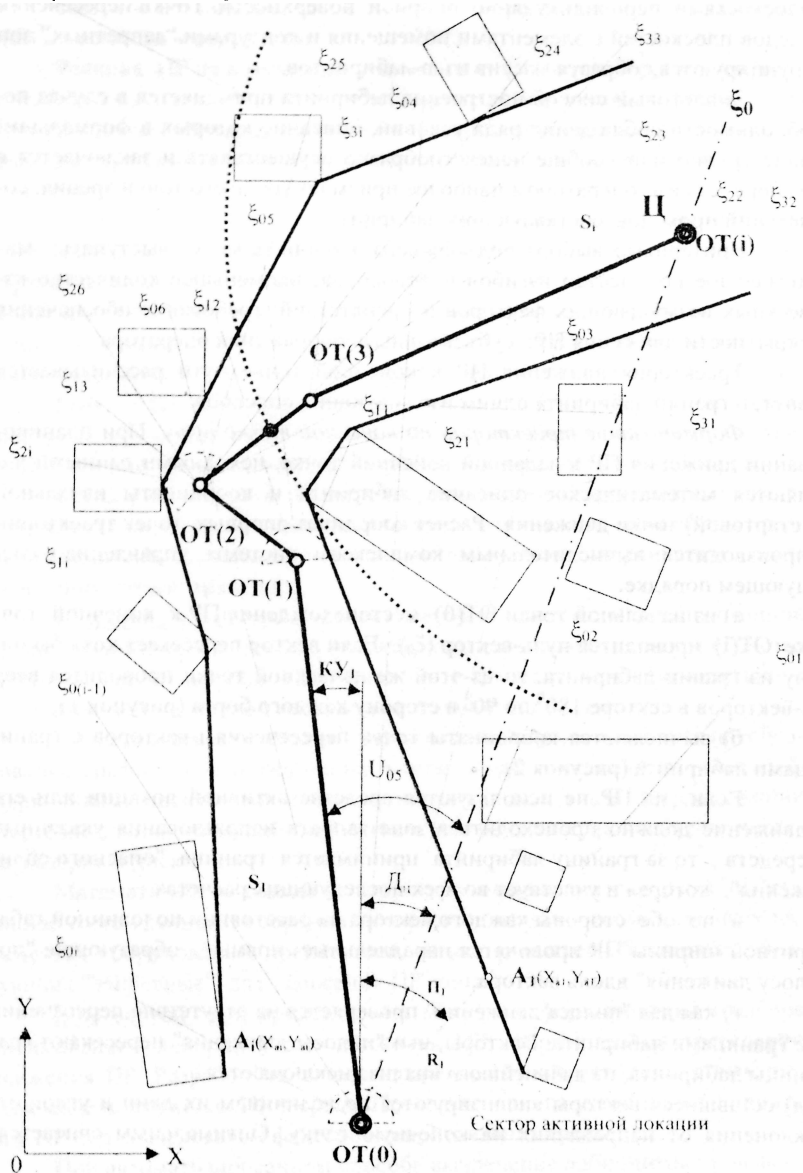


Рисунок 1. Расчет координат опорных точек траектории

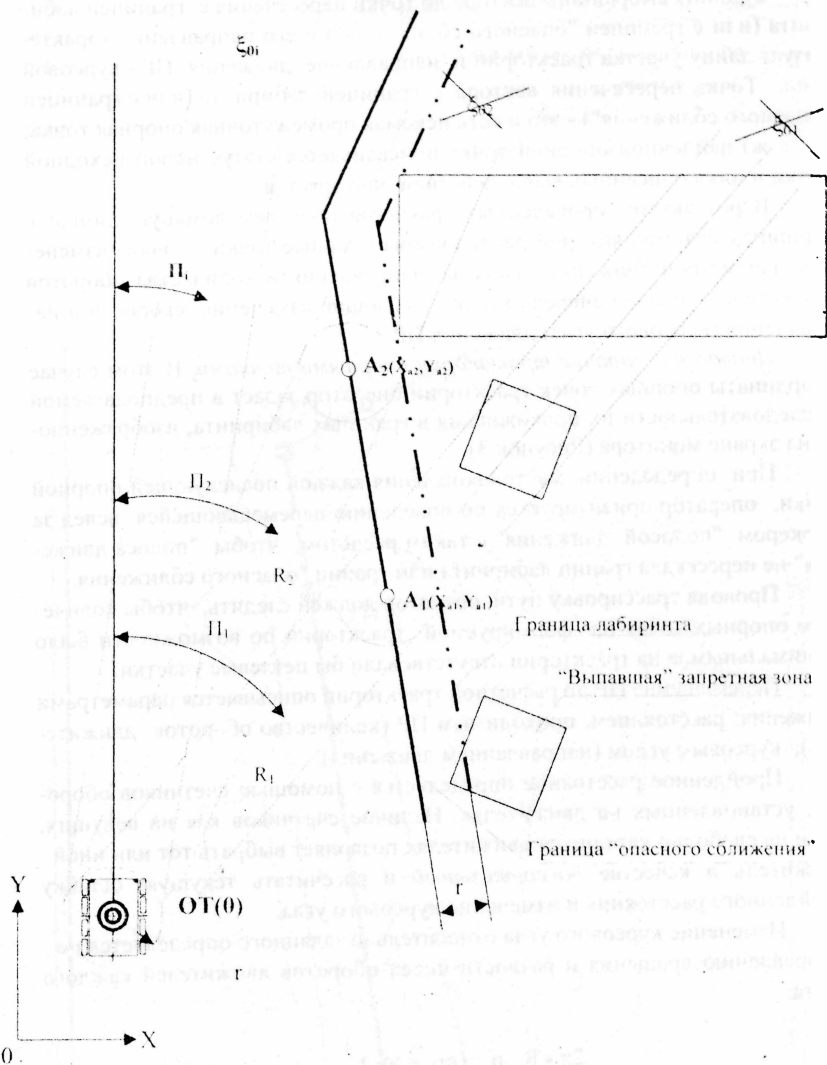


Рисунок 2. Определение координат опорных точек траектории

соотношение: длина $R_i = \max$ и угол отклонения $\Pi_i = \min$ (рисунок 2);

е) длина выбранного вектора до точки пересечения с границей лабиринта (или с границей "опасного сближения") и его направление характеризует длину участка траектории и направление движения ПР - курсовой угол. Точка пересечения вектора с границей лабиринта (или с границей "опасного сближения") - это и есть искомая промежуточная опорная точка;

ж) найденной опорной точке присваивается статус новой исходной точки и цикл описанных выше действий повторяется.

В результате проведенных расчетов получаем ломаную линию в вершинах изломов которой расположены опорные точки - точки изменения параметров движения: частоты, направления и количества оборотов движителей, в свою очередь характеризующие изменение скорости и направления (курсового угла) движения ПР.

Диалоговое задание траектории опорными точками. В этом случае координаты опорных точек траектории оператор задает в предполагаемой последовательности их прохождения в границах лабиринта, изображенного на экране монитора (Рисунок 3).

При определении местонахождения каждой последующей опорной точки, оператор ориентируется по поведению перемещающейся вслед за маркером "полосой движения" с таким расчетом, чтобы "полоса движения" не пересекала границ лабиринта или границ "опасного сближения".

Проводя трассировку пути, оператор должен следить, чтобы количество опорных точек на формируемой траектории по возможности было минимальным, а на траектории отсутствовали бы петлевые участки.

Перемещение ПР по расчетной траектории описывается параметрами движения: расстоянием, проходимым ПР (количество оборотов движителей); курсовым углом (направлением движения).

Пройденное расстояние определяется с помощью счетчиков оборотов, установленных на движителях. Наличие счетчиков как на ведущих, так и на свободно катящихся движителях позволяет выбрать тот или иной движитель в качестве *доверительного* и рассчитать текущую ошибку пройденного расстояния и изменение курсового угла.

Изменение курсового угла относительно заданного определяется по направлению вращения и разности чисел оборотов движителей каждого борта:

$$\Delta КУ(i) = \frac{2\pi \cdot R}{n \cdot B} \sum_{i=1}^n \frac{(m_{1i} - m_{2i})}{\cos \varphi_i} \cdot (1 - S_{срi}) \quad (1)$$

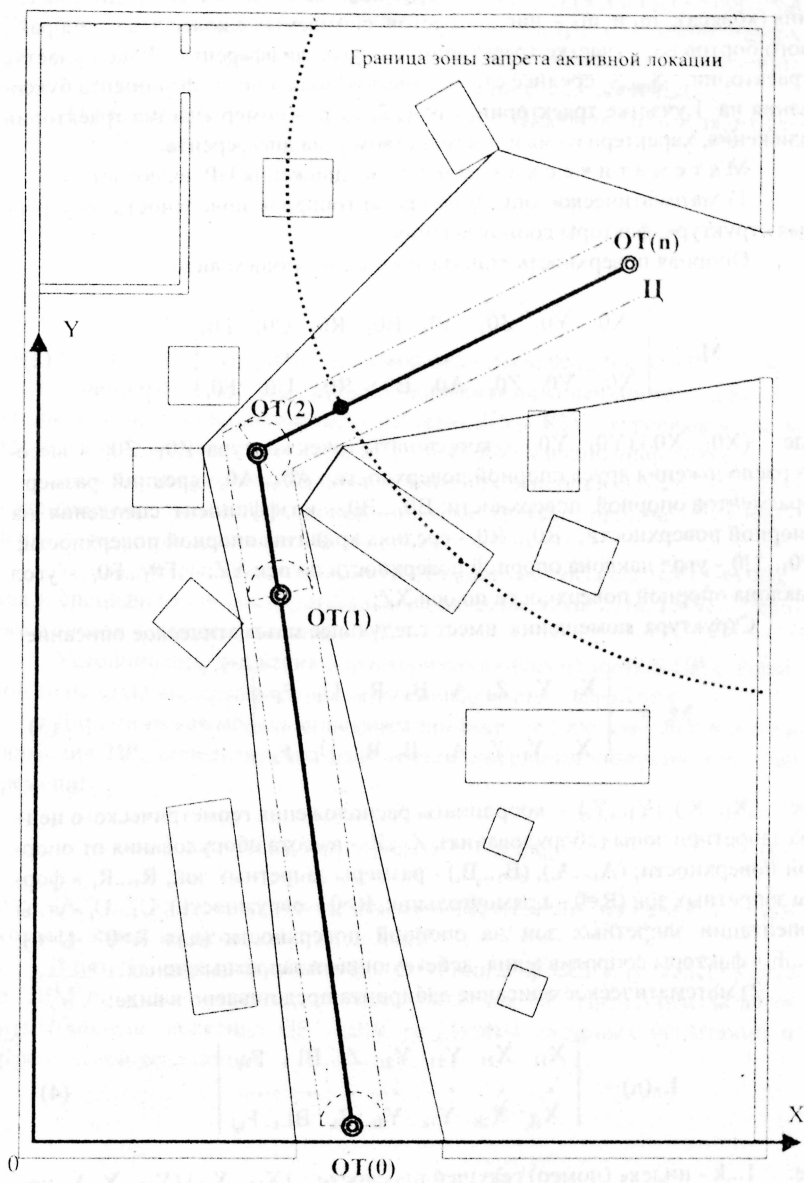


Рисунок 3. Формирование траектории диалоговым способом

где: p – число отметок за один оборот колеса; B – колея; R – радиус качения (колеса); m_1 и m_2 – число отметок, снимаемых с колес левого и правого бортов на i -участке траектории; v_i – угол дифферента ГП на i -участке траектории; $S_{\text{ср}}$ – среднее статистическое значение коэффициента буксования на i -участке траектории; $i = 1, 2, \dots, p$ – номер участка траектории движения, характеризуемый постоянством угла дифферента.

Математическая модель движения ГП включает:

1) математическое описание среды (опорная поверхность, внутренняя структура, факторы сопротивления):

Опорная поверхность описывается в следующем виде:

$$M_{\text{oj}} = \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 & Z_0 & A_0 & B_0 & R_0 & U_0 & F_0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_0 & Y_0 & Z_0 & A_0 & B_0 & R_0 & U_0 & F_0 \end{vmatrix} \quad (2)$$

где: $(X_0 \dots X_0), (Y_0 \dots Y_0)$ – координаты точек контура; $Z_0 \dots Z_0$ – высота расположения яруса опорной поверхности; $A_0 \dots A_0$ – средний размер фрагментов опорной поверхности; $B_0 \dots B_0$ – коэффициент сцепления на опорной поверхности; $R_0 \dots R_0$ – средняя кривизна опорной поверхности; $U_0 \dots U_0$ – угол наклона опорной поверхности по оси YZ ; $F_0 \dots F_0$ – угол наклона опорной поверхности по оси XZ ;

Структура помещения имеет следующее математическое описание:

$$M_s = \begin{vmatrix} X_i & Y_i & Z_i & A_i & B_i & R_i & U_i & F_i \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_i & Y_i & Z_i & A_i & B_i & R_i & U_i & F_i \end{vmatrix} \quad (3)$$

где: $(X_i \dots X_i), (Y_i \dots Y_i)$ – координаты расположения геометрического центра запретной зоны (оборудования); $Z_i \dots Z_i$ – высота оборудования от опорной поверхности; $(A_i \dots A_i), (B_i \dots B_i)$ – размеры запретных зон; $R_i \dots R_i$ – формы запретных зон ($R=0$ – прямоугольник, $R>0$ – окружность); $U_i \dots U_i$ – углы ориентации запретных зон на опорной поверхности (для $R>0$ $U=0$); $F_i \dots F_i$ – факторы сопротивления, действующие в запретных зонах.

2) математическое описание лабиринта представлено в виде:

$$L_A(n) = \begin{vmatrix} X_{11} & X_{21} & Y_{11} & Y_{21} & Z_1 & BL_1 & F_{1j} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_{1k} & X_{2k} & Y_{1k} & Y_{2k} & Z_k & BL_k & F_{kj} \end{vmatrix} \quad (4)$$

где: $1 \dots k$ – индекс (номер) текущей плоскости; $(X_{11} \dots X_{1k}), (Y_{11} \dots Y_{1k})$ – ко-

ординаты точек 1-ой границы лабиринта; $(X_{21}...X_{2k}), (Y_{21}...Y_{2k})$ - координаты точек 2-ой границы лабиринта; $Z_1...Z_k$ - высота яруса опорной поверхности; $BL_1...BL_k$ - ширина лабиринта (свободного прохода) в $1...k$ сечении; $F_{1j}...F_{kj}$ - j -фактор сопротивления, действующий в $1...k$ сечении.

3) математическое описание траектории движения ПР выглядит следующим образом:

$$TR = \begin{vmatrix} X_{от}(0) & Y_{от}(0) & S_1 & KY_1 \\ X_{от}(i-1) & Y_{от}(i-1) & S_i & KY_i \\ X_{от}(i) & Y_{от}(i) & S_0 & KY_0 \end{vmatrix} \quad (5)$$

где: $X_{от}(0), Y_{от}(0)$ - координаты начальной точки; $X_{от}(i-1), Y_{от}(i-1)$ - координаты опорных точек; $X_{от}(i), Y_{от}(i)$ - координаты конечной точки; $S_1...S_i$ - длины участков между опорными точками; $KY_1...KY_i$ - курсовые углы на последующие опорные точки; S_0, KY_0 - $S=0, KY=0$ в конечной точке.

4) массивы уставок. Включают значения реперных функциональных и контрольных параметров, при достижении которых производится изменение параметров движения ПР.

5) параметры ходовой части ПР. Определяют особенности управления и специфические эксплуатационные качества устройств, на базе которых ходовая часть реализована.

Устойчивость движения характеризуется способностью ПР с заданной точностью выдерживать назначенные параметры движения.

Динамическая модель описывает процесс невозмущенного движения ПР, определяемого изменением координат опорных точек во времени:

$$[X_i(t), Y_i(t)] - [X_i''(t), Y_i''(t)] \leq C_i \quad (6)$$

где: $[X_i''(t), Y_i''(t)]$ - координаты закона возмущенного движения; C_i - постоянная заданной величины; $i = 1, 2, ..., k$.

В пятой главе дано описание и результаты проведения эксперимента на ЭВМ по моделированию процесса движения ПР. Представлены алгоритмы модели движения ПР. Даны результаты натурных испытаний и практической реализации.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Использование ПР легкого класса в экстремальных условиях при дефиците времени вызвано необходимостью обеспечения его скорейшей доставки к месту выполнения действий по нейтрализации и удалению опасных предметов, а также для проведения специальных работ в стесненных пространствах, куда в силу ряда объективных обстоятельств доступ человеку запрещен.

2. Анализ обобщенных свойств искусственных объектов, позволил сгруппировать их по функциональному назначению и выработать структурное представление организованной среды в виде набора взаимосвязанных геометрических образов и их характерных свойств.

3. Количественными критериями оценки характера взаимодействия ПР с организованной средой целесообразно принять параметры движения по показаниям отсчетных устройств: проходимое расстояние и курсовой угол.

4. Необходимо компенсировать влияние факторов сопротивления, выявляемых в процессе движения на начальной стадии их действия: количественно - прямых и с учетом времени действия - косвенных.

5. Механизмы и характер воздействия на ПР факторов сопротивления требуют проведение расчета поправок для компенсации последствий их возмущающих воздействий.

6. Методику автоматизированного управления и динамическую модель движения ПР в организованной среде рекомендуется применять для сокращения времени проведения поисковых работ и оптимизации расхода бортовых энергоресурсов ПР, а также для исключения ошибок оператора, связанных с неоднозначностью восприятия им незнакомой окружающей обстановки по телевизионному изображению.

7. Разработанный классификатор объектов с их качественными стереотипными свойствами, следует применять при планировании проведения поисковых работ на объекте конкретного целевого назначения.

8. Предложенную концепцию автоматизированного управления движением ПР легкого класса в среде с организованной внутренней структурой, основанную на математическом моделировании этой среды и процессов взаимодействия ее структурных составляющих с движущимся ПР, можно распространить и на подвижные роботы более высоких классов (среднего и тяжелого), применяемых для аналогичных разовых работ на объектах с организованной средой.

9. Математическое описание организованной среды на основе ее геометрического описания и описания факторов сопротивления необходимо использовать для объективной количественной оценки текущего состояния объекта и прогнозирования изменения этого состояния во времени.

10. Результаты выполненных исследований положены в основу пакета технических решений по модернизации (автоматизации) системы дистанционного управления мобильного робототехнического комплекса легкого класса "Термит", предназначенного для обезвреживания взрывоопасных предметов (ВП).

Основные положения диссертации представлено в работах:

1. Капусгин Н.М., Борзенков В.В. Автоматизация поиска цели подвижными роботами специального назначения в организованной среде // Вестник машиностроения. - 1998. - №9. - С.44-49.

2. Капустин Н.М., Борзенков В.В. Управление мобильными роботами в организованной среде // Экстремальная робототехника: Материалы VIII научно-технической конференции. - СПб., 1998. - С.209-218.

3. Борзенков В.В. Динамическая модель движения подвижного робота в организованной среде // Приводная техника. - 1999. - № 9/10. - С.29-33.