

**Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
Институт ИММИТ**

На правах рукописи

Харузин Сергей Вадимович

**Система управления движением мобильного робота с трансформируемой
рамой**

Направление подготовки

Код и наименование

Направленность

Код и наименование

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Автор работы: Харузин Сергей
Вадимович

Научный руководитель: д. т. н., проф.,
Волков Андрей Николаевич

Санкт Петербург – 2019

Научно-квалификационная работа выполнена в ВШ/на кафедре Института ИММИТ федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Директор ВШ/зав. кафедрой: – *Волков Андрей Николаевич, д. т. н., проф.*

Научный руководитель: – *Волков Андрей Николаевич, д. т. н., проф.*

Рецензент: – *Тимофеев Андрей Николаевич, Профессор, кафедра «Автоматы»*

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: <http://elib.spbstu.ru>

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Для обеспечения перемещения роботизированных колесных и гусеничных транспортных средств по поверхностям с препятствиями, вертикальные габариты которых сопоставимы с размерами движителей, применяются конструктивные решения, реализующие активную трансформацию подвески (колесно-шагающие машины) и/или рамы мобильной платформы. При управлении трансформируемой платформой оператором, наблюдающим одновременно препятствие и робот, адаптивная трансформация подвески/рамы представляется нетривиальной, но выполнимой задачей. В условиях практически интересного применения роботов визуальная информация ограничена изображением, поступающим с бортовых камер. Показания экстерорецептивных и проприорецептивных датчиков системы управления робота, могут частично дополнить недостающую информацию. Однако, из-за недостаточности информации или ее многоканальности, телеоператорное управление многостепенным устройством оказывается практически нереализуемым. Поэтому для обеспечения эффективного движения устройства в среде с произвольными пространственными препятствиями необходимо решение задачи автоматизации, либо обеспечения полной автономности управления трансформацией платформы.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка и исследование модели системы управления мобильного робота с трансформируемой рамой при движении в средах с недетерминированной структурой.

Для достижения поставленной цели в рамках работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработка виртуальной модели механической и исполнительной систем робота с трансформируемой рамой;
2. Разработка модели полуавтономной системы управления движением мобильного робота;
3. Разработка системы классификации пространственных препятствий, преодоление которых осуществляет устройство при реализации рабочих сценариев;
4. Апробирование эффективности разработанной модели СУ методом виртуального моделирования;
5. Разработка системы оптимизации элементарных действий, реализуемых транспортным средством при движении в среде с препятствиями;
6. Апробирование эффективности оптимизированной модели СУ.

Научная новизна

Новизна представленной работы заключается в следующем:

1. Предложена системы управления адаптивным полуавтономным движением мобильного робота с гиперизбыточной трансформируемой рамой, кинематическая структура которого обеспечивает выполнение рабочих операций в более широком спектре возможных сценариев за счет конструктивно увеличенных способностей к пассивной и активной адаптации к неровностям и объектам рабочей среды;
2. Предложенная модель системы управления учитывает избыточность структуры мобильного робота и обеспечивает эффективное использование исполнительных систем при перемещении по препятствиям различных типов.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в проведенном анализе кинематических свойств гиперизбыточной кинематической структуры трансформируемой рамы мобильного робота, в предложенных алгоритмических решениях, рекомендованных ко включению в состав СУ подобных устройств.

Практическая значимость результатов работы заключается в возможности непосредственного использования представленных в диссертации алгоритмических решений в составе мобильных роботов, предназначенных для выполнения рабочих операций в условиях загроможденной среды.

Апробация работы

Основные результаты исследований, полученных в диссертации, докладывались на следующих конференциях:

1. Журнал «Научно-технические ведомости СПбПУ. Информатика, Телекоммуникации, Управление» (Санкт-Петербург, 2017);
2. Научная конференция с международным участием «ДАААМ» (Задар, Хорватия, 2017).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 2 работы, из них 1 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 – в сборниках конференций, включенных в список SCOPUS.

Представление научного доклада: основные положения

В диссертации защищается следующее научное положение: Мобильная платформа с трансформируемой рамой и включенная в ее состав полуавтономная система управления движением обеспечивает автономную адаптацию локомоционных режимов к препятствиям рабочей среды. Система может быть включена в состав алгоритмических блоков бортовых

вычислителей роботов вездеходов, способных к активному изменению морфологии корпуса в целях адаптации к неровностям рабочей поверхности.

Для подтверждения этих положений в диссертации выполнены следующие исследования:

1. Проведен анализ современного технического состояния разработок мобильных платформ сложной кинематической структуры;
2. Проанализированы современные алгоритмы управления движением мобильных платформ;
3. Предложена структура системы управления автономным движением шестиколёсной повозки с активно трансформируемой рамой по поверхности с недетерминированным рельефом;
4. Разработаны алгоритмы управления движением при преодолении произвольной последовательности препятствий типа эскарп, ров и спуск.

Объекты, (предмет) и методы исследования

Объектом исследования является модель системы управления полуавтономным движением мобильного робота с трансформируемой рамой в рабочей среде с недетерминированными препятствиями.

Методологической основой проведенного исследования стали труды российских и зарубежных авторов. Методом исследования является компьютерное моделирование с помощью программных пакетов “SolidWorks”, “MSC ADAMS” и “RecurDyn”.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Виртуальная модель мобильного робота

Изображение 3D CAD-модели трансформируемой колесной платформы с девятью приводами приведено на рисунке 1 (а). Платформа состоит из трех

двухколесных модулей (поз. 1-3). Оси вращения мотор-колес (поз. 4-9) имеют фиксированное положение на модулях. Трансформация рамы происходит с помощью приводов поступательного перемещения переднего и заднего модулей (поз. 1, 2) относительно среднего (поз. 3). Расстояние от мостов модулей до моста среднего модуля может увеличиваться на 33% от номинального расстояния. Привод шарнира вращения на среднем модуле обеспечивает поворот переднего модуля вокруг оси своего моста в диапазоне $\pm 90^\circ$. Выявление препятствий и определение их типа происходит по показаниям трех зафиксированных на модулях датчиков и двух двухосевых инклинометров на переднем и заднем модулях. Направления измерения датчиков (поз. 1) и (поз. 2-3) на рисунке 1 (б) образуют с горизонтальными плоскостями модулей углы 30° и 45° соответственно.

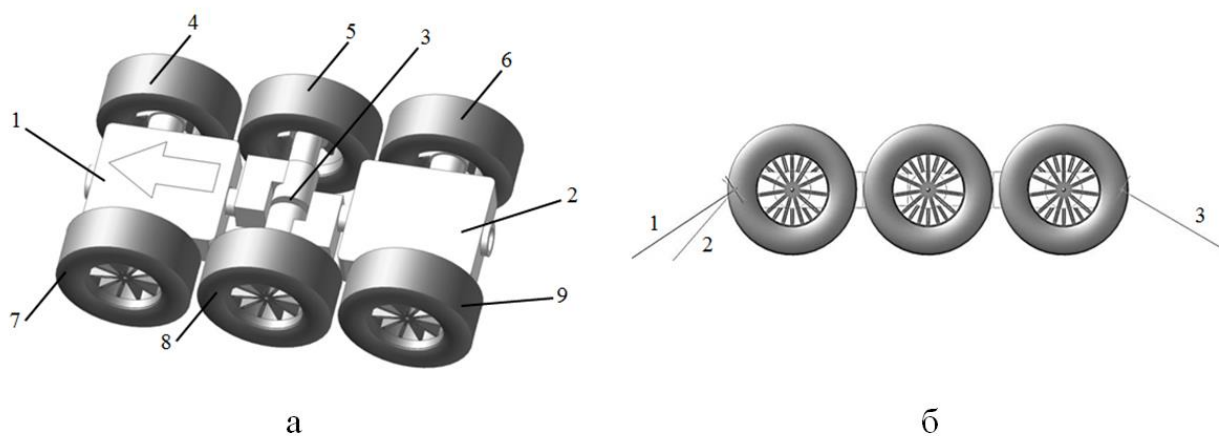


Рисунок 1 – 3D CAD-модель трансформируемой колесной платформы (а) и схема расположения датчиков (б)

Виртуальная модель системы управления

Управление виртуальной моделью колесной платформы осуществляется посредством приложения к исполнительным механизмам соответствующие рассчитанных вращающих моментов и силы. На каждом шаге интегрирования уравнений, описывающих поведение механической

модели колесной платформы и опорной поверхности, среда моделирования осуществляет обращение к блоку формирования управляющих воздействий. Блок представляет собой итерационно исполняемую функцию, написанную на объектно-ориентированном языке программирования С#. На вход блока поступает 15 значений переменных, которые характеризуют поведение управляемых объектов. В свою очередь, с блока в среду конечно-разностного моделирования поступают 9 значений переменных, характеризующих величины управляющих воздействий, прикладываемых к различным элементам исполнительной системы виртуальной модели платформы.

В формировании управляющих воздействий участвуют следующие величины (соответствующие входам рассматриваемого блока):

1. Измеряемая относительная угловая скорость переднего правого колеса;
2. Измеряемая относительная угловая скорость переднего левого колеса;
3. Измеряемая относительная угловая скорость среднего правого колеса;
4. Измеряемая относительная угловая скорость среднего левого колеса;
5. Измеряемая относительная угловая скорость заднего правого колеса;
6. Измеряемая относительная угловая скорость заднего левого колеса;
7. Измеряемая величина выдвигания переднего модуля;
8. Измеряемая величина выдвигания заднего модуля;
9. Текущее время моделирования;
10. Измеряемый угол вращения переднего модуля относительно горизонтальной оси;
11. Измеряемый относительный угол сгиба колесной платформы;
12. Расстояние от точки установки переднего лазера до ближайшего полигона опорной поверхности (лазер ориентирован под углом -30° градусов относительно продольной оси переднего модуля, его луч расположен в сагиттальной плоскости);
13. Расстояние от точки установки переднего лазера до ближайшего полигона опорной поверхности (лазер ориентирован под углом -45°

градусов относительно продольной оси переднего модуля, его луч расположен в сагиттальной плоскости);

14. Расстояние от точки установки заднего лазера до ближайшего полигона опорной поверхности (лазер ориентирован под углом -45° относительно продольной оси переднего модуля, его луч расположен в сагиттальной плоскости);
15. Измеренный угол вращения заднего модуля относительно горизонтальной оси.

В среду конечно-разностного моделирования механической системы виртуальной модели колесной платформы поступают следующие значения:

1. Величина вращающего момента, прикладываемого к переднему правому колесу;
2. Величина вращающего момента, прикладываемого к переднему левому колесу;
3. Величина вращающего момента, прикладываемого к среднему правому колесу;
4. Величина вращающего момента, прикладываемого к среднему левому колесу;
5. Величина вращающего момента, прикладываемого к заднему правому колесу;
6. Величина вращающего момента, прикладываемого к заднему левому колесу;
7. Задаваемая величина выдвижения переднего модуля;
8. Задаваемая величина выдвижения заднего модуля;
9. Величина вращающего момента, сгибающего колесную платформу.

Для формирования силы реакции опоры, возникающей при контакте между колесами и опорной поверхностью, используется модель, поведение которой определяется выражением:

$$f_n = k\delta^{m1} + c \frac{\dot{\delta}}{|\dot{\delta}|} |\delta|^{m2} \delta^{m3},$$

где f_n – результирующая сила реакции опоры,

k – коэффициент жесткости,

c – коэффициент демпфирования,

δ – величина проникновения одного элемента в другого,

$m1, m2, m3$ – константы, используемые для введения нелинейной составляющей в модель контактного взаимодействия.

Обеспечивающая движение с преодолением препятствий система управления робота содержит блоки в соответствии с нижеописанными пунктами. На основе обновляемой с заданной частотой информации, поступающей с экстерорецептивных и проприорецептивных датчиков, правил классификации препятствий и целевых функций, блок генерации заданий формирует временные зависимости, задающие движение приводов в интервале обновления. Регулятор выполняет стандартную роль, формируя управляющие сигналы по рассогласованию задаваемого и наблюдаемого состояния. Минимальное число проприорецептивных датчиков соответствует числу приводов робота. Количество датчиков внешней среды (экстерорецептивных) должно быть достаточным для классификации препятствий и ориентации робота. Препятствия могут быть разделены на три класса: (1) допускающие движение с пассивно адаптирующейся подвеской, (2) требующие для преодоления активную трансформацию рамы, (3) препятствия, не преодолимые при любых допустимых конфигурациях рамы платформы. Для препятствий первого и второго класса реализуются правила поведения при преодолении типовых препятствий. В третьем классе реализуются алгоритмы остановки и возврата в номинальное (движение с пассивно трансформируемой подвеской) состояние.

Ниже рассмотрены стратегии поведения платформы в пяти типовых сценариях: подъем на эскарп, спуск с эскарпа, преодоление рва, простое движение вперед, экстренная остановка при выявлении непреодолимого препятствия. Каждому типовому сценарию соответствует свой режим движения. Из номинального режима, которому соответствует сценарий простого движения вперед, возможен переход в режим преодоления эскарпа, режим спуска с эскарпа, режим преодоления рва и режим экстренной остановки. Первые три режима преодоления типовых препятствий характеризуются этапами последовательно выполняемых трансформаций рамы платформы. По завершении последнего этапа трансформации происходит выход в номинальный режим.

Выявление наличия препятствия и его типа происходит по значениям прогнозируемой высоты препятствия и прогнозируемого расстояния до него. Под прогнозируемой высотой препятствия понимается длина вертикальной проекции отрезка, соединяющего точку падения луча дальномера и точку опоры средних или же передних (для дальномеров, установленных в переднем модуле) колес. Для расчета параметров, связанных с задним дальномером, принимается, что либо средние, либо задние колеса контактируют с опорной поверхностью. Под прогнозируемым расстоянием понимается горизонтальная проекция отрезка, соединяющего точку падения и точку испускания луча дальномера. Ниже приведен расчет указанных величин на примере дальномера переднего модуля. Схема расчета приведена на рисунке 2.

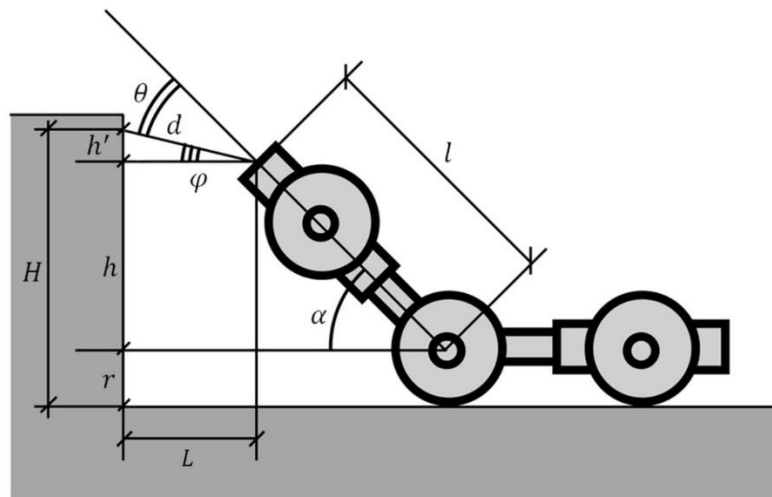


Рисунок 2 – Схема расчета измеряемой высоты препятствия и измеряемого расстояния до него

Расчет прогнозируемых высоты H и расстояния L происходит в соответствии с выражениями:

$$H = r + l * \sin(\alpha) + d * \sin(\alpha - \theta),$$

$$L = d * \cos(\alpha - \theta),$$

где r – радиус колеса; l – расстояние от оси средних колес до точки испускания луча дальномера; d – отрезок, соединяющий точку испускания луча дальномера и точку его падения; α – угол наклона переднего модуля относительно заднего; θ – угол, характеризующий направление луча дальномера.

Определение наличия препятствия в непосредственной близости от платформы происходит по показаниям первого и второго дальномеров. В случае, если прогнозируемая высота датчика 2 соответствует углублению, глубина которого превышает радиус колеса, а прогнозируемая длина датчика 1 показывает, что расстояние до стенки рва (наличие стенки определяется по рассогласованию прогнозируемых высот датчиков 1 и 2) меньше либо равно расстоянию между колесами платформы с максимально выдвинутыми модулями, то активируется режим преодоления рва. Если ширина рва превышает расстояние между колесами платформы, активируется режим

спуска с эскарпа. Препятствие типа эскарп соответствует прогнозируемой высоте датчика 2, превышающей четверть радиуса колеса. Активация режима при относительно малой высоте эскарпа необходима, чтобы обеспечить его преодоление при малом коэффициенте трения между опорной поверхностью и колесами. Если прогнозируемая высота препятствия превышает установленные пределы, то активируется режим экстренной остановки. В качестве предельных выбраны значения прогнозируемой глубины или высоты, составляющие ± 560 мм. Эта величина соответствует максимальной высоте эскарпа, на которую возможен подъем колеса переднего модуля с учетом толщины модуля. Если прогнозируемая высота лежит в диапазоне от $-r/2$ до $r/4$, то активен номинальный режим движения.

С виртуальной модели мобильного робота и рабочей среды в систему формирования управляющих сигналов поступают показания экстерорецептивных и проприорецептивных датчиков. В случае с гусеничной платформой проприорецептивная информация представлена показаниями энкодеров, расположенных в двух ведущих колесах левой и правой гусеничных систем. Аналогичная информация для колесной платформы представлена показаниями энкодеров каждого из колес, а также показаниями абсолютных датчиков угла, установленных в сочленениях манипулятора. Экстерорецептивная информация представлена данными об абсолютном положении МР в глобальной системе координат и его ориентации в ней. Эта информация поступает на блок системы формирования управляющих сигналов, который с заданной частотой (во время виртуальных экспериментов частота составляла 100 Гц) сравнивает ее с заданием на текущее задаваемое положение МР (путевая точка) и используется при формировании заданий на вращение ведущих колес. Информация с энкодеров и угломеров используется для формирования рассогласований, которые затем подаются на входы ПД и ПИД-регуляторов, играющих в этой системе стандартную роль по формированию величин вращающих моментов. Величина сформированного вращающего момента затем проходит через ограничитель, который

имитирует физически максимально достижимую приводом величину вращающего момента. Величина определяется на основе характеристик реальных двигателей, предложенных к использованию в составе модульной платформы.

На вход системы формирования управляющих сигналов поступает информация о текущих скоростях вращения ведущих колес, текущее время моделирования, временной интервал, через которых происходит расчет параметров (имитирует время отклика бортового вычислителя), абсолютные углы поворота звеньев манипулятора (если он включен в комплектацию), координаты устройства в глобальной системе координат, углы ориентации устройства в глобальной системе координат (имитация показаний компаса и инклинометров), массив координат путевых точек. Выходами системы являются величины рассогласований задаваемых и текущих скоростей вращения колес и положений звеньев манипулятора.

Система настройки блока адаптивной трансформации

Эффективность предложенных алгоритмов апробирована при движении по полосе из последовательно расположенных типовых препятствий. Однако в случаях практически интересного применения (при движении по пересеченной местности или в урбанистической среде с преобладающим недетерминированным характером подстилающей поверхности) очевидны ограничения СУ предложенной структуры. Главным ограничением является последовательный характер выполнения алгоритмов при преодолении препятствия (в реальных условиях топология препятствий, как правило, сложнее рассмотренной), а также строгая детерминированность условий выхода из подпрограммы преодоления конкретного препятствия (при движении по неустойчивым поверхностям подобное условие может быть не достигнуто). Поэтому предложена структура системной надстройки, определяющей поведение платформы не в зависимости от выявленной ранее геометрии среды, а в зависимости от текущей ситуации (что включает в себя как параметры внешней среды, так и внутренние параметры платформы).

Анализ публикаций показал, что одним из наиболее гибких и широко распространенных в гусеничной и шагающей робототехнике подходов, обеспечивающих достаточную степень адаптируемости роботизированных платформ, является включение в состав систем управления блоков планирования трансформаций устройства, настроенных в соответствии с методами обучения с подкреплением, в частности, Q-Learning.

Система, настроенная в соответствии с методом Q-Learning с определенной в процессе обучения вероятностью осуществляет выбор действия (в рассматриваемом случае – режима активной/пассивной трансформации платформы) в зависимости от текущего состояния внешней среды и устройства (т. е. показаний датчиков). Прежде всего определим набор действий (режимов), каждое из которых во время настройки системы будет выбираться и реализовываться с определенной вероятностью. Ввиду относительной сложности решаемой задачи (механическая система устройства имеет в своем составе 5 активных шарниров, которые могут работать как в пассивном, так и в активном режимах, а также 6 мотор-колес) имеет смысл в качестве действий ввести набор базовых трансформаций (архетипы которых рассмотрены в предыдущем разделе), характер воздействия которых подвергается модификации, степень которой определяется исходя из текущего состояния платформы и соображений безопасности. Таким образом действие/режим трансформации описываются выражениями:

$$p = \begin{pmatrix} \alpha_1 k_1 + (1 - k_1) \alpha_{s1} \\ l_1 k_2 + (1 - k_2) l_{s1} \\ l_2 k_3 + (1 - k_3) l_{s2} \\ \alpha_2 k_4 + (1 - k_4) \alpha_{s2} \\ \alpha_3 k_5 + (1 - k_5) \alpha_{s3} \end{pmatrix},$$

$$c = \begin{pmatrix} mode_1 \\ mode_2 \\ mode_3 \\ mode_4 \\ mode_5 \end{pmatrix},$$

$$\omega = \begin{pmatrix} \omega_1 k'_1 + (1 - k'_1) \omega_{s1} \\ \omega_2 k'_2 + (1 - k'_2) \omega_{s2} \\ \omega_3 k'_3 + (1 - k'_3) \omega_{s3} \\ \omega_4 k'_4 + (1 - k'_4) \omega_{s4} \\ \omega_5 k'_5 + (1 - k'_5) \omega_{s5} \\ \omega_6 k'_6 + (1 - k'_6) \omega_{s6} \end{pmatrix},$$

где α_1 – задаваемый угол вращения срединного шарнира платформы,

l_1 и l_2 – задаваемые длины выдвижения заднего и переднего модулей соответственно,

α_2 и α_3 – задаваемые углы вращения переднего и заднего модулей относительно осей выдвижения,

$mode_1 \dots mode_5$ – параметры, определяющие в режим, в котором работает шарнир (активном или пассивном),

$k_1 \dots k_5$ – коэффициенты, характеризующие степень приближения задаваемого значения к небезопасному значению,

$\alpha_{s1}, \alpha_{s2}, \alpha_{s3}, l_{s1}, l_{s2}$ – допустимые из соображений безопасности значения задаваемых величин,

$\omega_1 \dots \omega_6$ – задаваемые значения угловых скоростей вращения мотор-колес,

$\omega_{s1} \dots \omega_{s6}$ – допустимые из соображений безопасности значения угловых скоростей вращения мотор-колес,

$k'_1 \dots k'_6$ – коэффициенты, характеризующие степень приближения задаваемой угловой скорости вращения мотор-колеса к небезопасному значению.

В общем случае выражения для расчета коэффициента, ограничивающего движение вращающегося шарнира формулируется в виде

(выражения для поступательных шарниров и мотор-колес формулируются аналогично):

$$k_i = \frac{1}{1 + e^{-\frac{\gamma x_i}{|x_i - \alpha_i|}}},$$

$$\alpha_i \in (x_i - \delta, x_i + \delta),$$

где γ – коэффициент, определяющий скорость спада/нарастания сигмоиды,

x_i – предельно допустимое значение поворота шарнира в текущих условиях,

δ – величина, характеризующая ширину малой окрестности предельно допустимого значения поворота активного шарнира.

Таким образом действие, совершаемое устройством, записывается в виде:

$$a = (p, c, \omega).$$

При этом состояние устройства определяется набором показания проприорецептивных и экстерорецептивных датчиков:

$$s = (s_{i1}, \dots, s_{i11}, s_{e1}, \dots, s_{e5}),$$

где s_{i1}, \dots, s_{i11} – показания проприорецептивных датчиков,

s_{e1}, \dots, s_{e5} – показания экстерорецептивных датчиков.

Определим функцию $Q(c, s)$, с помощью которой производится оценка ожидаемой суммы наград, полученных устройством в состоянии s и режиме работы шарниров и которая, фактически, представляет собой вероятность выбора действия настроенной системой:

$$Q(s, a) = \sum_{a'} p(s'|s, a) \left[r(s, a) + \gamma \max_{s'} Q(s', a') \right],$$

где $p(s'|c, s)$ – вероятность перехода устройства из состояния (c, s) в состояние (c', s') ,

γ – коэффициент дисконтирования – параметр, используемый для снижения влияния долгосрочных наград.

Таким образом, итоговая вероятность выбора действия a в состоянии s определяется в виде дисконтированной суммы вероятностей, модулированной величинами полученных во время обучения наград за пару действие-состояние.

Оптимальное действие для каждого состояния определяется в виде:

$$a^* = \arg \max_a Q(s, a).$$

Выражение (19) справедливо только на одной итерации обучения (т. е. до достижения состояния, при котором эксперимент считается успешным, или же завершенным по достижении нежелательного результата). Корректировка результатов, полученных на предыдущей итерации по отношению к текущим результатам происходит в соответствии с выражениями:

$$y^i = r^i(s, a) + \gamma \max_{s'} Q(s', a^{i+1}),$$
$$Q_{corr}(s, a) = \arg \min_Q \sum_{i=1}^N \|Q(s^i, a^i) - y^i\|_2^2,$$

где N – количество итераций обучения.

Виртуальный эксперимент

Апробирование разработанных алгоритмов на виртуальной динамической модели показало их эффективность при преодолении платформой уступов различной высоты, спуске с относительно высоких уступов и при пересечении рвов. Включение алгоритмов в систему управления движением платформы обеспечивает преодоление препятствий с малым динамическим коэффициентом трения между опорными поверхностями и колесами устройства (от 0,3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработана ситуативная система управления движением мобильного робота с трансформируемой рамой. Суть разработки заключается в совместном рассмотрении следующих элементов:

1. Виртуальная модель мобильного робота;
2. Виртуальная модуль системы управления;
3. Система настройки блока адаптивной трансформации;
4. Виртуальное моделирование.

Анализ и апробирование алгоритмического блока предложенной структуры в составе виртуальной модели системы управления движением мобильного робота с трансформируемой рамой выявили необходимость включения в состав системы адаптивного блока управления выбором текущего действия.

Показано, что использование адаптивного блока выбора текущего действия мобильной платформы улучшает способность устройства к преодолению наборов из последовательных препятствий, габариты которых сопоставимы с габаритами самого устройства.

Заключение

Апробирование разработанного алгоритма на виртуальной динамической модели показало его эффективность при преодолении платформой уступов различной высоты, спуске с относительно высоких уступов и при пересечении рвов. Включение алгоритма в систему управления движением платформы обеспечивает преодоление препятствий с малым динамическим коэффициентом трения между опорными поверхностями и колесами устройства (от 0,3).

Список работ, опубликованных по теме научно-квалификационной работы (диссертации) Публикации в изданиях, рецензируемых ВАК

1. Харузин С.В., Иванов А. А., Шмаков О.А. Система управления автономным движением транспортного средства с активно трансформируемой рамой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2017. – №2(10). – С.22-32.

Публикации в других изданиях

1. Kharuzin, S.; Ivanov, A. & Shmakov, O.: Autonomous Control System for a Vehicle with Actively Articulated Frame // Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, pp.0759-0766, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International.

Аспирант

С.В. Харузин

(подпись)