

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

На правах рукописи

Потрохова Марина Павловна

Система управления движением антропоморфной шагающей системы

Направление подготовки

Код и наименование

Направленность

Код и наименование

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Автор работы: Потрохова Марина
Павловна
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: – *Смирнов Аркадий Борисович, 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

Необходимость функционального усиления и силового сопровождения человека является одним из перспективных направлений робототехники, в настоящее время активно развиваемых разработчиками. В рамках рассматриваемой предметной области разрабатываются портативные и статичные системы, используемые при проведении операций, связанных с реабилитацией пациентов с различными повреждениями моторных функций, переносом грузов и взаимодействии с тяжелыми объектами рабочей среды, при снижении физических нагрузок во время длительных переходов по пересеченной местности.

При решении задач, связанных с функциональным усилением, возникает необходимость прогнозирования движений оператора и прогнозирования его намерений. Поэтому избыточность кинематической схемы человека-оператора является одной из основных сложностей, с которыми сталкиваются разработчики экзоскелетов. В повседневной деятельности человек использует большее, чем это необходимо, количество степеней свободы для реконфигурации своего тела и взаимодействия с объектами рабочей среды. Численное и аналитическое решение обратной задачи кинематики для таких систем порождает семейство возможных целевых конфигураций, что затрудняет прогнозирование возможных конфигураций, сопровождающих такие движения устройств. Поэтому разработка экзоскелетных систем связана с решением комплекса задач прогнозирования движений и намерений пользователя, а также решением эргономических задач, связанных с уменьшением габаритов устройства при сохранении достаточных для проведения рабочих операций величин развиваемых приводами усилий и вращающих моментов.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка и исследование модели системы управления антропоморфным роботом типа экзоскелет при движении по подстилающим поверхностям различного типа и топологии.

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

1. Разработка кинематической структуры и упрощенной виртуальной модели механической системы исследуемого робота;
2. Разработка системы управления антропоморфным роботом, настройка ее параметров и апробирование эффективности предложенного подхода методом виртуального конечно-разностного моделирования;
3. Разработка и настройка ассоциативного блока обработки сигналов обратной связи для последующего включения в состав СУ роботом с целью обеспечения адаптации режимов походки устройства к неровностям подстилающей поверхности;
4. Оценка локомоционной эффективности движения антропоморфного робота в среде с пространственными препятствиями методом виртуального моделирования.

Научная новизна

Новизна представленной работы заключается в следующем:

1. В отличие от вариантов реализации СУ антропоморфного робота, широко рассмотренных в публикуемой научной литературе, предложенная система обеспечивает перемещение устройства по опорной поверхности переменной структуры по сигналам минимального набора датчиков и без априорной информации о геометрии подстилающей поверхности;

2. Во время работы системы адаптации режимов походки в зависимости от изменения параметров подстилающей поверхности не происходит ресурсно затратных расчетов, система обладает относительно высоким быстродействием по отношению к классическим СУ, в которых реализуется комбинированный подход с решением системы уравнений обратной кинематики устройства.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке прототипа самообучающейся системы управления движением антропоморфного робота типа экзоскелет, способной к автономной подстройке локомоционного режима к неровностям подстилающей поверхности.

Практическая значимость результатов работы заключается в возможности использования представленной системы управления походкой антропоморфного робота в составе демонстрационных и медицинских роботов соответствующих типов.

Апробация работы

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

1. Научный журнал «Труды СПИИРАН» (Санкт-Петербург, 2019) (на рассмотрении);

Публикации

По теме диссертации готовится к опубликованию 1 работа в журнале, рекомендованном комиссией ВАК.

Представление научного доклада: основные положения

В диссертации защищается следующее научное положение: Система управления движением антропоморфного робота обеспечивает автономную адаптацию локомоционных режимов к изменяющимся геометрическим

параметрам подстилающей поверхности, препятствует опрокидыванию устройства при столкновении с препятствиями. Система может быть включена в состав алгоритмических блоков бортовых вычислителей антропоморфных демонстрационных и медицинских реабилитационных роботов-экзоскелетов.

Для подтверждения этих положений в диссертации выполнены следующие исследования:

1. Проведен анализ технических решений в области разработки и создания современных антропоморфных роботов-экзоскелетов.
2. Проанализированы подходы к формированию походки и движений таких устройств.
3. Разработан прототип системы управления.
4. Разработан прототип системы обучения ассоциативного блока обработки сигналов обратной связи методом обучения с подкреплением.
5. Произведено компьютерное моделирование движения устройства с пространственными препятствиями.

Объекты, (предмет) и методы исследования

Объектом исследования является модель системы управления движением антропоморфного робота при перемещении в среде с недетерминированными препятствиями.

Методологической основой проведенного исследования стали труды российских и зарубежных авторов. Методом исследования является виртуальное моделирование и визуализация результатов с помощью программных пакетов “SolidWorks”, “MSC ADAMS”, “MATLAB”. Комплексное виртуальное моделирование системы управления и динамики механической системы антропоморфного робота проводилось с помощью пакета твердотельного конечно-разностного моделирования MSC ADAMS и пакета визуального программирования MATLAB Simulink. Simulink

использовался для разработки и предварительного тестирования системы формирования величин вращающих моментов, прикладываемых к элементам виртуальной модели механической системы. Приложение ADAMS View использовалось для моделирования динамики антропоморфного робота при его движении по подстилающей поверхности. Подключение виртуальной модели, построенной в Simulink, к ADAMS View происходило посредством ее преобразования в dll-библиотеку и внедрения в среду конечно-разностного моделирования с помощью плагина ADAMS Controls.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Виртуальная модель антропоморфного робота

Изображение виртуальной модели антропоморфного робота приведено на рисунке 1. В состав модели входят 11 компонентов, представляющих собой упрощенные представления туловища, стоп, голеней и бедер. Соединение компонентов между собой происходит с помощью стандартных сопряжений совпадения, концентричности и шарнирных соединений, представленных в пакете ADAMS View.

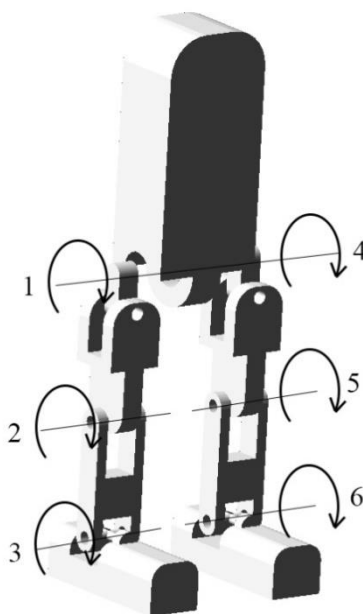


Рисунок 1 – Виртуальная модель антропоморфного робота

Виртуальная модель системы управления

Система управления предложенной структуры позволяет реализовать ритмическую походку с задаваемой частотой и амплитудой движения звеньев. С модели системы управления в модель механической системы робота поступает набор из шести значений вращающихся моментов, которые затем прикладываются к звеньям устройства. При этом способ формирования моментов, прикладываемых к парам бедренных звеньев, голенных звеньев и стопам различается. Вращающиеся моменты, прикладываемые к бедренным и голенным звеньям, формируются в соответствии с информацией, поступающей с проприорецептивных и экстерорецептивных датчиков. Проприорецептивная информация представлена анатомическими углами и поступает с датчиков абсолютных углов поворота шарниров. При формировании вращающихся моментов используется информация об абсолютных углах поворота бедренных, коленных и голеностопных шарниров, вращающихся в плоскостях, параллельных сагиттальной плоскости. Экстерорецептивная информация отражает состояние модели робота относительно окружающей среды и включает в себя значение угла тангажа корпуса устройства, а также информацию о наличии контакта стопы робота и опорной поверхности. При формировании моментов, прикладываемых к бедренным звеньям, учитывается информация о текущей и желаемой ориентации «туловища» робота. Вращающийся момент, прикладываемый к коленным звеньям, формируется на основе величины вращающего момента бедренных звеньев. При этом учитывается динамика изменения этой величины. На стопы робота подается вращающийся момент с регуляторов настроенных таким образом, чтобы обеспечить пассивную адаптацию стоп к плавно изменяющемуся рельефу подстилающей поверхности.

В состав системы управления входит три блока: (1) блок обработки экстерорецептивной информации, (2) нейронный генератор периодических воздействий и (3) блок удержания нейтрального положения. Выходом первого

блока является значение момента, вращающего «туловище» модели робота относительно бедренных шарниров. Второй блок генерирует периодически повторяющиеся воздействия, которые накладываются на выходы других блоков, тем самым определяя темп походки и длину шага. В состав блока входит набор независимых нейронных осцилляторов, структура и принцип работы которых описаны ниже. С третьего блока поступают величины вращающих моментов, которые необходимы для возврата ног устройства в номинальное состояние. На его вход поступает информация о взаимном повороте звеньев ног устройства.

Нейронный генератор периодических воздействий формирует вращающие моменты, прикладываемые к бедренным и коленным шарнирам. Значение вращающих моментов изменяется со временем по периодическому закону. Период таких изменений соответствует периоду одного шага. Изменение величины вращающих моментов, прикладываемых к бедрам и коленям одной стороны робота, происходит скоординировано – колени сгибаются только при разгибании бедра (что соответствует переносу стопы). Бедренный шарнир одной ноги робота всегда вращается в направлении, противоположном направлению вращения бедренного шарнира другой ноги.

Блок бедренных нейронных осцилляторов состоит из четырех независимых осцилляторов. На входы осцилляторов с блоков импульсных генераторов поступают последовательности меандров (график последовательности меандров). Частота повторения меандра и его ширина определяет ритм походки и длину шага модели робота. В настоящей работе рассматривается формирование походки с использованием меандров двух типов: «длинного» (принимает амплитудное значение на времени половины шага) и «короткого» (принимает амплитудное значение на времени четверти шага). «Длинный» меандр при проходе через осциллятор оказывает медленное воздействие на бедренный шарнир, в то время как «короткий» меандр после соответствующей обработки оказывает быстрое воздействие на шарнир, позволяя быстро выбросить ногу вперед (при ее переносе) или же быстро

подтянуть ногу (при смене опорных ног). Разгибатели (extensor) и сгибатели (flexor) формируют одинаковые периодически повторяющиеся сигналы, сдвинутые друг относительно друга на время половины шага. Эти сигналы затем вычитаются, так чтобы к бедренному шарниру на времени первой половины шага прикладывалось разгибающее воздействие (соответствующее повороту бедра против часовой стрелки), а на времени второй половины шага – сгибающее воздействие (бедро при этом вращается по часовой стрелке). Толстой сплошной линией обозначены вращательные моменты, производимые разгибателем, пунктирной линией обозначены вращательные моменты, производимые сгибателем.

В системе управления предложенной структуры периодически повторяющиеся значения вращающих моментов формируются набором из шести генераторов. Каждый генератор представляет собой т. н. нейронный осциллятор. Под нейронным осциллятором понимается виртуальная модель биологического мотонейрона на вход которой подается периодически повторяющаяся последовательность импульсов и выходом которой является некоторый сглаженный периодически повторяющийся набор значений. Поведение модели единичного нейрона описывается выражениями:

$$T_r \frac{dx}{dt} + x = s - bf ,$$

$$y = g(x) \quad (g(x) = \max\{0, x\}),$$

$$T_a \frac{df}{dt} + f = y ,$$

где x – вход нейрона; s – множитель, характеризующий величину отклика нейрона на импульсное воздействие; f – «степень адаптации» – переменная характеризующая скорость завершения переходного процесса на выходе нейрона; T_r – константа, характеризующая время, за которое величина отклика принимает максимальное значение; T_a – константа, характеризующая время адаптации; y – выход нейрона. Выражениям соответствуют их изображения:

$$T_r \cdot p \cdot x + x = q - b \cdot f,$$

$$T_a \cdot p \cdot f + f = y,$$

$$y = g(x),$$

$$g(x) = \begin{cases} x, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$$

Таким образом итоговый вид модели биологического нейрона принимает вид:

$$x(T_r \cdot p + 1) = q - \frac{b \cdot g(x)}{T_a \cdot p + 1}.$$

Схема модели нейрона бедра со значениями параметров $T_r = 0,15$, $q = 1$, $b = 2,5$ и $T_a = 0,6$ приведена на рисунке 7. Модель состоит из двух апериодических звеньев. Первое апериодическое звено реализует выражение $\frac{q}{T_r \cdot p + 1}$. Второе апериодическое звено реализует второе слагаемое в выражении. Функция $g(x)$ представлена в виде блока насыщения с нижним пределом 0 и без ограничения по верхнему пределу.

Вращающие моменты для каждого бедра формируются набором из четырех независимых осцилляторов, одна пара которых формирует значения разгибающего вращающего момента (соответствуют переносу бедра при отсутствии опоры), а другая – сгибающего (соответствуют переносу туловища при наличии опоры). На входы осцилляторов с блоков импульсных генераторов поступают последовательности меандров. Частота повторения меандра и его ширина определяют ритм походки и длину шага модели робота. В настоящей работе рассматривается формирование походки с использованием меандров двух типов: «длинного» (принимает амплитудное значение на времени половины шага) и «короткого» (принимает амплитудное значение на времени четверти шага). «Длинный» меандр при проходе через осциллятор оказывает медленное воздействие на бедренный шарнир, в то

время как «короткий» меандр после соответствующей обработки оказывает быстрое воздействие на шарнир, позволяя быстро выбросить ногу вперед (при ее переносе) или же быстро подтянуть ногу (при смене опорных ног). Соответственно в состав каждой пары осцилляторов входит модель, обрабатывающая длинные меандры и модель, обрабатывающая короткие меандры. При этом значения выходов моделей нейронов в рамках одной пары складываются, формируя итоговое значение сгибающего или разгибающего момента. Разгибатели и сгибатели формируют одинаковые периодически повторяющиеся сигналы, сдвинутые друг относительно друга на время половины шага. Эти сигналы затем вычитаются, так чтобы к бедренному шарниру на времени первой половины шага прикладывалось разгибающее воздействие (соответствующее повороту бедра против часовой стрелки), а на времени второй половины шага – сгибающее воздействие (бедро при этом вращается по часовой стрелке).

Второй набор нейронных осцилляторов формирует значения вращающих моментов коленных шарниров. На их входы поступают преобразованные значения моментов бедренных шарниров. Эти значения представляют собой последовательности единичных меандров.

Ритмичные движения звеньев робота определяются значениями выходов импульсных нейронов. Эти значения формируются без учета обратных связей по текущим углам поворота шарниров. Поэтому повторяемость углов поворота шарниров робота на каждом шаге зависит от величины воздействий со стороны окружающей среды (воздействия сил гравитации и сил реакций опоры со стороны подстилающей поверхности).

Система обучения блока обработки сигналов обратной связи

Блок контроллера обратной связи предложенной структуры не обеспечивает удержание средней скорости движения устройства в заданных пределах. Наличие блока в контуре системы управления походкой не препятствует опрокидыванию устройства при движении по наклонным поверхностям. Поэтому требуются пересмотренные структуры обработчика

сигналов обратной связи. Предложена реализация контроллера, продуцирующего значение вращательного момента, соответствующее состоянию датчиков робота и заданию, поступающему с верхних уровней системы управления.

В антропоморфной робототехнике широко распространен подход, в котором обработчик сигналов обратной связи представляет собой блок с ассоциативной памятью. Такой блок продуцирует реакции на непредвиденные изменения окружающей среды. При этом значения реакций настроены с помощью методов обучения с подкреплением.

Обучение с подкреплением – один из методов обучения, в котором агент (learner) достигает цели методом проб и ошибок (trial-and-error interaction) при взаимодействии с внешней средой.

Под агентом понимается автоматический регулятор, который получает информацию о состоянии робота s (или состоянии внешней среды) и самостоятельно принимает решения (действия a) в зависимости от полученных знаний. По завершении обучения агент должен научиться оптимальному поведению только на основе элементарных поощрений без внешнего учителя и без возможности непосредственного наблюдения последствий своих действий. Под внешней средой понимается среда, с которой взаимодействует агент.

Пусть множество S есть набор возможных состояний. Множество $A(s_t)$ есть набор действий, соответствующих состоянию s_t . На схеме (рисунок 63) показано взаимодействие агента с внешней средой. Агент получает от внешней среды состояние $s_t \in S$ на каждой итерации, состоящей из последовательности дискретных шагов $t = 0, 1, 2 \dots$. Затем на основе этого состояния агент выбирает действие $a_t (\in A(s_t))$. За действие назначается награда $r_{t+1} \in \mathfrak{R}$. При удачном обучении агент получает награду и определяет новое состояние. Знания о неудачной попытке также учитываются

(действию не назначается награда), что позволяет агенту достичь максимального значения награды при последующих попытках.

На каждой итерации агент сопоставляет состояние робота и вероятность выбора какого-либо действия. Выбор вида действия (в качестве действия может выступать поворот шарнира робота, изменение напряжения и пр.) определяется разработчиком. Это отображение называется стратегией выбора π_t , где $\pi_t(\mathbf{s}, \mathbf{a})$ – вероятность того, что $\mathbf{a}_t = \mathbf{a}$ если $\mathbf{s}_t = \mathbf{s}$. Цель обучения с подкреплением – обучить стратегию выбора действия. Как следствие, максимизировать суммарное поощрение в процессе адаптации.

Оценка действия $a (= \pi_t(s, a))$ для состояния s является новой стратегией выбора действия для состояния s' :

$$\pi'_t(s, a) = \max_a Q(s, a).$$

Таким образом, оптимальное управление в каждом состоянии можно найти непосредственно:

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

Семейство алгоритмов, разработанных для оценивания значений функции ценности и нахождения оптимальных стратегий, называют методами разностей по времени (temporal difference methods, TD-методы). Процесс обучения в TD-методах основывается на получаемых опытных данных: последовательности выборок состояний, действий и вознаграждений, получаемых без предварительных знаний о модели поведения окружающей среды. Принцип работы методов заключается в обучении состояний (или пары состояние-действие) на основе обученных оценок для последующих состояний. На каждой итерации для состояния s_t из стратегии $\pi_t(s, a)$ находится действие a_t . После выполнения действия за него назначается награда r_{t+1} и определяется следующее состояние s_{t+1} . На основании состояния s_{t+1} оценивается состояние s на предмет улучшения или ухудшения действий агента.

Алгоритм SARSA оценивает действие $Q^\pi(s, a)$ при текущей стратегии π и затем на каждом эпизоде улучшает стратегию. Эпизод в алгоритме состоит из последовательности состояний и пар состояние-действие (рисунок 2).

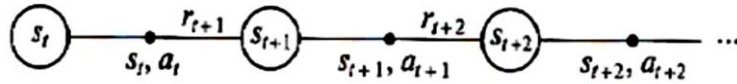


Рисунок 2 – Последовательность состояний и пар состояние-действие на одном эпизоде

След приемлемости и TD-ошибка вычисляются для каждой пары состояние-действие. Для оценки действия используется цена действия. Цена действия, след приемлемости и TD-ошибка на шаге $t + 1$ имеют вид:

$$Q_{t+1}(s, a) = Q_t(s, a) + \alpha \cdot \delta_t \cdot e_t(s, a),$$

$$e_t(s, a) = \begin{cases} \gamma \lambda e_{t-1}(s, a) + 1 & , \quad \text{при } s = s_t \text{ и } a = a_t \\ \gamma \lambda e_{t-1}(s, a) & , \quad \text{в остальных случаях} \end{cases},$$

$$\delta_t = r_{t+1} + \gamma Q_t(s_{t+1}, a_{t+1}) - Q_t(s_t, a_t).$$

где α - шаг обучения.

Как отмечалось в подразделе 2.6, контроллер обратной связи не обеспечивает адаптацию походки устройства к наклонным поверхностям. Также при движении устройства по ровной опорной поверхности возникают нежелательные быстрые ускорения центра масс устройства (рывки). Поэтому требуется изменение структуры контроллера обратной связи. Для решения этой задачи автором настоящей работы используется распространенный в шагающей робототехнике подход. Подход заключается в предварительном обучении системы управления робота путем настройки контроллера обратной связи.

Для обучения системы управления движением антропоморфного робота выбран алгоритм SARSA. Метод обеспечивает более быструю по сравнению с другими методами сходимость процесса обучения. Прототип метода

реализован с помощью S-Function Builder - блока создания пользовательских функций MATLAB Simulink.

Для обучения системы управления походкой антропоморфного робота в его модель включена надстройка, позволяющая проводить заданное количество итераций моделирования. Надстройка представляет собой разработанный макрос ADAMS View. При падении робота (фиксируется с помощью элемента Sensor среды моделирования) или при прохождении устройством заданного расстояния, макрос завершает итерацию. При выполнении критерия обучения происходит выход из цикла обучения. В качестве критерия рассматривается движение робота с заданной средней скоростью на протяжении нескольких шагов.

При обучении системы управления походкой антропоморфного робота необходимо хранить значения функций оценки ассоциативной пары состояние-действие и соответствующих ей следов приемлемости. Возможно хранение значений в двух массивах, так чтобы каждая ячейка массива соответствовала ассоциативной паре действие-состояние. Массивы могут храниться как в среде ADAMS View, так и в качестве переменных модели системы управления. Однако возможности пакетов моделирования ограничены - такая информация хранится на протяжении только одной итерации. Каждая новая итерация начинается с инициализации переменных начальными значениями, заданными до начала процесса обучения, т. е. все сохраненные значения теряются. Для реализации хранилища значений функции оценки и следа приемлемости требуется подключение независимого приложения.

Ассоциативная память, в которой запоминаются и из которой считываются значения функции оценки и значения следов приемлемости, реализована с помощью системы управления базами данных MySQL версии 5.7. Память представлена в виде двух таблиц. В первой таблице хранится значение функции оценки. Во второй таблице хранится значение следа приемлемости. Значения обеих таблиц соответствуют парам состояние-

действие. Код создания таблиц с использованием стандартных консольных функций языка SQL приведен в приложении Б.

Структура виртуальной модели с независимой базой данных приведена на рисунке 3.

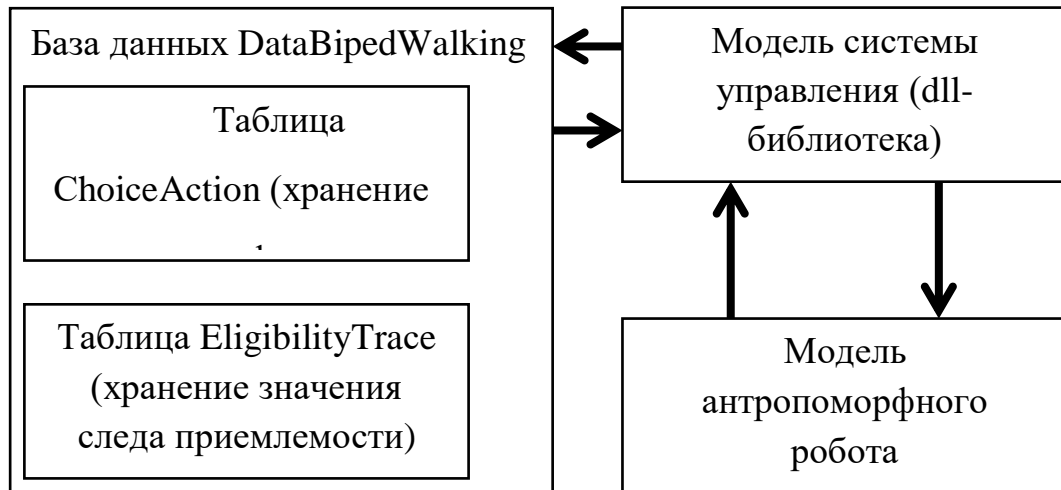


Рисунок 3 – Структура виртуальной модели с независимой базой данных

Столбцы таблиц соответствуют показаниям датчиков. Учитываются только показания, поступающие на блок обработки сигналов обратной связи. Для каждого из столбцов задается n -действий, принимающих значение от $-a$ до a с шагом $\frac{a}{n}$. Размерности обеих таблиц одинаковы.

Таблицы, посредством которых реализуется ассоциативная память, имеют большое количество строк и столбцов. Поэтому они создаются автоматически с помощью консольного приложения RTOS Windows, написанного на объектно-ориентированном языке C++ (код программы приведен в приложении В).

Временные ограничения, накладываемые на выполнение настоящей работы, не позволили в полной мере реализовать систему обучения контроллера обратной связи. Обучение системы управления походкой антропоморфного робота является предметом дальнейших исследований.

Преимуществом используемого метода обучения с подкреплением SARSA является отсутствие аналитической модели антропоморфного робота в программе обучения. Обучение реализуется путем непосредственной оценки влияния действия на изменение состояния робота.

Виртуальный эксперимент

Проведено виртуальное апробирование системы управления предложенной структуры при движении антропоморфного робота в среде с ровной опорной поверхностью, в среде с малыми препятствиями и при переходе с ровной на наклонную опорную поверхность. Визуальная оценка анимации результатов моделирования показала, что робот успешно осуществляет перемещение по ровной опорной поверхности. При столкновении с незначительными препятствиями происходит замедление робота и резкий перенос центра масс устройства вперед. Регуляторы стоп и контроллер обратной связи препятствуют падению и приводят устройство в исходное положение, после чего движение робота возобновляется. Увеличение амплитуды ритмических воздействий на бедренные шарниры робота со стороны осцилляторов увеличивает среднюю скорость движения робота. При этом значениям меньшей амплитуды соответствует большая плавность движения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработана самообучающаяся адаптивная система управления походкой антропоморфного робота. Суть рассмотренного исследования заключается в совместном представлении следующих элементов:

1. Виртуальная модель антропоморфного робота;
2. Виртуальная модуль системы управления;
3. Система обучения блока обработки обратной связи;
4. Виртуальный эксперимент.

Апробирование биоморфной системы управления походкой антропоморфного робота выявило необходимость включения адаптивных

блоков для реализации движения по наклонным поверхностям и в условиях изменяющейся топологии подстилающей поверхности.

Показано, что использование адаптивного самообучающегося блока настройки системы формирования походки робота обеспечивает в достаточной степени способность устройства к преодолению небольших недетерминированных препятствий, способность к перемещению в условиях изменения положения центра масс полезной нагрузки (имитация случайных движений человека-оператора устройства) и условиях изменения наклона опорной поверхности.

Заключение

Разработана система управления походкой антропоморфного робота. Эффективность предложенного подхода подтверждена виртуальным моделированием при движении робота по ровной опорной поверхности. Система обеспечивает предотвращение падения устройства при движении по наклонной поверхности и в среде с малыми препятствиями. Предложен прототип системы обучения блока обработки сигналов обратной связи. Включение в систему управления походкой обученного блока обеспечивает расширить класса поверхностей, по которым робот может осуществлять движение без опрокидывания.

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

1. Потрохова М. П. Система управления движением антропоморфного робота-экзоскелета / «Труды СПИИРАН» (Готовится к опубликованию)

Аспирант

М.П. Потрохова

(подпись)