

ОБЗОР СПОСОБОВ РЕАЛИЗАЦИИ ХОДЬБЫ ДВУНОГОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА

И.А. Бочков

plug95@yandex.ru

SPIN-код: 7107-3065

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрены проблемы реализации ходьбы двуногого шагающего робота, дано развернутое определение шагающего механизма. Выполнено сравнение механики движения двуногого шагающего робота и человека. Сформулирована техническая проблема и указаны пути ее решения. Перечислены основные этапы разработки мехатронного механизма. Представлен обзор мировых аналогов продукции, приведены их основные характеристики. Рассмотрены динамический и статический виды передвижения для разработки нового алгоритма перемещения в пространстве или улучшения старого алгоритма. Сделаны выводы и представлены рекомендации по разработке двуногого шагающего робота.

Ключевые слова

Двуногий шагающий робот, опорно-двигательный аппарат, механическая модель, робототехника, мехатроника, моделирование, алгоритм, робототехнические средства

Поступила в редакцию 21.05.2019

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019

В современном мире робототехника применяется в разных областях: в промышленности, военной сфере, автомобилестроении, домашнем быту и др. Проникновение мехатронных систем в человеческую жизнь происходит различными путями. Так, в современном машиностроении уровень автоматизации доходит до 90 %.

С каждым годом степень проникновения роботов в жизнь человека все увеличивается. Однако существует область робототехники, преуспеть в развитии которой человеку до сих пор не удалось. Примером подобной разработки может служить двуногий шагающий робот. Разработчики сталкиваются со сложностями при конструировании и обучении робота. Большинство разработчиков пытаются создать некоего «механического человека», а строение человека с точки зрения механики очень сложное.

Преимуществами двуногого шагающего робота (ДШР) являются возможность преодоления преград, высокие проходимость и потенциал обучаемости. Роботы этого вида могут применяться в ситуациях, когда условия работы угрожают здоровью и жизни человека.

Известны различные определения ДШР. В данной статье мы определим ДШР следующим образом.

Двуногий шагающий робот — это антропоморфный механизм, обладающий подвижностью, приближенной к человеческой. Идеальный ДШР — это копия человека, начиная от степеней свободы и кончая внешним видом [1–3].

Тело ДШР аналогично телу человека: робот имеет голову, туловище, ноги, руки. Движение ДШР в пространстве происходит с помощью нижних конечностей. Руки позволяют роботу лучше держать равновесие в пространстве.

Для полной свободы движения робота он должен уметь ходить, как человек. Для этого нужно обеспечить его ногам по шесть степеней свободы. Это достигается с помощью шести электроприводов, для каждого должна быть разработана отдельная плата управления. Некоторые компании-разработчики используют гидроприводы (комбинированный подход — гидро- и электроприводы). Общее управление платами двигателей должен осуществлять мощный микроконтроллер или микрокомпьютер.

Подход к реализации управления у каждого разработчика свой. Это обусловлено новизной данной темы и отсутствием единого алгоритма разработки. Попытки разработать двуногого шагающего робота ведутся во многих проектных организациях во всем мире. Ведущие страны в этой сфере — США и Япония. Россия и Китай также осуществляют свои разработки. Представим некоторые модели современных роботов.

1. **Робот FEDOR** (Final Experimental Demonstration Object Research — заключительный экспериментально-демонстрационный объект исследования, Россия). Человекоподобный робот FEDOR имеет систему голосового управления и оснащен специальными датчиками. Один прототип собран из 15 тысяч деталей. Мощность робота составляет 20 лошадиных сил (13,5 кВт). Рост — 180 см, вес — до 160 кг. FEDOR работает на базе операционной системы реального времени, разработанной в Санкт-Петербурге на базе Linux. Робот может функционировать в автономном режиме 1 ч, а также под управлением оператора на большом расстоянии через спутниковую связь. Подзаряжается робот от сети общего пользования через розетку.

2. **Робот Atlas** (институт Boston Dynamics, США). Высота робота — 1,5 м, вес — 75 кг, переносимая нагрузка — 11 кг, число сочленений — 28. Источник энергии — батарея, привод гидравлический. Зрение реализовано с помощью системы LiDAR и стереокамеры.

Atlas — антропоморфный робот, предназначенный для передвижения по пересеченной местности. Он ходит на двух ногах, может использовать свободные руки для переноса груза или при карабкании на вертикальные препятствия. Он может сохранять равновесие после толчков и самостоятельно вставать после падения [4].

3. **Робот ASIMO** (сокращение от Advanced Step in Innovative Mobility — усовершенствованный шаг в инновационной мобильности) — робот-андроид. Создан корпорацией Honda в Центре фундаментальных технических исследований Вако (Япония). Последняя версия робота, выпущенная в 2014 г., имеет рост 130 см и вес 50 кг. Робот способен передвигаться со скоростью до 7 км/ч. В модели ASIMO образца 2000 г. была добавлена масса функций, которые позволили роботу лучше общаться с людьми. Эти функции можно подразделить на пять категорий [5]:

- 1) распознавание движущихся объектов. В голову ASIMO встроена видеокамера;
- 2) распознавание жестов;
- 3) распознавание окружения. ASIMO умеет распознавать предметы и поверхности, благодаря чему может действовать безопасно для себя и для окружающих;
- 4) различение звуков. Происходит благодаря системе HARK, в которой используется массив из восьми микрофонов, расположенных на голове и теле андроида. Она обнаруживает, откуда пришел звук, и отделяет каждый голос от внешнего шума;
- 5) узнавание лиц. ASIMO способен узнавать знакомые лица даже во время движения.

К сожалению, в современном мире пока еще очень мало совершенных ДШР. С чем это связано? Одна из главных проблем при проектировании роботов заключается в сложности реализации ходьбы.

Двуногие шагающие роботы не могут держать равновесие, они получают большой поток информации с периферийных устройств и имеют сложный алгоритм управления. Ко всему прочему необходимо обеспечить высокое быстродействие системы: за время совершения роботом одного шага (менее одной трети секунды) управление ДШР должно отреагировать так, чтобы робот сделал следующий шаг, иначе он упадет. Система управления ДШР резко усложняется при наличии внешних возмущающих воздействий и изменении ландшафта поверхности, по которой движется робот.

Так как же происходит движение ДШР?

Специалисты подразделяют ходьбу на статическую и динамическую [6–8].

При статической ходьбе робот опирается на каждую ногу, перенося центр массы на стопу. Метод называется «точка захвата». Этот термин применяет ученый — разработчик ДШР «Бегущий человек» Джерри Пратта [9]. Этот поход позволяет находить места на поверхности, куда робот должен поставить ступню, чтобы не упасть. Во время быстрой ходьбы или бега определять точку захвата для каждого шага нет необходимости, но при движении по неровной поверхности (камни, кочки, снег), нужны точные расчеты, поскольку в противном случае системы выходит из равновесия. Большой минус — это, конечно же, низкая скорость работы и большой объем расчетов, которые необходимо выполнять в режиме реального времени. Системы должны своевременно оценивать положение робота и выдавать управляющие воздействия.

При динамической ходьбе центр массы перемещается по синусоиде, амплитуда которой не выходит за центр массы стопы. Модель «пружина — масса» воплощает одну из важных особенностей ходьбы — динамическую устойчивость. Динамически устойчивый шагающий робот сохраняет равновесие таким же способом, как это делает человек: с каждым шагом нарушая и восстанавливая его. Если неисправность или ошибка прерывает эту ходьбу и ходок не может вовремя скорректировать свой шаг, чтобы поддержать центр масс, он падает. Достоин-

ством этого метода является возможность быстрого передвижения, его существенным недостатком — большая вероятность ошибки, некорректной работы.

В идеале система управления робота должна в реальном времени принимать решение о модели передвижения — или статическое, или динамическое. Данные, приходящие с системы видеонаблюдения, датчиков, из сети, должны быть источником принятия решения.

В настоящий момент реализовать идеальную модель сложно, поэтому в систему управления допускается человек-оператор, который будет принимать часть решений.

При проектировании ДШР стоит обратить внимание на несколько моментов:

1) изучение аналогов и создание собственного прототипа. Это связано с тем, что в открытом доступе находится пока мало полезной информации;

2) выбор элементной базы. Нужно заранее определить, какие приводы, платы управления будут использоваться;

3) пошаговая обучаемость робота. Многие разработчики обучают робота по определенной модели: сначала это передвижение в одной плоскости без боковых возмущений, а после уже динамическая ходьба по пересеченной местности.

По результатам обзора действующих моделей ДШР можно прийти к выводу, что главную ошибку разработчики совершают в начале исследования. Большое внимание уделяется вычислительным способностям, элементной базе и другим деталям, но не конструкторской части.

При поступлении возмущающегося воздействия управляющая система подает сигнал приводам для устранения возмущения. Но если возмущений будет расти, система просто выйдет из равновесия. Также неидеальны приводы, им нужно время для реализации переходного процесса. Разработчики пытаются решить эту проблему — усложняют конструкцию ДШР, добавляя новые датчики, вычислительные мощности, что приводит к большому потреблению энергии и общему усложнению схемы робота.

Но как же человек решает эту проблему? После запоминая определенных действий человек неосознанно, рефлексивно совершает их. Профессиональный баскетболист ловит мяч рукой, не смотря на него, так как тело уже знает алгоритм движения рук.

Нужно создать такую конструкцию робота, чтобы при нештатных ситуациях каждая часть ДШР знала, как реагировать, не используя главную управляющую систему. Решить эту проблему попыталась компания Agility Robotics в роботе Кэсси. Например, если нога Кэсси попадет в яму, благодаря наличию пружины она выпрямится, не дав роботу упасть. Эта модель не до конца осуществляет главную идею, но лучше всех других разработок справляется с решением проблем [10, 11].

Таким образом, желательно решать конструкторские задумки до всех расчетов и подборов элементной базы.

Подведем итоги. В быстром развивающемся мире доля роботов растет не только в промышленном комплексе, но и в быту. Через пять-шесть лет робот — помощник по дому будет обычным делом. Но для достижения этого результата

нужны решения краевых проблем в робототехнике. Одна из проблем — это реализация ходьбы ДШР. Простой алгоритм ходьбы, разработанный учеными, будет прорывом в робототехнике шагающих роботов.

Литература

- [1] Беркенблит М.Б., Гельфанд И.П., Фельдман А.Г. Двигательные задачи и работа параллельных программ. В: Интеллектуальные процессы и их моделирование. М., Наука, 1991, с. 37–54.
- [2] Белецкий В.В. Динамика двуногой ходьбы I. П. *Изв. АН СССР. Механика твердого тела*, 1975, № 3, с. 3–14.
- [3] Белецкий В.В. Двуногая ходьба: модельные задачи динамики управления. М., Наука, 1984.
- [4] Atlas. *Boston Dynamics: веб-сайт*. <https://www.bostondynamics.com/atlas> (дата обращения: 15.02.2019).
- [5] ASIMO. *asimo.honda.com: веб-сайт*. <http://asimo.honda.com> (дата обращения: 21.03.2019).
- [6] Вукобратович М., Шагающие роботы и антропоморфные механизмы. М., Мир, 1976.
- [7] Ларин В.Б. Стабилизация двуногого шагающего аппарата. *Изв. АН СССР. Механика твердого тела*, 1976, № 5, с. 4–13.
- [8] Шагающие роботы. Устойчивость. *roboticslib.ru: веб-сайт*. URL: <http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000016/st027.shtml> (дата обращения: 01.04.2019)
- [9] Павлус Д. Ходячие роботы. Почему так сложно создать шагающего робота? *В мире науки*, 2016, № 8-9, с. 146–155.
- [10] Pupkov K.A., Kovalchuk A.K., Kulakov D.B. Usage of biological prototypes for kinematical scheme construction of modern robots. *Preprints of the 13th IFAC Symp. Information Control Problems in Manufacturing*. М., 2009, с. 1829–1834.
- [11] Hemami H., Camana P.C. Nonlinear feedback in simple locomotion systems. *IEEE Trans. Autom. Control*, 1976, vol. 21, no. 6, pp. 855–860. DOI: 10.1109/TAC.1976.1101381 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1101381>

Бочков Иван Александрович — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация.

Научный руководитель — Синицын Алексей Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**REVIEW OF THE METHODS OF WALKING'S IMPLEMENTATION
OF THE BIPEDAL WALKING MACHINE**

I.A. Bochkov

plug95@yandex.ru

SPIN-code: 7107-3065

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**Abstract**

In this paper, the author considered the problem of walking of the bipedal walking machine and gave a detailed definition of a walking mechanism. Comparison of the motion's mechanics of the bipedal walking machine and a human. The technical problem is formulated and the ways of its solution are indicated. The main stages of the development of the mechatronic mechanism are listed. The author presented the review of world analogues of products and gave their main characteristics. It is spoken in detail dynamic and static modes of movement to develop a new algorithm for moving in space or improving the old algorithm. Finally, the author made the conclusions and recommendations for the development of the bipedal walking machine.

Keywords

Bipedal walking machine, musculo-skeletal system, mechanical model, robotics, mechatronics, modeling, algorithm, robotic means

Received 21.05.2019

© Bauman Moscow State Technical University, 2019

References

- [1] Berkenblit M.B., Gel'fand I.P., Fel'dman A.G. Dvigatel'nye zadachi i rabota parallel'nykh programm [Moving problems and work of parallel programs]. V: Intellektual'nye protsessy i ikh modelirovanie [In: Intelligent processes and their modelling]. Moscow, Nauka Publ., 1991, pp. 37–54 (in Russ.).
- [2] Beletskiy V.V. Dynamics of two-legs walk I. II. *Izv. AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela*, 1975, no. 3, pp. 3–14 (in Russ.).
- [3] Beletskiy V.V. Dvunogaya khod'ba: model'nye zadachi dinamiki upravleniya [Two-legs walk: model problems of control dynamics]. Moscow, Nauka Publ., 1984 (in Russ.).
- [4] Atlas. *Boston Dynamics: website*. <https://www.bostondynamics.com/atlas> (accessed: 15.02.2019).
- [5] ASIMO. *asimo.honda.com: website*. <http://asimo.honda.com> (accessed: 21.03.2019).
- [6] Vukobratovich M. Shagayushchie roboty i antropomorfnye mekhanizmy [Walking robots and anthropomorphic mechanisms]. Moscow, Mir Publ., 1976 (in Russ.).
- [7] Larin V.B. Stabilization of two-leg walking apparatus. *Izv. AN SSSR. Mekhanika tverdogo tela*, 1976, no. 5, pp. 4–13 (in Russ.).
- [8] Shagayushchie roboty. Ustoychivost' [Walking robots. Stability]. *roboticslib.ru: website*. URL: <http://roboticslib.ru/books/item/f00/s00/z0000016/st027.shtml> (accessed: 01.04.2019). (in Russ.).
- [9] Pavlus D. Walking robots. Why is it so difficult to create a walking robot? *V mire nauki*, 2016, no. 8-9, pp. 146–155 (in Russ.).

- [10] Pupkov K.A., Kovalchuk A.K., Kulakov D.B. Usage of biological prototypes for kinematical scheme construction of modern robots. *Preprints of the 13th IFAC Symp. Information Control Problems in Manufacturing*. Moscow, 2009, pp. 1829–1834.
- [11] Hemami H., Camana P.C. Nonlinear feedback in simple locomotion systems. *IEEE Trans. Autom. Control*, 1976, vol. 21, no. 6, pp. 855–860. DOI: 10.1109/TAC.1976.1101381 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1101381>

Bochkov I.A. — Student, Department of Robotic systems and mechatronics, Bauman Moscow Stat Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific Advisor — Sinitsyn A.V., Cand. Sc. (Eng.), Assis. Professor, Department of Robotic systems and mechatronics, Bauman Moscow Stat Technical University, Moscow, Russian Federation.