

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ШАГАЮЩИХ МАШИН С ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

Ю. Г. Алейников, С. М. Гайдар

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
(г. Москва, Российская Федерация)*

***Аннотация:** В статье рассматриваются современные проблемы при разработке и применении шагающих машин с динамической устойчивостью. Их конструкционные достоинства и недостатки.*

***Ключевые слова:** шагающая машина; электроника; транспортные средства; механические нагрузки; алгоритмы движения.*

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING WALKING MACHINES WITH DYNAMIC STABILITY

U. G. Aleinikov, S. M. Gaidar

*Russian Timiryazev State Agrarian University
(Moscow, Russian Federation)*

***Abstract:** The article deals with modern problems in the development and use of walking machines with dynamic stability. Their structural advantages and disadvantages.*

***Keywords:** walking machine; electronics; vehicles; mechanical loads; motion algorithms.*

В настоящее время создание шагающих машин с появлением микропроцессорных систем управления является новым направлением развития самоходных машин с шагающими движителями.

При движении в сложных условиях шагающие машины с компьютерным управлением могут быть более эффективными по сравнению с традиционными колесными и гусеничными транспортными средствами. Шагающие машины привлекательны тем, что они способны передвигаться на местности, неровности кото-

рой соизмеримы с размером всей машины имитируя движения насекомых и животных. Движение при помощи ног насчитывает миллионы лет в истории, а вот история колеса началась всего несколько тысяч лет назад. В то время как гусеничные и колесные средства передвижения могут преодолевать препятствия меньше, чем половина диаметра их колес и требуют наличия относительно ровных дорог. Кроме того, шагающие машины, благодаря маневренности своих опор, способны передвигаться по крутым склонам. Одним из основных недостатков шагающих машин является их невысокие скорости передвижения, динамические колебания корпуса машины во время движения и сложность алгоритмов управления. Шагающие машины имеют сложную механическую конструкцию с большим количеством степеней свободы. Каждая опора должна иметь возможность изгибаться и перемещать стопу в произвольную точку опоры в пределах рабочего пространства ограниченного длинами рычагов. Изгибающиеся шарниры опор должны иметь независимые приводы управляемые компьютером. Теоретическое проектирование шагающих машин позволяет создать виртуальные модели. Для их уточнения и совершенствования большое значение имеют натуральные макеты и стенды с недорогими универсальными компонентами. Шагающие машины с шести опорами и более могут обеспечивать высокую устойчивость и грузоподъемность [1, 2].

В настоящий момент не существует единой методологии, математического описания и универсального программного обеспечения и общепринятых стандартов для шагающих машин с динамической устойчивостью. Каждый разработчик создает собственную механику, электронику и программное обеспечение. Поэтому проблематика создания новых эффективных алгоритмов управления, сенсорной системы, математики, кинематики, механики и приводов является актуальной научной задачей [3-5].

Для создания шагающей механизма необходимо решить несколько проблем. Эти проблемы включают:

- конструкцию опоры, кинематику, материал и технологию для изготовления опоры;
- адаптивные алгоритмы движения по неровной поверхности;
- ударопрочность и устойчивость к механическим нагрузкам;

- создание алгоритмов для движения;
- выбор архитектуры бортовой вычислительной системы;
- создание человеко-машинного интерфейса;
- конструкцию сенсорной системы и алгоритмы первичной обработки данных;
- энергетику, обеспечение машины запасом электроэнергии или топливом для достаточно длительной автономной работы.

Конструкция опоры. Количество опор шагающей машины, их расположение на корпусе, его форма и конструкция отдельной ноги определяются условиями местности, по которой должна передвигаться машина и требуемыми режимами работы – скоростью движения переносимого груза, выполняемыми маневрами, габаритами [6].

Адаптивные алгоритмы движения. В настоящее время большое внимание уделяется исследованию алгоритмов движения машин с различным количеством опор. Главным направлением является развитие алгоритмов для движения по неровной поверхности и преодолении различных препятствий. Степень эффективности для таких алгоритмов можно оценить по затратам электроэнергии, скорости движения, тяговому усилию. Алгоритм движения описывает математическую модель пространственного положения опор во времени. Во время движения могут возникнуть непредвиденные ситуации когда машина может опрокинуться. Она должна иметь достаточную *ударопрочность* и быть *устойчивой к механическим нагрузкам* [7-8].

Для движения требуется сложная многофункциональная *система управления движением*, работающая в реальном времени. Система должна объединять в себе множество сенсоров, вычислительные средства, скоростные шины передачи данных между отдельными элементами, командные контроллеры и исполнительные механизмы. *Сенсорная система* собирает и обрабатывает данные об окружающем пространстве, положении машины, положении опор, контролирует запас и потребление электроэнергии. При помощи камер и дальномеров строит цифровую пространственную модель об окружающем машину мире. Контроллеры первичной обработки данных с сенсоров должны быть ско-

ростными, поскольку им необходимо обрабатывать огромные объемы данных за минимальное время.

Обеспечение машины достаточным запасом энергии является сложной задачей. Бортовая вычислительная система и сенсоры требуют постоянного электропитания. Алгоритмы движения и траектории перемещения опор должны быть наименее энергозатратными. Для приводов требуется значительно большее количество энергии, чем для электронно-вычислительных бортовых устройств [9]. Электроэнергию можно хранить в аккумуляторах, топливных элементах или генерировать при помощи двигателя внутреннего сгорания.

В статье рассмотрены основные проблемы шагающих машин, которые продолжают быть актуальными. Расширяется область применения шагающих машин: на земле, в воде, под землей, под водой, в космосе и на других планетах и спутниках. Опыт освоения космоса, планет и астероидов, наглядно показывает, что шагающая посадочная платформа является необходимым элементом оснащения космических миссий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акылбеков Е. Е. Проектирование кинематической схемы древовидного исполнительного механизма шестиногого шагающего робота // Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2016. № 4 (4). DOI: 10.18698/2541-8009-2016-4-33 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ptsj.ru/articles/33/33.pdf>.
2. Игнатъев М. Б., Кулаков Ф. М., Покровский А. М. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. Л. : Машиностроение, 1977. 248 с.
3. Метод проектирования пространственных древовидных исполнительных механизмов шагающих роботов / А. К. Ковальчук, Д. Б. Кулаков, С. Е. Семенов, В. В. Яроц, А. А. Верейкин, Б. Б. Кулаков, Л. А. Каргин // Инженерный вестник. 2014. № 7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ainjournal.ru/file/out/736614>.
4. Буданов В. М. Алгоритмы планирования движений шестиногого шагающего аппарата // Фундаментальная и прикладная математика. 2005. Т. 11, № 7, С. 197-206.
5. Павловский В. Е. О разработках шагающих машин // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2013. № 101. 32 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-101>.

6. Motion control for the 6-legged robot in extreme conditions / Y .F. Golubev, V. V. Korianov, V. E. Pavlovsky, A. V. Panchenko // Proc. of the 16th Int. Conf. CLAWAR-2013. 14-17 July 2013, Sydney, Australia. pp. 427-434.
7. Locomotion analysis of hexapod robot / Xilun Ding, Zhiying Wang, Rovetta A., Zhu J.M. // Climbing and Walking Robots, 2010, InTech., pp. 291–309. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.intechopen.com/books/climbing-and-walking-robots>.
8. Moore E. Z. Leg Design and Stair Climbing Control for the RHex Robotic Hexapod. Department of Mechanical Engineering McGill University, 2002. p. 91.
9. Vidoni R., Gasparetto A. Efficient force distribution and leg posture for a bio-inspired spider robot // Robotics and Autonomous Systems. Vol. 59. Issue 2. February, 2011. pp. 142-150.

REFERENCES

1. Aky`lbekov E.E. Proektirovanie kinematicheskoy sxemy` drevovidnogo ispolnitel`nogo mexanizma shestinogogo shagayushhego robota [Designing a kinematic diagram of a tree-like actuator of a six-legged walking robot]. *Politexnicheskij molodezhny`j zhurnal MGTU im. N.E`. Bauman*, 2016, no. 4. DOI: 10.18698/2541-8009-2016-4-33, available at: <http://ptsj.ru/articles/33/33.pdf>.
2. Ignat`ev M. B., Kulakov F. M., Pokrovskij A. M. Algoritmy` upravleniya robotami manipulyatorami [Designing a kinematic diagram of a tree-like actuator of a six-legged walking robot]. Leningrad, Mashinostroenie, 1977.
3. Koval`chuk A. K., Kulakov D. B., Semenov S. E., Yarocz V. V., Verejkin A. A., Kulakov B. B., Karginov L. A. Metod proektirovaniya prostanstvenny`x drevovidny`x ispolnitel`ny`x mexanizmov shagayushhix robotov [Method of designing spatial tree-like executive mechanisms of walking robots]. *Inzhenerny`j vestnik*, 2014, no 7, available at: <http://ainjournal.ru/file/out/736614>.
4. Budanov V. M. Algoritmy` planirovaniya dvizhenij shestinogogo shagayushhego apparata [Algorithms for planning movements of the six-legged walking apparatus]. *Fundamental`naya i priklad-naya matematika*, 2005, vol. 11, no 7, pp. 197-206.
5. Pavlovskij V. E. O razrabotkax shagayushhix mashin [About the development of walking machines]. *Preprinty` IPM im. M.V. Keldy`sha*, 2013, no. 101, 32 p, available at: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2013-101>.
6. Golubev Y. F., Korianov V. V., Pavlovsky V. E., Panchenko A. V. Motion control for the 6-legged robot in extreme conditions. *Proc. of the 16th Int. Conf. CLAWAR-2013*, 14-17 July 2013, Sydney, Australia, pp. 427-434.
7. Xilun Ding, Zhiying Wang, Rovetta A., Zhu J. M. Locomotion analysis of hexapod robot. *Climbing and Walking Robots*, 2010, InTech., pp.

291-309, available at: <http://www.intechopen.com/books/climbing-and-walking-robots>.

8. Moore E. Z. Leg Design and Stair Climbing Control for the RHex Robotic Hexapod. Department of Mechanical Engineering McGill University, 2002, 91 p.

9. Vidoni R., Gasparetto A. Efficient force distribution and leg posture for a bio-inspired spider robot. *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 59, issue 2, February, 2011, pp. 142-150.

Об авторах:

Алейников Юрий Георгиевич, докторант ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат технических наук, yuri@Aleyrobotics.com.

Гайдар Сергей Михайлович, заведующий кафедрой «Материаловедения и технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, профессор, techmash@rgau-msha.ru.

About the authors:

Yury G. Aleinikov, doctoral candidate Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), yuri@Aleyrobotics.com.

Sergey M. Gaidar, Head of the Department of Materials Science and Technology of Machine Building, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Engineering), professor, techmash@rgau-msha.ru.