

ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ АЛГОРИТМА МЕХАНИЧЕСКИХ СХЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КАК МЕТОДА АДАПТАЦИИ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА К ИЗМЕНЕНИЯМ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ УСЛОВИЙ

Н.Н. Воевода

threespots@mail.ru

SPIN-код: 9113-5113

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

Аннотация

Представлена концепция алгоритма, контролирующего схему перемещения мобильного шагающего робота. В перспективе этот алгоритм позволит добиться повышения характеристик проходимости в экстремальных условиях. Ранее проведенный анализ современных технологических решений показал их основные преимущества и недостатки, на основе чего был сделан вывод о формировании рассматриваемой концепции. В дальнейшем сформированные задачи, а также требования к реализации алгоритма для текущего внешнего облика робота позволили прийти к циклу расчета и схеме состояний алгоритма. Был сделан вывод о дальнейшей проработке алгоритма и создании системы автоматизированного управления на его основе.

Ключевые слова

Локомоционный робот, мобильный робот, механическая схема локомоции, метод перемещения робота, адаптивный алгоритм, экстремальная робототехника, управление роботом, кинематический шаблон

Поступила в редакцию 19.11.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Концепция разработана на основе ранее проведенного анализа применяемых в настоящий момент адаптивных систем шагающих роботов [1, 2]. Результаты анализа показали, что методы локомоции должны обеспечивать хорошую устойчивость и проходимость робота по любой, даже недоступной каким-либо транспортным средствам поверхности при автоматическом управлении. Более того, вновь разрабатываемый алгоритм должен давать машине возможность приспосабливаться к передвижению в случае потери одной из конечностей. При этом на генерирование походки не должны затрачиваться большие информационные ресурсы, поскольку мобильные автономные машины не оборудованы мощными процессорами, а значит, излишне «сложные» методы будут отрицательно влиять на их быстродействие.

Целью работы является первичное формирование концепции шагающего робота, способного автономно вырабатывать алгоритмы управления конечностями и корпусом для реализации эффективного передвижения. Метод перемещения должен удовлетворять условиям внешней среды и внутреннему состоянию робота, обеспечивая при этом высокую устойчивость, быстродействие и проходимость. При этом функция анализа факторов и выбора вида походки робота будет закладываться в бортовой вычислитель.

Решаемые задачи:

- формирование первичного внешнего вида робота;
- формирование требований к алгоритму движения робота;
- разработка концепции алгоритма движения шагающей машины.

Разработка концепции. Формирование первичного внешнего облика робота. Для реализации разнообразных схем походок, обеспечивающих высокую проходимость статически устойчивых шагающих машин число конечностей должно быть не меньше шести [3, с. 8]. Поэтому в качестве прототипа конструкции выбран робот с шестью конечностями — гексапод. Такая конструкция позволит реализовать схемы походок, схожие с таковыми у насекомых и четвероногих животных, т. е. биомеханические схемы. Более того, данное решение легче адаптировать при повреждении конечностей, что критично при воссоздании как статических, так и динамических методов перемещения.

Основание робота имеет вид шестиугольного каркаса, на который будут крепиться оборудование и полезная нагрузка. К каждому углу корпуса подсоединена конечность, являющаяся трехзвенным манипулятором с вращательной системой координат, как показано на рис. 1 [4, с. 11].

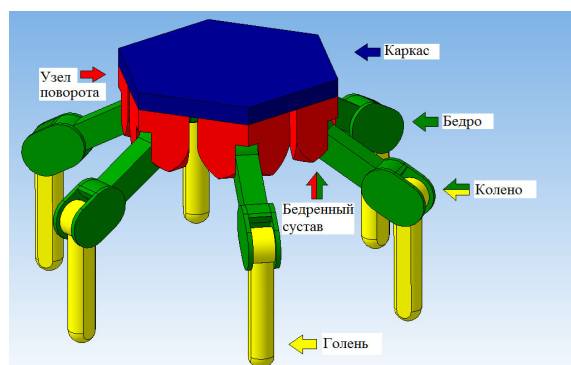


Рис. 1. Первичная конструкция шестиногого шагающего робота

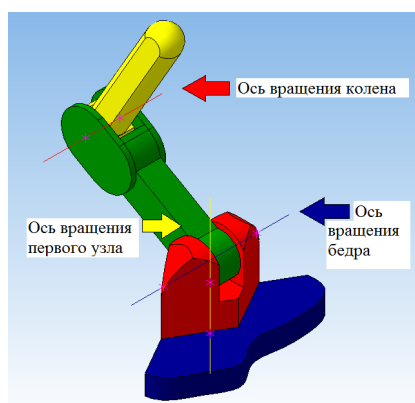


Рис. 2. Первичное представление конечности робота ноги

Звенья ноги связаны сочленениями пятого класса, или шарнирами. Степени свободы ноги показаны на рис. 2.

Первый узел обеспечивает вращение конечности вокруг оси, перпендикулярной плоскости основания. Второй узел, являющийся аналогом бедренного сустава, контролирует параметры поворота бедра, т. е. третьего звена, относительно корпуса. Третий узел играет роль колена, т. е. отвечает за вращение голени, конечного звена относительно бедра. Первичная структура силовой части привода, осуществляющего движение в узле, состо-

ит из исполнительного двигателя, при необходимости укомплектованного силовой передачей, и усилительного каскада. Обратная связь реализуется через датчики относительных угловых скорости и координаты [3, 5].

Формирование требований к алгоритму. Робот должен обладать автономностью, так как большую часть своей активной деятельности осуществляет вдали от оператора. Выбор определенной схемы походки обеспечивает высокую проходимость, но в случае сложного препятствия машина тратит слишком много энергии на реализацию движения, поэтому в алгоритм необходимо ввести прерывание при низком уровне заряда бортового источника питания [5, с. 4–6]. Кроме того, следует учесть тот факт, что робот будет оснащен пультом управления, позволяющим оператору в любое время перехватить управление роботом, что обязывает ввести прерывание по требованию оператора.

Также нужно предусмотреть момент вывода из строя двигателей, а значит, и алгоритм управления в случае, когда часть приводов работает не в номинальном режиме. Не стоит также забывать о преодолении препятствий, смене плотности опорной поверхности, изменении угла наклона поверхности перемещения. Все эти факторы так же стоит учесть при реализации алгоритма.

Для решения перечисленных выше задач к реализации алгоритма также необходимо добавить следующие функции:

- контроль уровня заряда бортового источника питания;
- контроль состояния двигателей;
- реакцию на препятствие;
- реакцию на изменение структуры грунта;
- реакцию на изменения угла наклона поверхности;
- реализацию поиска маршрута;
- реализацию маршрута;
- реализацию транспортной функции;
- реализацию функции патрулирования.

Описание алгоритма выбора механической схемы перемещения. Приведенный на рис. 3 алгоритм перемещения определяет, какую схему необходимо выбрать роботу после анализа внешних условий и внутреннего состояния.

Первым этапом работы алгоритма является ввод данных (рис. 4). После определяют тип управления роботом.

Если выбрано управление оператором, на него возлагается анализ внешних и внутренних состояний. При реализации автоматического управления первая проверка происходит по весу полезной нагрузки. Далее из анализа маршрута выбирается соответствующая программа действий, по окончании которой рассчитывается значение длины траектории L . После чего она делится на n стандартных участков Δ , затем запускается самокорректирующийся счетчик пройденного расстояния.

В цикл расчета входят:

- проверка на прерывание из-за недостатка заряда батареи;
- проверка на прерывание по команде оператора;

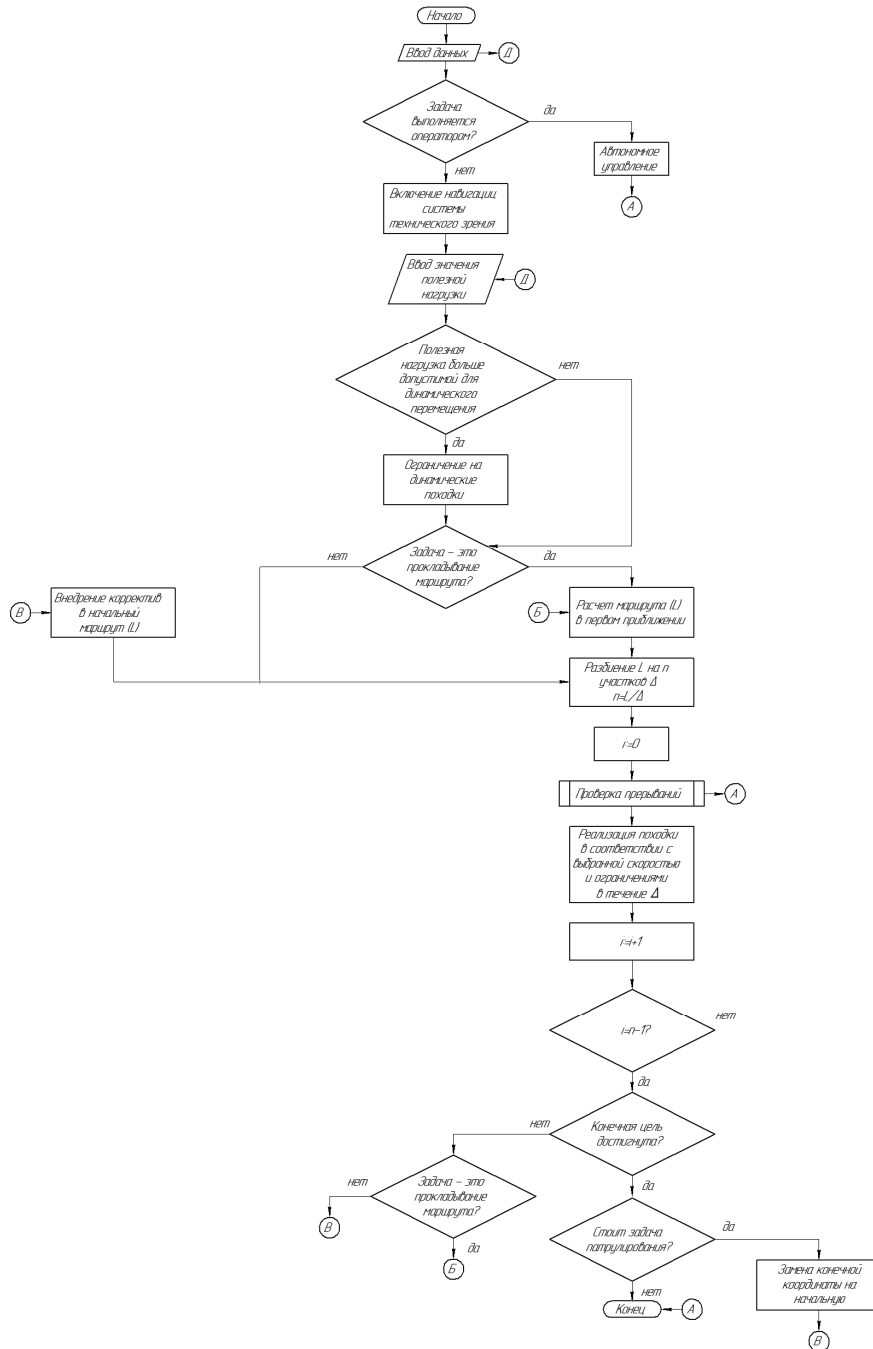


Рис. 3. Блок-схема алгоритма движения робота

- проверка на прерывание из-за отказа двигателей;
- проверка на наличие препятствий;
- проверка на изменение структуры грунта;
- проверка на изменение угла наклона плоскости перемещения;
- реализация походки в пределах прохождения расстояния Δ .

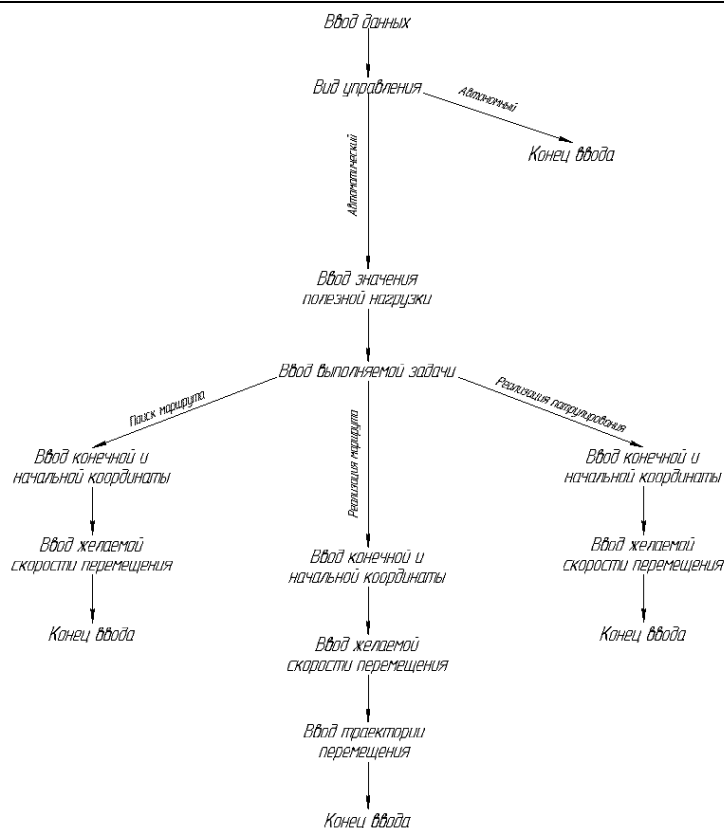


Рис. 4. Алгоритм ввода данных

При задаче патрулирования после прохождения расстояния L в случае совпадения конечной координаты с положением робота он разворачивается, присваивает конечное местоположение начальному и повторяет цикл.

Особенности разрабатываемого алгоритма. Сравнительный анализ принципов формирования локомоции [2] представлен в таблице.

Сравнение методов локомоции шагающих машин

Принцип формирования локомоции	Быстродействие	Эффективность	Простота
Машинное самообучение	○	◇	□
Устойчивое управление отдельными конечностями	◇	□	○
Кинематические шаблоны	◇	□	◇
Примечание. Значения показателя: ◇ — высокое; □ — среднее; ○ — низкое.			

Под быстродействием в данном случае понимают значение момента времени от попадания шагающей машины в новые внешние и внутренние условия до выработки эффективного решения по функционированию в данных условиях. Под эффективностью подразумевают максимальное соответствие решений по функционированию шагающей машины в соответствии с внешними и внутренними усло-

виями. Под простотой подразумевают минимально возможное количество контролируемых параметров, влияющих непосредственно на реализацию решения по функционированию, например, количество необходимых датчиков для получения достаточной информации об изменении внешних и внутренних условий.

Представленный алгоритм будет обладать рядом преимуществ по сравнению с современным принципами формирования локомоции. Выбор кинематического шаблона перемещения по своему принципу менее требователен к вычислительным ресурсам, чем при методе самообучения, что значительно облегчает выбор составляющих бортового вычислителя [7, 8]. Из этого следует, что обеспечение необходимого быстродействия возможно при использовании более простых компонентов микропроцессорной и цифровой электроники, поскольку основная часть алгоритма будет построена на элементарных логических преобразованиях. Также в сравнении с методом устойчивого управления отдельными конечностями требования к количеству датчиков на каждой конечности снижено, поскольку для выбора кинематического шаблона нет необходимости в большом количестве данных о текущем внешнем и внутреннем состоянии — конечный объем необходимых данных предполагается интерполировать с применением эффективный рекурсивный фильтр Калмана.

Заключение. В ходе работы установлен первичный облик разрабатываемого робота, сформулированы требования к алгоритму его функционирования по кинематическим шаблонам, а также сам принцип работы алгоритма. Проведено сравнение предлагаемого к разработке алгоритма выбора кинематических шаблонов по сравнению с существующими принципами формирования локомоции.

В дальнейшем планируется более детальная проработка алгоритма, перевод его в программный код, разработка системы автоматического управления (САУ) модели шестиногого шагающего робота с последующим созданием тестового образца. Регулятором этой САУ станет микроконтроллер, на котором и будет реализован алгоритм.

САУ должна удовлетворять следующим требованиям [9, с. 58]:

- обеспечение эффективной локомоции;
- самостоятельный анализ внешних и внутренних условий;
- надежность;
- быстродействие;
- устойчивость;
- возможность реализации адаптивного алгоритма.

Литература

- [1] Рубцов И.В., Нестеров В.Е., Рубцов В.И. Современная зарубежная военная микро- и мини-робототехника. *Микросистемная техника*, 2000, № 3, с. 36–42.
- [2] Воевода Н.Н., Андреева Е.В., Лапин Д.В. Анализ адаптивных систем шагающих роботов. *Политехнический молодежный журнал*, 2018, № 9.
URL: <http://ptsj.ru/catalog/menms/robots/378.html>.

- [3] Лапшин В.В. *Механика и управление движением шагающих машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 200 с.
- [4] Фу К., Гонсалес Р., Ли К. *Робототехника*. Москва, Мир, 1989, 624 с.
- [5] Чемоданов Б.К., ред. *Следящие приводы*. Т. 1. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999, 903 с.
- [6] Машков К.Ю., Рубцов В.И., Федоренков А.П. Обоснование тактико-технических характеристик наземных мобильных робототехнических средств обеспечения боевых действий Сухопутных войск. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 10. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/985.html>.
- [7] Bongard J., Zykov V., Lipson H. Resilient machines through continuous self-modeling. URL: <http://science.sciencemag.org/content/314/5802/1118>.
- [8] Bongard J. Morphological change in machines accelerates the evolution of robust behavior. *PNAS*, 2011, vol. 108, no. 4, pp. 1234–1239.
- [9] Бесекерский В.А., Попов Е.П. *Теория систем автоматического управления*. Москва, Наука, 1975, 768 с.

Воевода Никита Николаевич — студент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Лапин Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры «Ракетные и импульсные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Виктор Валентинович Зеленцов, старший преподаватель кафедры «Робототехнические системы и мехатроника», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**FORMATION OF THE ALGORITHM CONCEPT OF MECHANICAL
DISPLACEMENT SCHEMES AS A METHOD FOR ADAPTING A WALKING
ROBOT TO CHANGES IN EXTERNAL AND INTERNAL CONDITIONS**

N.N. Voevoda

threespots@mail.ru

SPIN-code: 9113-5113

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The concept of the algorithm controlling the movement scheme of the mobile walking robot is presented. In the future, this algorithm will allow improving the robot's passability characteristics in extreme conditions. The previous analysis of modern technological solutions showed their main advantages and disadvantages and then the considered concept was formed based on this analysis. In the future, the tasks created and the requirements for the implementation of the algorithm for the current appearance of the robot allowed us to come to the calculation cycle and the state diagram of the algorithm. The conclusion was made about the further development of the algorithm and the creation of an automated control system based on it.

Keywords

Locomotion robot, mobile robot, mechanical scheme of locomotion, robot motion method, adaptive algorithm, extreme robotics, robot control, kinematic pattern

Received 19.11.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Rubtsov I.V., Nesterov V.E., Rubtsov V.I. Modern foreign military micro- and mini-robotics. *Mikrosistemnaya tekhnika*, 2000, no. 3, pp. 36–42.
- [2] Voevoda N.N., Andreeva E.V., Lapin D.V. Analysis of the walking robots' adaptive systems. *Politekhnicheskiiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2018, no. 9. Available at: <http://ptsj.ru/catalog/menms/robots/378.html>.
- [3] Lapshin V.V. Mekhanika i upravlenie dvizheniem shagayushchikh mashin [Mechanics and control on walking machines motion]. Moscow, Bauman Press, 2012, 200 p.
- [4] Fu K.S., Gonzales R. C. Lee C.S.G. Robotics: control, sensing vision and intelligence. McGraw Hill Co. 1987, 580 p. (Russ. ed.: Robototekhnika. Moscow, Mir publ., 1989, 624 p.)
- [5] Chemodanov B.K., ed. Sledyashchie privody. T. 1 [Servo drives. Vol. 1]. Moscow, Bauman Press, 1999, 903 p.
- [6] Mashkov K.Yu., Rubtsov V.I., Fedorenkov A.P. Validation of operational and physical characteristics of ground mobile robotic vehicles for battle action. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], no. 10. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/machin/transport/985.html>.
- [7] Bongard J., Zykov V., Lipson H. Resilient machines through continuous self-modeling. Available at: <http://science.sciencemag.org/content/314/5802/1118>.
- [8] Bongard J. Morphological change in machines accelerates the evolution of robust behavior. *PNAS*, 2011, vol. 108, no. 4, pp. 1234–1239.
- [9] Besekerskiy V.A., Popov E.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control systems]. Moscow, Nauka publ., 1975, 768 p.

Voevoda N.N. — student, Department of Robotics and Mechatronics, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — D.V. Lapin, PhD student, Department of Missile and Kinetic Warfare Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — V.V. Zelencov, Assist. Professor, Department of Missile and Kinetic Warfare Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.