

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2024-20-4-8>

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ СИЛ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИМ РОБОТОМ

Кашлаков И.В., Жуков Ю.А.

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия*

Ключевые слова: шагающие роботы, двуногая ходьба, упругий контакт, контактные силы, реакция опоры.

Аннотация. В статье затрагивается проблема моделирования контактных сил при управлении шагающим роботом. Приводится модель упругого контактного взаимодействия между стопой и поверхностью походки на основе пружины-демпфера. Рассматривается модель стопы робота. Приводятся результаты моделирования системы управления роботом с расчетом контактных сил в среде MATLAB/SIMULINK.

SIMULATION OF CONTACT FORCES IN CONTROL SYSTEM OF A WALKING ROBOT

Kashlakov I.V., Zhukov Yu.A.

*Baltic State Technical University "VOENMEKH" n.a. D.F. Ustinov,
Saint Petersburg*

Keywords: walking robots, bipedal walk, compliant contact, contact forces, reaction forces.

Abstract. The article describes the problem of simulation of the contact forces for a walking robot control system. A model of compliant contact interaction between the foot and the gait surface based on a spring-damper scheme is used for the analysis. The model of the robot's foot is considered. The results of modeling the robot control system with calculation of contact forces in the MATLAB/SIMULINK environment are presented.

В области сервисной робототехники не ослабевает интерес инженеров и исследователей к созданию актуальных образцов шагающих робототехнических устройств, которые должны успешно решать транспортные и обслуживающие задачи, адаптируясь к изменяющимся условиям рабочей зоны [1]. Шагающие роботы разрабатываются для транспортировки полезной нагрузки по пересеченной местности [2, 3], исследования и разведки труднопроходимого рабочего пространства при решении сервисных задач экстремальной, специальной, военной, космической и медицинской направленностей.

Трудности управления шагающими роботами связаны с неполноприводностью [4] нелинейной механической системы и неопределенностями опорных реакций при контакте стопы робота с поверхностью, по которой осуществляется походка. Один из базовых подходов к решению задач управления шагающими роботами основан на применении модели динамики и модели контактного взаимодействия ног с поверхностью ходьбы [5, 6].

В настоящей работе исследуется модель контактного взаимодействия ног с поверхностью ходьбы в системе управления шагающим роботом.

Модель взаимодействия

Существует множество моделей, описывающих контактные взаимодействия между твердыми телами [7]. В данной статье предлагается рассмотреть классическую модель упругого взаимодействия вида пружина-демпфер.

На рисунке 1 представлена структура модели взаимодействия пружина-демпфер.

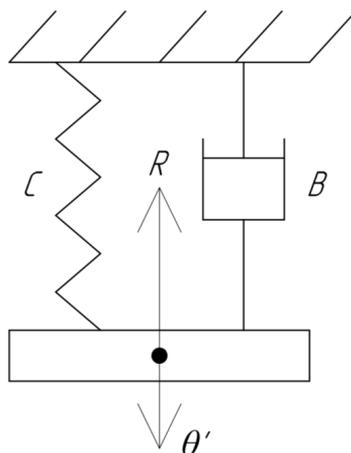


Рис. 1. Модель взаимодействия пружина-демпфер

Данная модель может быть описана уравнением:

$$R = -C \cdot \theta - B \cdot \dot{\theta}, \quad (1)$$

где R – сила реакции, C – жесткость, B – коэффициент демпфирования, θ – величина деформации, $\dot{\theta}$ – скорость деформации.

Модель поверхности стопы

Модель стопы шагающего робота может быть представлена в виде замкнутого контура, как представлено на рисунке 2.

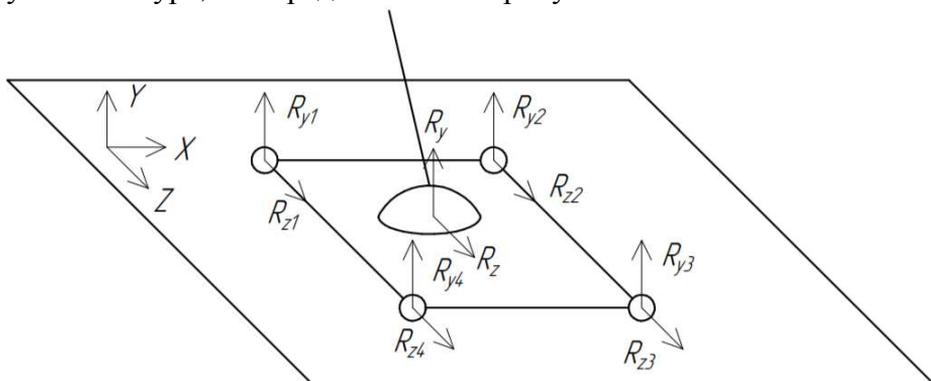


Рис. 2. Модель стопы робота

В качестве модели контакта стопы с землей была выбрана поверхность сферы, обеспечивающая точечный контакт. Для оптимизации процесса моделирования и расчета сил реакций контактные сферы располагаются в крайних точках контура стопы, охватывая ее габариты.

Таким образом, модель стопы представлена как замкнутый контур с четырьмя контактными сферами, точечное взаимодействие с которыми описывается с помощью модели вида пружина-демпфер (1).

Суммарные проекции сил реакций опор можно определить как:

$$R_z = \sum_{i=1}^{n=4} R_z^i, R_y = \sum_{i=1}^{n=4} R_y^i . \quad (2)$$

Результаты моделирования

Моделирование системы управления было выполнено в среде MATLAB/SIMULINK с применением набора инструментов SimMechanics. На рисунке 3 представлена визуализация модели шагающего робота.

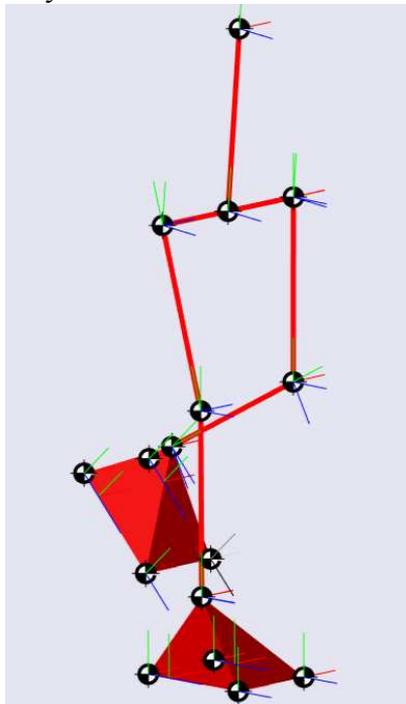


Рис. 3. Модель шагающего робота

Моделирование проводилось в течение 5 с, коэффициент жесткости пружины $C = 5000$, коэффициент демпфирования $B = 50$. На рисунках 4, 5 представлены рассчитанные силы реакций опор для обеих ног робота.

Можно наблюдать переходы между фазами походки робота по полученным реакциям опор, которые попеременно обращаются в ноль в зависимости от опорной стопы в той или иной фазе походки.

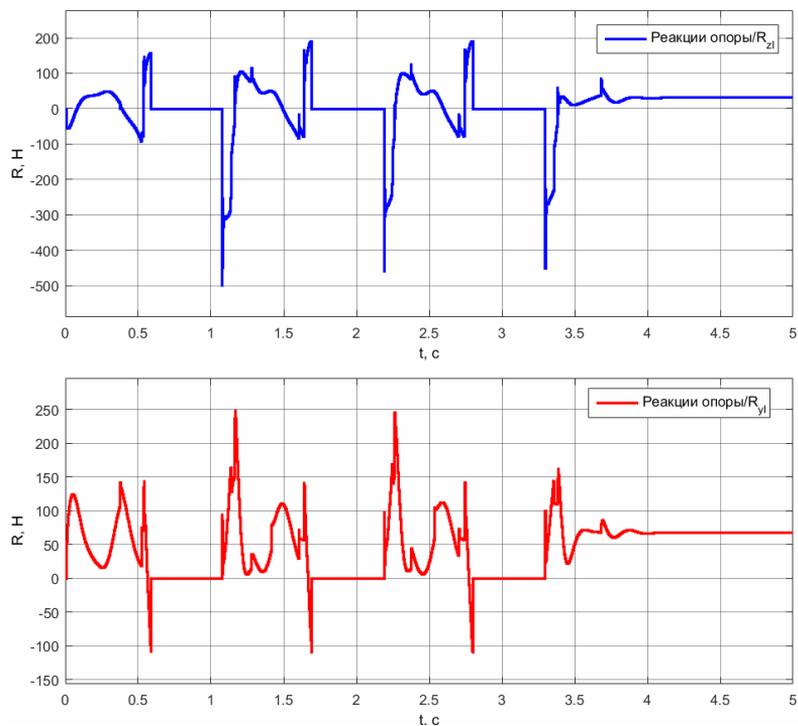


Рис. 4. Силы реакций для левой стопы

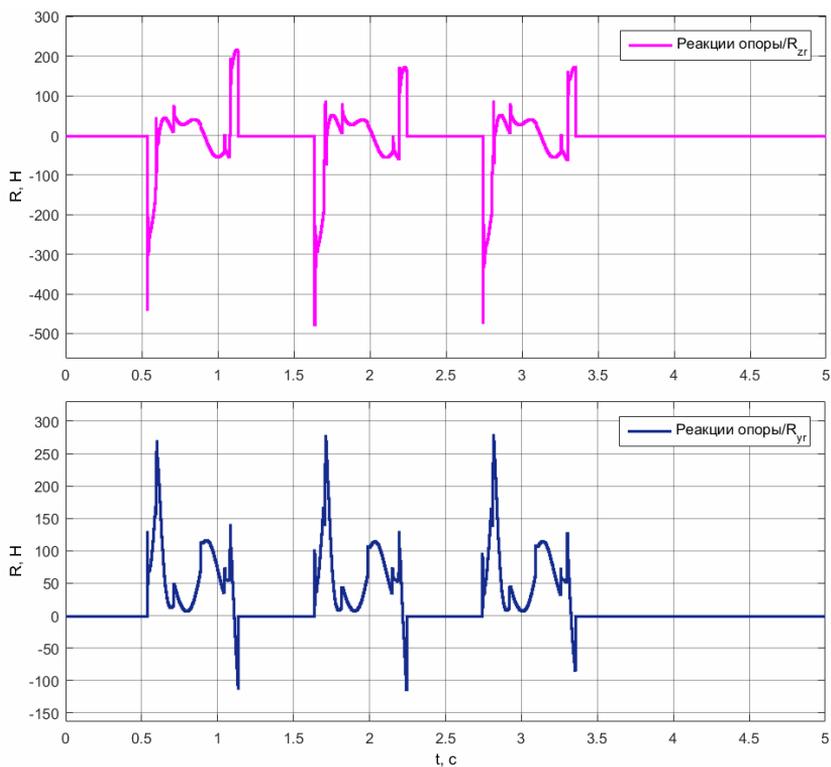


Рис. 5. Силы реакций для правой стопы

Заклучение

Для рассматриваемой в статье проблемы определения контактных сил при управлении шагающим роботом были построены математические модели, на основе которых вычисляются силы реакций при контакте стопы робота с поверхностью ходьбы. В качестве модели взаимодействия при контакте была выбрана схема пружины-демпфера, используемая в модели стопы робота с точечными контактами. В перспективе модель может быть усложнена изменением закона взаимодействия при контакте и увеличением количества точек контакта для большей точности при расчете результирующих сил реакций. На основе полученной модели может быть произведен анализ энергетических затрат при управлении шагающим роботом, также возможна апробация разрабатываемых алгоритмов управления.

Список литературы / References

1. Pimenov D.Y. Recent Advances in Bipedal Walking Robots: Review of Gait, Drive, Sensors and Control Systems // Sensors. 2022, vol. 20, no. 12. doi.org/10.3390/s22124440.
2. Cong Z., Honglei A., Wu C., Lang L., Wei Q., Hongxu M. Contact Force Estimation Method of Legged-robot and Its Application in Impedance Control // IEEE Access. 2020, vol. 8, pp. 161175-161187. doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021080.
3. Irawan A., Nonami K. Compliant Walking Control for Hydraulic Driven Hexapod Robot on Rough Terrain // J. Robot. Mechatron. 2011, vol. 23, no. 1, pp. 149-162. doi.org/10.20965/jrm.2011.p0149.
4. Белецкий В.В. Двухногая ходьба: модельные задачи динамики и управления. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
4. Beletski V.V. Bipedal walk: dynamics simulation and control problems. – М.: Science, 1984. – 288 p.
5. Golousov S.V., Savin S.I., Khusainov R.R. Compliant Control for Walking Robots with the Use of a Virtual Spring-Damper System // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2019, vol. 15, no. 4, pp. 477-485. doi.org/10.20537/nd190406.
6. Aiman O., Hashimoto K., Hun-ok L. Takanishi A. Study of Bipedal Robot Walking Motion in Low Gravity: Investigation and Analysis // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2014, vol. 11, no. 139. doi.org/10.5772/58731.
7. Bruneau O., Ben Oueddou F. Compliant contact of walking robot feet // Proc. of the third ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems. – Bremen, Germany, 1997. – P. 245-250.

Кашлаков Игорь Владимирович – магистрант	Kashlakov Igor Vladimirovich – master student
Жуков Юрий Александрович – старший преподаватель	Zhukov Yuri Aleksandrovich – senior lecturer
kashlakov_iv@voenmeh.ru	

Received 15.05.2024