

DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-3-117-130

Modeling the dynamics of an exoskeleton link of variable length using the Lagrange – Maxwell system of differential equations of motion

A. Blinov¹, A. Borisov^{1*}, L. Konchina¹, K. Maslova¹, K. Filippenkov¹

¹ Branch of the National Research University "MPEI" in Smolensk, Smolensk, Russia

* BorisowAndrej@yandex.ru

Abstract. The objective of the study is the development of 3D variable-length link model with electric drives to be used in designing of next-generation comfortable exoskeletons. The developed link model has two inertial absolutely rigid sections on its ends and a variable-length section, considered weightless, in between. The mechanical part of the variable-length link model has been implemented in the universal computer math "Wolfram Mathematica 11.3" environment by building the system of Lagrange – Maxwell differential equations. The electro-mechanical link model with electric drives has been implemented in the MatLab Simulink environment. The implemented model includes the following units: the trajectory synthesis unit per each degree of freedom, the unit for controlling torques calculation based on differential equations of motion, the unit for selecting electric motors with gears, the unit for calculating electric current per each motor and implementing the control system. The electric motors, reducers, rack and pinion gears implementing the specified and programmed link motion have been selected. The inertial and geometrical variable-length link parameters corresponding to the human tibia in the period of the single-support step phase have been selected. The drives implementing the link rotation are situated in the bottom link point in the combination of two orthogonal cylindrical hinges. One of these hinges is fixed to the supporting surface, the other one is fixed to the link end. This hinge combination simulates human ankle joint in the single-support step phase. The drive controlling the link length change is situated at the end of the bottom absolutely rigid weighty link section. The programmed trajectories for generalized coordinates are specified based on the simulation requirements of the anthropomorphic tibia motion. As a result, the electro-mechanical model of a variable-length link with parameters corresponding to the average man's tibia has been developed. The drives and gears that allow implementing the motion close to anthropomorphic one have been selected. The implementation of this motion based on the developed software in the computer math "Wolfram Mathematica 11.3" environment and in the MatLab Simulink system has been demonstrated. The numerical calculations are presented.

Keywords: variable-length link, software, exoskeleton, electric motor, reducer, rack and pinion gear, programmed trajectory, Lagrange – Maxwell differential equations, computational experiment, numerical simulation

For citation: Blinov A., Borisov A., Konchina L., Maslova K., Filippenkov K. Modeling the dynamics of an exoskeleton link of variable length using the Lagrange – Maxwell system of differential equations of motion. *Prikladnaya informatika*=Journal of Applied Informatics, 2022, vol.17, no.3, pp.117-130. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-3-117-130

Моделирование динамики звена экзоскелета переменной длины с использованием системы дифференциальных уравнений движения Лагранжа – Максвелла

А. О. Блинов^{1*}, А. В. Борисов¹, Л. В. Кончина¹, К. С. Маслова¹, К. Д. Филиппенков¹

¹ Филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет "МЭИ"» в г. Смоленске, Смоленск, Россия

* *BorisowAndrej@yandex.ru*

Аннотация. Задачей, решаемой в данном исследовании, является разработка 3D-модели звена переменной длины с электроприводами для применения при создании комфортабельных экзоскелетов нового поколения. Созданная модель звена содержит на своих концах два инерционных абсолютно твердых участка и находящийся между ними участок переменной длины, считающийся невесомым. Реализация механической части модели звена экзоскелета переменной длины осуществлена в универсальной системе компьютерной математики Wolfram Mathematica 11.3, где составлена система дифференциальных уравнений Лагранжа – Максвелла. Электромеханическая модель звена с учетом электроприводов реализована в пакете MatLab Simulink, состоящая из блока синтеза траектории для каждой степени свободы, блока нахождения управляющих моментов, использующего дифференциальные уравнения движения, блока задания двигателей с передачами, расчета токов двигателей и реализацией системы управления. Осуществлен выбор электрических двигателей, редукторов и реечной передачи, реализующих заданное программное движение звена. Выбраны инерционные и геометрические параметры звена переменной длины, соответствующие голени человека и времени движения в одноопорной фазе. Электроприводы, реализующие повороты звена, расположены в нижней точке звена, в комбинации двух ортогональных цилиндрических шарниров, один из которых жестко связан с опорной поверхностью, а другой – с началом звена. Эта комбинация моделирует голеностопный сустав человека в фазе опоры на одну ногу. Электропривод, управляющий изменением длины звена, расположен на конце нижнего абсолютно твердого весоного участка. Программные траектории для обобщенных координат задаются исходя из требования моделирования антропоморфного движения голени. В результате создана электромеханическая модель звена переменной длины с параметрами, соответствующими голени среднестатистического человека. Подобраны электроприводы и передачи, позволяющие реализовать движение, близкое к антропоморфному, показана его реализация с помощью созданных программ в системе компьютерной математики Wolfram Mathematica 11.3 и пакете MatLab Simulink, приведены результаты численных расчетов.

Ключевые слова: звено переменной длины, программа, экзоскелет, электродвигатель, редуктор, реечная передача, программная траектория, дифференциальные уравнения Лагранжа – Максвелла, вычислительный эксперимент, численное моделирование

Для цитирования: Блинов А. О., Борисов А. В., Кончина Л. В., Маслова К. С., Филиппенков К. Д. Modeling the dynamics of an exoskeleton link of variable length using the Lagrange – Maxwell system of differential equations of motion // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 3. С. 117–130. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-3-117-130