

Method of Maximum Permitted Learning Rate Calculation for Neural Controller of Balancing Robot

Anton I. Glushchenko

A.A. Ugarov Stary Oskol technological institute (branch) NUST "MISIS"
Stary Oskol, Russia
a.glushchenko@sf-misis.ru

Vladislav A. Petrov

A.A. Ugarov Stary Oskol technological institute (branch) NUST "MISIS"
Stary Oskol, Russia
79040882508@ya.ru

Konstantin A. Lastochkin

A.A. Ugarov Stary Oskol technological institute (branch) NUST "MISIS"
Stary Oskol, Russia
lastconst@yandex.ru

Abstract—This research is to solve a problem of sustainability of a balancing robot controlled by an artificial neural network. The mentioned network acts as a regulator and calculates at its output layer a control action for the plant. Online training of such a network is necessary to improve the quality of the robot control since it changes its parameters or a mode of functioning in the course of operation. Implementing such training, the question of the learning rate limitation arises sharply. It is directly related to the assessment of sustainability of the control system under consideration. That is why a method based on the second Lyapunov approach is proposed to calculate the upper allowable limit of the online learning rate for the neural network controller under various conditions at each moment of its functioning. This method does not require the plant mathematical model. The efficiency of the approach is proved by experiments with a real balancing robot based on the EV3 platform.

Keywords— *sustainability, balancing robot, neural network control, learning rate value for online training*

I. INTRODUCTION

Among all the challenges of modern control theory, the problems of control and stabilization of mobile robotic systems under the conditions of changes of their parameters and an environment state are becoming more and more actual [1, 2]. This parameters non-stationarity is caused either by uncontrolled external disturbances or change of the mobile robot electrical and electromechanical components parameters during its long-term operation. All such robotic complexes can be divided into several groups according to the method of movement: wheeled, crawler, walking. As far as kinematics is concerned, the most maneuverable and simple to implement are wheeled robots with a small number of wheels N (in this study $N = 2$). But at the same time, the task of their stabilization and position control is very complex since there is the need to control several state coordinates with the help of only one or two actuating mechanisms.

A great number of control schemes and methods for such unstable objects have been developed [3, 4, 5]. In the studies [6, 7] a comparative description of the majority of existing control algorithms for the considered class of objects is given. In most cases, linear quadratic (LQ) and PID controllers are used to solve the considered problem. The values of their parameters are calculated by optimal control methods using the obtained mathematical model of the robot, which parameters are constants calculated on the basis of the

geometric dimensions and weight of the robot itself and the nameplate data about the values of the electric motors used to rotate the robot wheels.

As it is mentioned above, the parameters of the robot may change their values over time. In particular, considering a two-wheeled robotic loader, the weight of the transported load may change, as well as, the center of inertia might be shifted. All these can lead to a deterioration in the control quality or even the instability of the robot.

Therefore, it is advisable to use adaptive control systems, which is able to adjust the parameters of the controller in the course of functioning. In general, all such systems can be divided into two large groups: classical and intellectual [8].

Considering application of the classical adaptive systems, it is necessary either to have a reference model or permanently repeat the identification procedure for the plant using test signals. Both ways are difficult to be implemented for an unstable two-wheeled robot.

The disadvantages of the intelligent control methods, which are mostly based on the fuzzy logic and the neural networks [7], are as follows. As for systems using offline training, there is the difficulty of obtaining a training set (either an object model is needed, or samples are formed using an existing controller, but that does not allow to improve accuracy of the regulator). Considering the fuzzy logic, there is the complexity to provide the online adjustment of the normalization parameters used for the fuzzy controller input and output signals. As for systems using the online training, there are no restrictions on the learning rate value. Moreover, such systems do not usually take into account a priori knowledge of the particular control object [7]. Due to these reasons the considered methods can be applied to control models of an inverted pendulum, but not a real one. However, the neural networks are supposed to be the most promising approach because of their ability to both approximate and be trained online.

Having made such an analysis of the shortcomings of the existing control methods for the two-wheeled balancing robots, we have proposed our own direct neural network control algorithm [9, 10]. The network is not trained offline, but online at times that are strictly determined by a system of rules and restrictions, which takes into account the features of the balancing robot operation. A method to adapt the controller to the current robot operation mode is also proposed.

The financial support for this research was provided by the Russian Foundation for Basic Research (grant no 18-47-310003-r_a).

Development of Balancing Robot Control System on the Basis of the Second Lyapunov Method with Setpoint-Adaptive Step Size

Anton Glushchenko

Stary Oskol technological institute
n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISIS"
Stary Oskol, Russia
a.glushchenko@sf-misis.ru

Vladislav Petrov

Stary Oskol technological institute
n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISIS"
Stary Oskol, Russia
79040882508@ya.ru

Konstantin Lastochkin

Stary Oskol technological institute
n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISIS"
Stary Oskol, Russia
lastconst@yandex.ru

Abstract — The aim of this research is to develop an adaptive control system of a two-wheeled balancing robot based on a reference model and the second Lyapunov approach. Solving this problem, the following questions are considered: 1) a mathematical model of the robot reference dynamics is developed, 2) using the optimal control theory, a calculation of LQ controller parameters is made, 3) applying the second Lyapunov method, an algorithm to adjust the parameters of such controller is proposed. The step size is calculated in accordance with the proposed formula and depends on the current and previous setpoint values of one of the robot state coordinates. A real balancing robot and its model are used to conduct experiments, over the course of which the mass of the robot is increased by several times. The obtained results show that, despite the robot non-stationarity, the developed adaptive control system is able to follow the reference model output keeping the transient quality close to the desired one.

Keywords — adaptive control system; second Lyapunov method; two-wheeled balancing robot; LQ regulator

I. INTRODUCTION

A problem of a two-wheeled balancing robot control is considered in this research. Such plants are unstable, multidimensional, non-stationary and characterized by several types of nonlinearities [1-3]. These facts are to be taken into account in order to develop an effective regulator for such a plant. The existing methods of balancing robots control, in most cases, are based on an assumption that the control object linearized model is known, so the regulator parameters can be calculated using optimal control methods [4, 5]. Such parameters are not adjusted in the process of the robot functioning [6]. These methods guarantee the required transients quality only in a small neighborhood of a point, at which the model linearization has been made (in many cases, this is the point of an unstable equilibrium) [7]. Moreover, such regulators cannot fully compensate the plant non-stationarity (the robot mass variation, center-of-gravity shift, etc.). At the same time, in order to make the balancing robots more widespread in people's everyday life, it is necessary to guarantee their effective control from the points of view of transients quality and energy consumption for a wide range of the robot parameters variation [8, 9].

A possible solution of the problem involved is the application of adaptive control methods [8]. Having excluded from consideration approaches supposing that the balancing robot model and possible variations of its parameters are known, since the identification of such plant in real time is

rather a complex task, methods based on the reference model [10] are analyzed. The balancing robot is initially an unstable control object, so the main task is to make it stable. In this regard, the application of the adaptive control method based on the second Lyapunov approach is supposed to be promising [11]. Published books and papers having been analyzed, some works in which the Lyapunov method is applied to stabilize an aircraft and solve the Wing Rock problem were found [12, 13].

In this research, the method involved is proposed to be applied to control the balancing robot. This requires its adaptation and improvement. In particular, the regulator obtained in this study is able to control unstable plants. It adjusts its own parameters in both modes of functioning (stabilization and setpoint tracking), while the version from [12, 13] is able to do that only for the first of them.

The development of such an adaptive controller includes the following steps: 1) calculation of a mathematical model of the robot according to its known physical characteristics (model of the robot initial (nominal) state), 2) calculation of the nominal values of the parameters of the LQ controller for such model, 3) development of a controller online adjustment system with an adaptive step size, which depends on the value of the setpoint. Such system is based on the Lyapunov method and does not require subsequent re-identification of the robot. It is described in details in the following sections.

II. BALANCING ROBOT DESCRIPTION

The kinematics of the balancing robot is shown in Fig.1. Its mathematical model is obtained with the help of the second Eulerian-Lagrangian method [14]. It is linearized in the point of the unstable equilibrium and shown as (1).

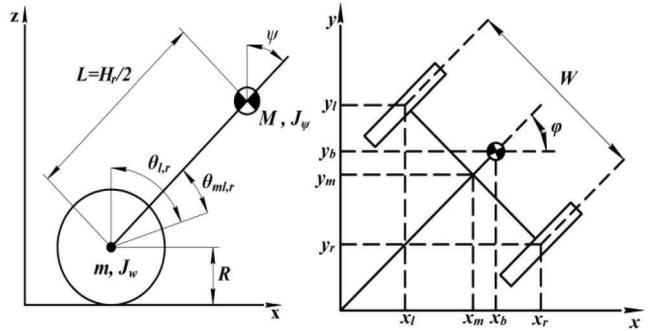


Fig. 1. Balancing robot kinematics.

Full-scale experiments are conducted on the basis of the LEGO EV3 balancing robot.

Financial support for this research is provided by the Russian Foundation for Basic Research (№ 18-47-31003-r_a).

Development of Two-Wheeled Balancing Robot Optimal Control System based on Its Feedback Linearization

Glushchenko A.I., Petrov V.A., Lastochkin K.A.

Automated and information control systems department

Stary Oskol technological institute n.a. A.A. Ugarov (branch) NUST "MISIS"

Stary Oskol, Russia

a.glushchenko@sf-misis.ru, 79040882508@ya.ru, lastconst@yandex.ru

Abstract—The scope of this research is to compare performance of two main methods of feedback linearization of plants with internal dynamics for the problem of a two-wheeled balancing robot control. The considered methods of linearization include: 1) approximate feedback linearization; 2) partial feedback linearization with stability assessment of the plant internal dynamics using Lyapunov approach. In this case, considering both algorithms, pseudo-control signal value is calculated by an optimal state controller (linear quadratic – LQ – regulator). Experiments with the synthesized nonlinear controllers are conducted using the plant mathematical model in Simulink and the real LEGO EV3 balancing robot. Experiments demonstrate the performance efficacy and the effectiveness of both methods of feedback linearization of the plant under consideration. Taking into consideration that the aim of the future research is to develop an adaptive controller for the robot, the approximate linearization method is chosen as the basis of such regulator, since the partial linearization approach potentially increases its dimension.

Keywords—nonlinear control; feedback linearization; approximate linearization; partial linearization; balancing robot.

I. INTRODUCTION

A problem of nonlinear optimal control of a two-wheeled balancing robot is considered. Such plants are characterized by several types of nonlinearities, which can be found in their mathematical description. For an instance, the rising of state coordinates to a power, their multiplication and application of trigonometric functions to them [1, 2]. However, existing methods of control of the balancing robots are mostly based on the plant model linearization near a certain point by means of Taylor series expansion. This allows to synthesize linear controllers like PID and state (linear quadratic – LQ) regulators [3, 4], which are able to guarantee the required control quality only in some small neighborhood of the linearization point (as a rule, it is the point of unstable equilibrium) [5]. At the same time, it is known that the application of nonlinear control laws, in some cases, allows to achieve both a significant improvement of the control performance and the expansion of the above mentioned neighborhood around the linearization point in comparison with linear regulators [6, 7]. In particular, considering the balancing robots, the nonlinear controller can

stabilize the plant for the high values of a pitch angle, when the influence of nonlinearities is great. The aim of this research is to develop such a nonlinear regulator.

A well-known and developed approach to solve the above considered problem is to use a transformation known as the plant feedback linearization [6, 8]. It implies transition from a nonlinear system to an equivalent linear system, written in the Brunovsky canonical form [9]. In this case, the original control action is replaced by a new pseudo-control, and the state (in particular cases – the output) feedback is applied to the plant. Under such conditions, a regulator forming pseudo-control signal is usually a LQ controller, which parameters are calculated for a linearized plant. The resulting control action is linear for the system in the canonical form, but nonlinear for the initial system. In this paper, the LQ regulator parameters are obtained as a result of analytical optimization by solving the Riccati equation.

In some cases, the development of the nonlinear controller in accordance with the linearization approaches is complicated due to the plant internal dynamics [10, 11]. As a result, the feedback linearization splits the differential equations of the system into the equations of the external (linearized by feedback) and internal (non-linearized by feedback) dynamics. In this case, the validity of the obtained linear pseudo-control law depends on the stability of the internal dynamics [6, 12].

Two-wheeled balancing robots belong to a class of objects with the internal dynamics [10-12]. There are two main methods of such plants feedback linearization. The first is an approximate linearization proposed by Kokotovich in [13-15]. The main idea of this method is to find some output function that depends on state coordinates of the plant and maximizes its relative order. Having differentiated the obtained output function with Lie derivative, the transformation of the state coordinates into the canonical form and the linearization control law can be found. The second approach is a partial linearization [16], in which the linear controller is calculated for the state coordinates describing the linearized dynamics of the plant. Asymptotic stability of the control object internal dynamics is guaranteed by means of an additional regulator developed according to the second Lyapunov method.

This research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no 18-47-310003-r_a).

ISSN 1729-5068 0010

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

№ 4 (78)
2019

МОДЕЛИРОВАНИЕ
СЛОЖНЫХ
ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ

ОПТИМИЗАЦИЯ
И ПРИНЯТИЕ
РЕШЕНИЙ

ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ



СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1995 г.

2019
№ 4(78)



2019

Содержание

Раздел 1. Моделирование сложных объектов и систем (шеф-редактор В.Л.Бурковский)	
Глущенко А.И., Петров В.А., Ласточкин К.А. Нейросетевая адаптация LQ закона управления двухколесным балансирующим роботом.....	4
Зиганшина Ф.Т., Исмагилова А.С., Ахметьянова А.И., Ахметшина Е.С., Ахмеров А.А.	
Компьютерное моделирование задачи определения базиса гомодесмических реакций 10.....	4
Мишаев Н.М., Шмырин А.М., Ярцев А.Г. Окрестностные структуры с регуляторами связей..	15
Рыжиков И.С., Брестер К.Ю., Семёнякин Е.С. Метаэвристики кластеризации и перезапуска в решении задач вычислительного моделирования линейных динамических систем	19
Сторожев С.В., Болнокин В.Е., Мутин Д.И., Зыонг Минь Хай, Нгуен Куок Щи, Чан Ба Ле Хоанг.	
Нечеткие оценки для собственных частот поперечных колебаний однородных стержней....	24
Эминов Б.Ф., Захаров В.М. Моделирование расширенных цепей Маркова с заданной линейной сложностью	28
Раздел 2. Оптимизация и принятие решений (шеф-редактор Т.М.Леденева)	
Доррер М.Г. Идентификация параметров линейной динамической системы управления уровнем организационной зрелости	33
Зимин А.В., Буркова И.В., Зимин В.В. Модели и механизмы управления эффективностью ИТ-процессов.....	37
Лебеденко Е.В., Николаев Д.А. Моделирование процесса децентрализованного управления многокамерным сопровождением объектов в подсистеме видеоаналитики системы видеонаблюдения	41
Сторожев С.В., Болнокин В.Е., Мутин Д.И., Зыонг Минь Хай, Чан Ба Ле Хоанг. Анализ нечеткой модели концентрации механических напряжений в тонких пластинах с квадратными отверстиями неопределенной угловой кривизны.....	47
Тынченко В.С., Петренко В.Е., Милов А.В. Управление индукционной пайкой на основе косвенных измерений температуры процесса	50
Раздел 3. Прикладные задачи и информационные технологии (шеф-редактор Е.С.Подвальный)	
Абрамов А.К., Абросимов П.В. Разработка теоретически недешифруемых крипtosистем на основе использования схем комбинаторных преобразований значений односторонних функций....	55
Агиева М.Т., Бабичева Ю.В., Окулист Н.М., Угольницкий Г.А. Имитационное моделирование управления мнениями в маркетинге.....	61
Буйвис В.А., Юрьева Е.Н., Новичихин А.В. Моделирование сценариев распределения ресурсов автодорожного комплекса (в условиях города Новокузнецка).....	65
Жиленков А.А. Интеллектуальная система автономной навигации мобильного робота с распознаванием пути следования в хаотическом пространственном окружении.....	69
Жуков П.И., Глущенко А.И., Фомин А.В. Построение зависимости температуры непрерывнолитой заготовки от ретроспекции её нагрева.....	73
Раздел 4. Перспективные исследования (шеф-редактор О.Я.Кравец)	
Еськов С.С. Моделирование платежной системы Bitcoin на основе теории коллективного поведения автоматов	79
Севостьянов Р.А. Программная поддержка процессов управления мобильным роботом с визуальной обратной связью.....	83
Сергеев М.Ю., Сергеева Т.И. Подход к проектированию и разработке веб-ориентированных систем учебного назначения	86
Скрябина Н.В. Сентимент-анализ для определения тональности и классификации текстов	90
Насыров И.Р., Гудыма М.Н., Казаковцев Л.А. Алгоритм локального поиска в окрестности, образованной применением жадной агломеративной процедуры, для решения серии задач кластеризации	95
Информационное сообщение о Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-33»	3 стр. обложки

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ

УДК 681.5, 004.8

Глущенко А.И., Петров В.А., Ласточкин К.А. НЕЙРОСЕТЕВАЯ АДАПТАЦИЯ LQ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКОЛЕСНЫМ БАЛАНСИРУЮЩИМ РОБОТОМ

**Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»**

В работе решается задача управления балансирующим роботом при нестационарности его параметров. Предложен подход к нейросетевой адаптации LQ управляющего воздействия. Применение такого регулятора на модели робота позволяет обеспечивать заданное качество управления при увеличении массы робота в 5 раз.

Исследование проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-47-310003 р_а).

Введение

Большинство объектов, рассматриваемых в прикладных задачах современной теории автоматического управления, являются нестационарными и нелинейными. Тем не менее, контура управления такими объектами принято строить с использованием классических методов синтеза линейных регуляторов [1, 2]. Для этого производится линеаризация нелинейного объекта в окрестности некоторой точки, а неизвестные нестационарные параметры объекта подменяются их текущими или же номинальными значениями. Текущие значения параметров получают, проводя идентификацию, а номинальные параметры объекта обычно приводятся в технической документации или в каталожных данных. Полученные описанным образом регуляторы при функционировании объекта в точке, отличной от точки линеаризации, в общем случае не способны обеспечить требуемое качество управления, а в предельном случае - не гарантируют асимптотической устойчивости [3]. Аналогичная ситуация складывается и если параметры объекта из-за действия параметрических возмущений стали достаточно сильно отличаться от использованных для синтеза контура управления [4].

Преодолеть описанные проблемы позволяет применение адаптивных систем управления, которые способны за счет настройки коэффициентов регулятора нивелировать проявление нелинейностей, а также компенсировать ухудшение

качества переходных процессов, вызванное дрейфом параметров объекта управления.

На сегодняшний день наиболее популярным и зарекомендовавшим себя подходом к синтезу адаптивных систем управления являются беспоисковые прямые системы адаптивного управления с эталонной моделью (Model Reference Adaptive Control Systems - MRAC) [5]. Решение задачи адаптивного управления в таких системах производится в постановке В.Я. Якубовича [6, 7], когда для заданного контура управления выводятся аналитические законы адаптации его параметров. При этом изменение параметров производится так, чтобы поведение ОУ стремилось к поведению эталонной модели (ЭМ). Адаптер, с помощью которого и реализуется адаптация коэффициентов, обычно строится с помощью градиентных методов первого или второго порядков [8, 9] или второго метода Ляпунова [10, 11].

В данной работе предлагается применить нейросетевой подход для синтеза адаптера в MRAC системе управления нелинейными и нестационарными системами. При этом предлагаются встраивать нейросеть в уже существующий контур управления объектом с классическим ПИД или LQ регулятором. Тогда на своем выходном слое нейросеть будет вычислять необходимую добавку к управляющему воздействию, с помощью которой и будет выполняться компенсация нелинейностей и действия возмущений. Ввиду доказанной в [12, 13] способности нейронных сетей аппроксимировать гладкие нелинейные функции, ожидается, что их применение в адаптивной системе управления позволит обеспечить более высокое качество регулирования по сравнению с градиентным методом и вторым методом Ляпунова и при компенсации параметрических возмущений, и при работе объекта в зоне проявления известных и скрытых нелинейностей.

Объектом управления для тестирования предлагаемой нейросетевой схемы прямого беспоискового адаптивного управления в работе был выбран двухколесный балансирующий

УДК 681.5, 004.8

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОГО РЕГУЛЯТОРА В ЗАДАЧЕ СТАБИЛИЗАЦИИ БАЛАНСИРУЮЩЕГО РОБОТА

А.И. Глущенко

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Россия, 309516, Старый Оскол, Макаренко, 42
E-mail: a.glushchenko@sf-misis.ru*

В.А. Петров

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Россия, 309516, Старый Оскол, Макаренко, 42
E-mail: 79040882508@ya.ru*

К.А. Ласточкин

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
Россия, 309516, Старый Оскол, Макаренко, 42
E-mail: lastconst@yandex.ru*

Ключевые слова: балансирующий робот; нейросетевое управление; устойчивость; скорость оперативного обучения.

Аннотация: В работе решается задача управления балансирующим роботом на основе применения нейронной сети. Они выступает в роли регулятора и формирует на своем выходном слое управляющее воздействие для объекта (напряжения для левого и правого двигателей). Оперативное обучение такой нейронной сети необходимо для улучшения качества управления роботом в условиях изменения его параметров или смены режима работы. При реализации такого обучения актуальным является вопрос о выборе моментов времени, когда оно необходимо, и величины его шага. Именно поэтому в работе была рассмотрена проблема выбора предельной скорости оперативного обучения, непосредственно связанная с оценкой устойчивости изучаемой системы управления, поскольку излишне высокие скорости обучения могут привести к переходу объекта в неустойчивое состояние. В работе предложен подход, основанный на втором методе Ляпунова и позволяющий, не имея модели объекта управления, определять верхний допустимый предел для скорости обучения нейронной сети в текущий момент времени в различных ситуациях.

1. Введение

Ранее, на основе анализа недостатков существующих методов управления двухколесным балансирующим роботом, коллективом авторов данной работы был предложен

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российский фонд фундаментальных исследований
АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
Южный федеральный университет
Научно-исследовательский институт многопроцессорных
вычислительных систем имени академика А.В. Каляева ЮФУ
Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем
Центральный аэрогидродинамический институт
имени профессора Н. Е. Жуковского

ХII МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

МКПУ-2019

Материалы
ХII мультиконференции

23–28 сентября 2019 г.
Дивноморское, Геленджик

В четырех томах

ТОМ 2

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2019

Бобырь М.В., Лунева М.Ю.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОГО ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА В СРЕДЕ SIMULINK	39
Брискин Е.С., Шаронов Н.Г., Платонов В.Н.	
О СИНТЕЗЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЯКОРНО-ТРОСОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ	42
Воробьева Н.С., Жога В.В., Несмиянов И.А.	
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ	45
Гайворонский С.А., Езангина Т.А.	
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА МАКСИМАЛЬНОЙ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ С ИНТЕРВАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИМ ПОЛИНОМОМ	48
Гайдук А.Р., Капустян С.Г., Колоколова К.В.	
СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО УРОВНЯ РОБОТОВ С КОНЕЧНОЙ ДЛЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ	52
Глушенко А.И., Петров В.А., Ласточкин К.А.	
СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЛАНСИРУЮЩИМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ ВТОРОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА	55
Градецкий В.Г., Князьков М.М., Семенов Е.А., Суханов А.Н.	
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	58
Градецкий В.Г., Князьков М.М., Семенов Е.А., Суханов А.Н.	
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТАМИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В СЛОЖНЫХ СРЕДАХ	61
Дивеев А.И., Шмалько Е.Ю.	
К ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДАМ СИМВОЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ	63
Долгий Ю.Ф., Сесекин А.Н., Ташлыков О.Л., Чупин И.А.	
ДЕКОМПОЗИЦИОННОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОМ ПЕРЕГРУЗКИ ТОПЛИВНЫХ СБОРОК	66

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЛАНСИРУЮЩИМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ ВТОРОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА*

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова
НИТУ «МИСиС», г. Старый Оскол,
lastconst@yandex.ru*

Введение

В работе решается задача управления двухколесными балансирующими роботами. Рассматриваемый класс объектов характеризуется неустойчивостью и наличием в математическом описании нескольких видов нелинейностей: возвведение фазовых координат в степень и применение к ним тригонометрических функций [1]. Кроме того, при практическом использовании подобных объектов возникает изменение значений его параметров (массы, положения центра масс и коэффициента трения колес о дорожную поверхность), что, в целом, и определяет необходимость применения адаптивных алгоритмов управления.

Применяемые на сегодняшний день системы управления балансирующими роботами, а в большинстве случаев это оптимальные LQ-алгоритмы и ПИД-регуляторы, не способны обеспечить компенсацию существенных параметрических возмущений, хотя и обладают определенной рабочестью по отношению к ним [2].

Для решения данной проблемы в работе предлагается система адаптивного управления, основанная на втором методе Ляпунова [3] и использовании эталонной модели [4]. Для построения такого регулятора в исследовании: 1) получено математическое описание эталонной динамики робота (при номинальных значениях его параметров), 2) выполнен расчет LQ-регулятора, 3) на основе второго метода Ляпунова разработан алгоритм адаптации параметров регулятора, не требующий знания значений элементов матрицы коэффициентов усиления объекта.

Описание системы адаптивного управления

Полученная в исследовании система автоматического управления представлена на рис.1.

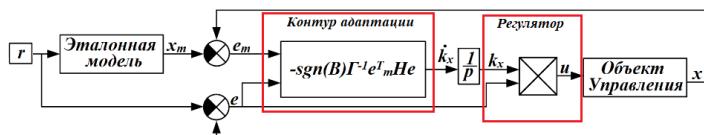


Рис. 1. Структурная схема контура управления

* Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-47-310003 р_а).