

УДК 681.5.0123

«СИНТЕЗ МОДАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА»

Гусаров С.А. (ИТМО), Воротынцев Д.А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Перегудин А.А. (ИТМО)

Исследование направлено на вывод и изучение математической модели и внутренних свойств обратного (перевёрнутого) маятника, синтез модальных элементов управления его движением: регулятор по состоянию и наблюдатель Люенбергера, а также оптимизацию выбора желаемого спектра матриц модели робота типа «Segway», собранного на основе данной теории, при помощи генетического алгоритма.

Введение. На сегодняшний день одной из важнейших задач теории автоматического управления является решение вопроса об устойчивости физических систем и их способности возвращаться к равновесному состоянию, из которого они выводятся возмущающими или управляющими воздействиями, но несмотря на это, в некоторых ситуациях бывает необходимо заставить САУ именно в неустойчивом положении – явным примером является модель обратного маятника. Впервые данная модель была описана в работе [1], а сейчас её можно встретить практически в любой отрасли нашей жизни – начиная от робототехники до космических технологий. Для решения задачи стабилизации обратного маятника применяется достаточно обширный набор инструментов и методов, таких как: управление маятником по принципу обратной связи с использованием гистерезисного преобразователя, описанные в работе [2], использование метода непрерывного размещения корней характеристического полинома замкнутой линейной системы, изложенные в работе [3] и многие другие.

Исходя из данных, собранных нами, применяются также и методы модального управления обратным маятником, некоторые, такие как в работе [4] даже с использованием самообучающихся искусственных нейросетей. Однако вопрос оптимизации выбора собственных значений матриц желаемого спектра исходной системы при таком типе управления остаётся открытым, при всей его нетривиальности.

Проблема исследования: отсутствие оптимизационного алгоритма нахождения желаемого спектра матриц системы при модальном управлении обратным маятником.

Гипотеза исследования: использование генетического алгоритма поиска собственных значений матриц системы обеспечит наиболее оптимальный синтез модальных элементов её управления.

Цель исследования: разработка генетического алгоритма нахождения матриц желаемого спектра системы, который будет оптимизировать процесс модального синтеза, а также обеспечивать менее затратный процесс выбора желаемых собственных чисел.

Задачи исследования: вывод математической модели исследуемого объекта, синтез модального регулятора по состоянию, синтез наблюдателя Люенбергера, рассмотрение замкнутой системы и её свойств, реализация генетического алгоритма.

Основная часть. После вывода математической модели исследуемого объекта на основе принципа наименьшего действия, сборке робота «Segway» и измерении его электромеханических и конструкционных параметров получим его представление в пространстве состояний. Проанализировав систему на управляемость и наблюдаемость, можем перейти к модальному синтезу, в ходе которого получим линейный статический регулятор по состоянию и наблюдатель Люенбергера, для оптимизации работы которых и будем использовать генетический алгоритм.

Генетический алгоритм – это прежде всего эволюционный подход поиска желаемого результата, путём скрещивания исходных параметров, в ходе отбора которых получается

необходимая правильная «комбинация». Алгоритм разделяется на три этапа: скрещивание, селекция (отбор) и формирование нового поколения, которые повторяются до тех пор, пока результат не начнёт нас удовлетворять или не наступит одно из условий: количество поколений достигнет заранее выбранного максимума, время на мутацию исчерпано.

Гурвицеву матрицу, содержащую желаемый спектр, назовём особью, множество которых образует поколение. Как и в настоящем мире, внутри данного алгоритма, существует естественный отбор – процесс выбора наиболее сильных особей из поколения, основанный на удовлетворяющих нас показателях и гарантирующих успешность работы математической модели робота с использованием данной особи в качестве целевого спектра в задаче его стабилизации.

В качестве метрики оценки конкретной особи нами было принято решение взять функцию двух аргументов, зависящую от максимального отклонения переходной характеристики от установившегося значения и времени переходного процесса, на основе которых также выбирают и собственные значения матриц с помощью стандартных полиномов Ньютона-Баттерворта [5]. Данные параметры взяты в оценочной функции с определёнными весами, а значения итоговой функции нормированы, поэтому каждую особь в итоге характеризует вещественное число от 0 до 1. На

Для реализации математической модели робота, моделирования его поведения и разработки описанного генетического алгоритма, нами был выбран программный пакет MATLAB/Simulink, так как сегодня эти инструменты являются одними из самых популярных в сфере имитационного моделирования динамических процессов, позволяют использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования и содержат пакеты, способные решать обширный спектр задач: от разработки концепции модели до генерации кода и его аппаратной реализации.

Выводы. Показателями эффективности разработанного алгоритма станут: оптимизация нахождения собственных значений матриц системы для модального регулятора и наблюдателя Люенбергера, а также качество переходных процессов (перерегулирование и время переходного процесса) для балансирующего одноколёсного робота «Segway».

На сегодняшний день на основе программной среды MATLAB/Simulink нами был разработан генетический алгоритм и архитектура линеаризованной модели балансирующего робота – обратного маятника, а также синтезированы модальные элементы управления его движением с наиболее оптимальными матрицами желаемого спектра. В дальнейшем планируется совершенствование алгоритма при помощи компьютерной симуляции и корректировка его работоспособности.

Список использованных источников:

1. Stephenson A. «On an induced stability» Phil. Mag. 15, 233 (1908) (Дата обращения: 12.01.2024).
2. Д. В. Грачиков, Г. Н. Лебедев, М. Е. Семенов, О. И. Канищева «Стабилизация, рассинхронизация и оптимальное управление обратным маятником с гистерезисными свойствами». Воронеж: ВУНЦ ВВС, 2017. 30-34 с. (Дата обращения: 12.01.2024).
3. Р. А. Севостьянов, Л. В. Шаяхметова «Стабилизация обратного маятника с учетом запаздывания». СПб, 2017. 319-323 с. (Дата обращения: 23.01.2024).
4. А. М. Соловьёв «Модели динамики неустойчивых механических и нейронных систем с гистерезисными связями». Воронеж, 2017. 82-83 с. (Дата обращения: 24.01.2024).
5. В. В. Григорьев, Н. В. Журавлёва, Г. В. Лукьянова, К. А. Сергеев «Синтез систем автоматического управления методом модального управления». СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 108 с. (Дата обращения: 03.02.2024).