Рыжиков Иван Сергеевич. Эволюционные алгоритмы решения задач управления и идентификации для динамических систем: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01 / Рыжиков Иван Сергеевич;[Место защиты: Сибирский государственный аэрокосмический университет им.академика М.Ф.Решетнева].- Красноярск, 2013

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный аэрокосмический университет

имени академика М.Ф. Решетнёва»,

На правах рукописи

РЫЖИКОВ ИВАН СЕРГЕЕВИЧ

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ

СИСТЕМ

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации

(космические и информационные технологии)

Диссертация на соискания ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Е.С. Семенкин

Красноярск - 2016

ВВЕДЕНИЕ 3

ГЛАВА I. ЭВОЛЮЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОИСКА ЭКСТРЕМУМА 11

1. 1. Алгоритм эволюционных стратегий 12

1. 2. Модификация схемы и операторов поиска алгоритма эволюционных стратегий 18

1. 3. Обобщение алгоритма эволюционных стратегий. Мета-эвристика управления перезапусками алгоритма 29

1. 4. Другие эвристические алгоритмы стохастического поиска экстремума 35

Выводы 40

ГЛАВА II. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ЭВОЛЮЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ 44

2. 1. Задача идентификации линейных динамических систем: актуальность и подходы 45

2. 2. Постановка задачи идентификации и сведение ее к экстремальной 56

2. 3. Повышение эффективности алгоритма эволюционных стратегий для решения задачи идентификации ЛДС 60

2. 4. Моделирование изменения концентрации продуктов распада гексадекана 70

Выводы 76

ГЛАВА III. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ В ВИДЕ МНОГОУРОВНЕВОГО РЕЛЕ. 80

3. 1. Постановка задачи терминального управления в виде многоуровневого реле и сведение

ее к экстремальной задаче 84

3. 2. Разработка обобщенного алгоритма ЭС для прямого решения задачи терминального управления 89

3. 3. Определение эффективных настроек и решение задачи управления космическим

аппаратом 100

Выводы 105

ГЛАВА IV. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИМ НЕПРЯМЫМ МЕТОДОМ 109

4. 1. Задача оптимального управления и непрямой метод численно-аналитического поиска

решения 110

4. 2. Экстремальная задача численно-аналитического метода 114

4. 3. Методы стохастической оптимизации в решении экстремальных задач численно-аналитического непрямого метода нахождения оптимального управления 119

Выводы 127

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 130

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 134

**Выводы**

В главе был рассмотрен непрямой метод решения задачи оптимального управления, в котором задача оптимального управления сводится к экстремальной задаче, решение которой полностью определяет оптимальный процесс и оптимальное управление. Особенностью непрямого метода является то, что задача управления, включающая терминальные ограничения, интегральный функционал и, в общем случае, связи, которые являются дифференциальными и нелинейными, приводится к поиску экстремума функции на многомерном пространстве вещественных чисел. Любая точка в этом пространстве соответствует некоторому решению системы дифференциальных уравнений. А функцией является невязка между желаемым правым концом оптимальной траектории и конечным положением состоянии системы при заданных начальных условиях. В общем случае, функция рассчитывается численно. По представленным в главе рисункам видно, что целевая функция для приведенной задачи на поиск экстремума является сложной, многоэсктремальной и, как правило, содержит такие элементы как плато и пики. На одном из представленных примеров показано, что для некоторых задачах оптимального управления, область притяжения глобального оптимума значительно меньше области притяжения локальных оптимумов и даже некоторых локальных оптимумов в отдельности, которому соответствует большее значение критерия невязки.

В качестве различных алгоритмов решения экстремальной задачи рассматривались некоторые распространенные и зарекомендовавшие себя

методы. Сравнивались следующие алгоритмы оптимизации: метод эволюционных стратегий, гибридный модифицированный алгоритм эволюционных стратегий, алгоритм дифференциальной эволюции, стайный алгоритм оптимизации, алгоритм эволюционных стратегий с адаптацией ковариационной матрицы.

На примере решений некоторых задач оптимального управления было показано, что предложенный алгоритм является не только эффективнее в плане нахождения решения с наибольшей пригодностью, но и в плане более высокой вероятность найти точку глобального оптимума.

Тем не менее, для некоторых задач оптимального управления, точка глобального оптимума для соответствующей экстремальной задачи находятся с невысокой надежностью. Были выявлены возможные факторы, которые непосредственно влияют на эффективность алгоритма находить точки глобального оптимума. Отметим, что для целевой функции задачи оптимального управления, глобальному оптимуму соответствует значение пригодности равное 1. Была предложена дополнительная модификация алгоритма, которая осуществляет перезапуск популяции из другой стартовой точки, если выполняется одно из условий. Условия основываются на истории изменения пригодности лучшего решения за последние несколько популяций, на истории всех найденных за различные запуски алгоритма решений и координат текущего решения.

Предложенный оператор поиска основывается на оценке того, происходило ли улучшение найденного решения. Если при выбранных параметрах оценка изменений функции пригодности найденного решения меньше некоторого порогового значения, то осуществляется перезапуск популяции. При этом, текущее решение сохраняется в массив памяти. Следующий оператор поиска оценивает решение по его нахождению на пространстве поиска относительно ранее найденных решений, так что если текущее решение находится в окрестности некоторого ранее найденного, то тоже осуществляется перезапуск. Каждый перезапуск может быть осуществлен как с изменением начального распределения, так и без. Под изменением начального распределения, имеется в

виду изменение параметров закона распределения, по которому разыгрываются начальная популяция.

После включения данного оператора поиска в алгоритм поиска экстремума, оценка вероятности нахождения глобального оптимума для задачи (4.7)-(4.8) увеличилась с 0.65 до 1, причем при любых выбранных настройках предложенных операторов поиска, что говорит о существенном повышении эффективности поискового алгоритма.

Результатами проведенной работы являются предложенные алгоритмы стохастического популяционного поиска, основанные на новом гибридном модифицированном аналоге алгоритма эволюционных стратегий, которые являются более эффективными в решении задач идентификации и управления для динамических систем, чем стандартный алгоритм эволюционных стратегий. Для каждой из приведенных задач алгоритм был изменен и дополнен операторами поиска, благодаря чему значительно повысилась вероятность нахождения решения исходной задачи, а, следовательно, и эффективность алгоритмов.

Исследован гибридный модифицированный алгоритм эволюционных стратегий для решения задач идентификации и управления динамическими системами. Рассматривались различные типы операторов поиска: предложены и добавлены различные схемы операторов селекции, скрещивания, мутации; модифицирован оператор мутации: для каждой пары генов индивида, мутация происходит с заранее установленной вероятностью. Гибридизация представляет собой совмещение двух различных алгоритмов поиска: популяционного

алгоритма, основанного на алгоритме эволюционных стратегий, и

стохастического поискового алгоритма нулевого порядка, который представлен случайным покоординатным спуском. Таким образом, гибридный

модифицированный алгоритм лег в основу решения рассмотренных задач.

Одной из рассматриваемых задач была задача идентификации линейных динамических систем по данным наблюдений выхода объекта. Предложен подход, который позволяет автоматически оценивать порядок и коэффициенты дифференциального уравнения по имеющейся выборке измерений реакции системы на некоторое известное управление. Таким образом, рассматривается подход к решению обратной задачи математического моделирования, причем модель ищется в аналитическом виде, в виде линейного дифференциального уравнения с правой частью в виде известного управляющего воздействия. Данная задача является актуальной, а модели такого типа находят широкое применение и удобны в использовании для решения дальнейших задач. Экстремальная задача, к

которой была сведена задача идентификации линейных динамических систем, наиболее эффективно решается модифицированным гибридным алгоритмом эволюционных стратегий с разработанным оператором округления. Предложенный алгоритм является эффективнее классического алгоритма эволюционных стратегий и алгоритмов с отдельными модификациями, при различных включениях операторов поиска.

Другой рассматриваемой задачей была задача терминального управления для систем с исполнительным механизмом, работающим по принципу многоуровневое реле. Для таких исполнительных механизмов функция управления является кусочно-постоянной, с областью значений, которая совпадает с множеством допустимых значений управления, определяемых характеристиками исполнительного механизма. Рассматривается прямой метод решения двухточечной задачи управления, который подходит для различных систем: линейных или нелинейных, стационарных или нестационарных. Подход является универсальным, поскольку не требует модели системы в аналитическом виде, и применим для решения задач терминального управления в различных постановках, например, для нахождения программного управления при фиксированном или свободном времени, с настройкой характеристик исполнительного механизма или при известных и фиксированных характеристиках. Предложен подход, позволяющий решать задачу на пространстве меньшей размерности для задач с исполнительным механизмом в виде идеального реле. Также предложены различные способы представления решений, причем некоторые позволяют осуществить переход от задач условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации, не прибегая при этом к применению метода штрафных функций, а за счет изменений представления решения и модификаций мутации, задания определенного правила разыгрывания стартовой популяции.

Алгоритм эволюционных стратегий был модифицирован и обобщен для решения экстремальных задач с вещественными и номинальными переменными. Номинальные переменные всегда могут быть выражены в виде чисел натурального ряда. Предложены операции мутации и скрещивания для генов, которые соответствуют номинальным переменным, так что сохраняется парадигма алгоритма эволюционных стратегий. Обобщенный алгоритм применим для поиска решения задач терминального управления, позволяет одновременно решать задачу для переменных разной природы, сохранив преимущества гибридного алгоритма популяционного поиска для вещественных переменных.