

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу  
Ибадуллы Сабита Ибадуллаулы  
**«Решение задачи синтеза системы управления  
методом вариационного генетического программирования»**,  
представленную на соискание  
учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.01 –  
**«Системный анализ, управление и обработка информации»**  
(промышленность)

Диссертационная работа посвящена решению задачи синтеза системы управления с применением нового вычислительного метода вариационного генетического программирования. В диссертации рассматривается метод, построенный на основе последних достижений в области алгоритмизации и программирования, а именно, на основе метода генетического программирования и метода сетевого оператора, автором которого является научный руководитель диссертанта.

Применяемый диссертантом метод вариационного генетического программирования использует преимущества двух относительно новых методов символьной регрессии. В частности, метод вариационного генетического программирования использует структуру данных из метода генетического программирования, позволяющую кодировать математические выражения, включающие функции с любым количеством аргументов. Кроме того, метод вариационного генетического программирования использует эволюционный алгоритм поиска решения, построенный на основе принципа малых вариаций базисного решения, заимствованного из метода сетевого оператора и позволяющего сократить пространство поиска решений и вести поиск решения на

множестве вариаций одного базисного решения, заданного исследователем на основе анализа решаемой задачи.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в применении нового вычислительного метода символьной регрессии для решения задачи синтеза системы управления.

**Предметом исследования диссертационной работы** является новый вычислительный метод, используемый для решения прикладной актуальной задачи синтеза системы управления мобильным роботом.

**Практическая значимость диссертационной работы** состоит в алгоритмической и программной реализации вычислительного метода вариационного генетического программирования и решении с его помощью прикладной задачи синтеза системы управления мобильным роботом.

В настоящее время проблема поиска решения задачи синтеза системы управления присуща многим сферам человеческой деятельности и особенно характерна для робототехнической сферы, где для достаточно новых объектов управления – роботов – ставятся все более сложные прикладные задачи. В связи с этим тема диссертационной работы является актуальной.

В последние годы аналитические методы решения задачи синтеза системы управления уже исчерпали себя и не могут обеспечить принятие эффективных решений при создании сложных математических моделей реальных роботов. При этом численные методы решения задачи синтеза системы управления являются сегодня инструментом интенсивных исследований специалистов в области управления и информационных технологий. Решение задачи синтеза системы управления требует построения математического выражения, причем необходимо не только найти его оптимальные параметры, но и определить саму структуру математического выражения. Так как пространство кодов математических выражений не имеет метрики и содержит бесконечное количество решений, то поиск оптимального математического выражения на пространстве кодов математического выражения представляет собой отдельную сложную алгоритмическую задачу.

В диссертационной работе для поиска оптимального решения используется эволюционный генетический алгоритм, эффективность применения которого обеспечивается за счет реализации поиска решения на множестве малых вариаций кода одного базисного решения. Это базисное решение может быть построено специалистом в области управления и должно находиться вблизи оптимального решения, причем, насколько это видно из диссертационной работы, чем сложнее задача синтеза системы управления, тем более лучшим (точным) должно быть выбранное базисное решение, что позволит обеспечить эффективность применения эволюционного генетического алгоритма для поиска оптимального решения. В случае когда генетический алгоритм не находит хорошего (приемлемого) решения в процессе поиска, базисное решение должно быть улучшено (уточнено). Такой подход к решению задачи синтеза системы управления является естественным при конструировании реальных технических систем управления, когда задача синтеза системы управления формулируется специалистами в области управления на основе опыта, интуиции и знаний специфики конкретной прикладной задачи. Очевидно, что рассматриваемый в диссертации метод вариационного генетического программирования может быть использован для улучшения уже существующих систем управления, если полагать реально работающие системы управления базисными решениями.

Подход к поиску решения на пространстве малых вариаций базисного решения был, согласно тексту диссертационной работы, применен в методе сетевого оператора, разработанном в 2006 году научным руководителем диссертанта. Однако метод сетевого оператора позволяет искать математические выражения, состоящие из функций с одним или двумя аргументами, причем функции с двумя аргументами должны быть коммутативны, ассоциативны и иметь единичный элемент. В то же время существует метод генетического программирования, который позволяет кодировать любые математические выражения, включающие функции с любым количеством аргументов, в том числе и функции, описывающие логический оператор условия, который ча-

сто используется при реализации интеллектуальных систем управления. К сожалению, до настоящего времени метод генетического программирования не использовался активно для синтеза систем управления из-за того, что искомая функция должна отвечать очень строгим условиям, в частности, удовлетворять условию достижения цели управления, что в математической постановке соответствует удовлетворению условий краевой задачи. Случайно выбранная функция в большинстве случаев не будет обеспечивать выполнение условий краевой задачи. В связи с этим поиск оптимального решения при использовании метода генетического программирования для решения задачи синтеза трудно считать эффективным, так как он осуществляется в основном на функциях, не обеспечивающих достижение цели управления. Единственным направлением эффективного применения метода генетического программирования для решения задачи синтеза системы управления является использование большого количества возможных решений и применение при этом эффективных вычислительных средств.

В настоящей диссертационной работе рассматривается применение нового вычислительного метода символьной регрессии, который построен на основе двух известных методов – метода генетического программирования и метода сетевого оператора. При этом из метода генетического программирования диссертантом заимствован подход к разработке структуры данных, которая позволяет описывать математические выражения, состоящие из функций с любым количеством аргументов, а из метода сетевого оператора взят подход к поиску оптимального решения, предполагающий реализацию поиска решения на множестве малых вариаций кода одного базисного решения

**В первой главе** диссертационной работы рассмотрена формальная постановка задачи синтеза системы управления. Приведен обзор известных вычислительных методов синтеза систем управления. Представлено краткое описание метода сетевого оператора и используемого в нем принципа малых вариаций базисного решения.

**Во второй главе** приведено описание применяемого вычислительного метода вариационного генетического программирования для синтеза системы управления. Дано описание применяемого автором метода генетического программирования и рассмотрены малые вариации структуры данных, используемой в методе генетического программирования. Приведено описание эволюционного генетического алгоритма для решения задачи синтеза системы управления методом вариационного генетического программирования. Автором рассмотрен пример решения задачи синтеза системы управления для объекта, описываемого математической моделью «хищник-жертва», методом генетического программирования и методом вариационного генетического программирования. По результатам численного эксперимента показано, что принцип малых вариаций базисного решения позволяет сократить время поиска для рассматриваемого примера более чем в семь раз.

**В третьей главе** приведен пример решения задачи синтеза системы управления движением мобильного робота с учетом пространственных ограничений. Дан анализ эффективности разработанного метода вариационного генетического программирования. Представлено исследование, проведенное посредством моделирования, полученной в результате синтеза системы управления движением мобильного робота.

**В заключении** диссертационной работы приведены основные научные результаты, полученные в ходе исследований.

По диссертационной работе необходимо указать следующие **замечания**.

1. В диссертационной работе не ясно обозначены границы применимости предлагаемого метода вариационного генетического программирования и не определены требования к формулировке задачи синтеза и математической модели объекта управления.

2. В диссертационной работе не рассмотрено влияние внешних воздействий на синтезированную модель объекта управления и возмущения ма-

тематической модели объекта управления, что при решении практических задач управления необходимо исследовать.

3. В диссертационной работе и автореферате присутствует ряд грамматических и стилистических ошибок.

Наличие указанных недостатков не снижает общей положительной оценки диссертационной работы. В целом диссертационное исследование Ибадуллы С.И. является важным шагом в решении задачи синтеза системы управления методом вариационного генетического программирования.

Диссертационная работа оформлена в соответствии с принятыми стандартами и рекомендациями. Автореферат достаточно полно раскрывает смысл диссертационной работы, оформлен в соответствии с принятыми стандартами, его объем соответствует рекомендуемому.

Основные результаты, полученные автором в ходе исследований по теме диссертационной работы, опубликованы в открытой печати (в количестве 9 штук) и достаточно полно отражают суть выполненной работы. При этом 3 работы опубликованы в журналах, рекомендуемых ВАК РФ. Положения диссертационной работы, выносимые на защиту, обсуждались на различных международных конференциях и симпозиумах.

На основании вышеизложенного можно сделать общий вывод о том, что задачи, поставленные автором, в целом решены. Результаты исследования представляют собой развитие подходов к решению задачи синтеза систем управления и могут быть использованы при решении широкого спектра прикладных задач.

Диссертационная работа Ибадуллы С.И., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для синтеза системы управления. Диссертационная работа выполнена по гранту РФФИ № 14-08-00008-а.

