

ОТЗЫВ

официального оппонента Горнова Александра Юрьевича
на диссертацию Сопова Евгения Александровича
на тему «Обобщенный метод синтеза гиперэвристических эволюционных
алгоритмов оптимизации сложных систем»
по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (космические и информационные технологии)
на соискание учёной степени доктора технических наук

Актуальность темы диссертационной работы

Многие современные задачи анализа, управления и обработки информации в сложных системах могут быть сведены к оптимизационным постановкам, в которых целевые функции задаются алгоритмически и обладают набором свойств, позволяющих классифицировать такие задачи как сложные. Для подобных задач успешно применяются различные эвристические подходы нулевого порядка использующие, как правило, стохастические механизмы. Среди них стоит отдельно выделить направление – эволюционные вычисления, которое получило популярность в последние годы и зачастую демонстрирует высокую эффективность при решении актуальных задач.

Несмотря на обилие различных эвристических и метаэвристических подходов, вопросы существования, выбора и применения конкретной эвристики в исследуемой проблеме остаются открытыми. Тема диссертационного исследования Е.А.Сопова связана с обоснованием, проектированием и исследованием эффективности универсального подхода для автоматизированного (с минимальным участием или без участия человека) синтеза метаэвристик на базе эволюционных алгоритмов. Данная проблема решается путем постановки и решения задач оптимизации более высокого уровня, а обобщенные методы решения этих нетривиальных задач диссертант называет «гиперэвристиками».

Тема диссертации является актуальной, поскольку решение поставленных в работе задач может позволить расширить область применения эволюционных алгоритмов в задачах оптимизации сложных систем и повысить обоснованность выбора конкретных эвристик и метаэвристик при решении практических задач.

Структура работы

Диссертация изложена на 325 страницах, содержит введение и шесть глав, заключение, список литературы и 6 приложений.

Во *введении* обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулирована основная гипотеза и идея исследования, определены цели и задачи работы, сформулированы основные положения,

выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава посвящена анализу свойств сложных систем и их отражения на свойствах задач оптимизации, возникающих на различных этапах прикладного системного анализа. Обосновывается выбор исследуемых классов задач оптимизации и современных подходов к их решению. Даны определения эвристического и метаэвристического подходов и обосновывается необходимость применения и развития «гиперэвристического» подхода.

Во *второй главе* исследуется проблема разработки гиперэвристик для синтеза оператора селекции в эволюционном алгоритме. Обоснована и предложена конструктивная офлайн-гиперэвристика на основе алгоритма генетического программирования. Проведено экспериментальное исследование эффективности предложенного подхода, подход апробирован при решении практической задачи проектирования эвристик в задаче идентификации партий электронных компонентов аэрокосмического применения.

В *третьей главе* решается проблема разработки и исследования гиперэвристик для задач нестационарной оптимизации. Обоснована и разработана селективная онлайн гиперэвристика синтеза эволюционных алгоритмов нестационарной оптимизации, которая позволяет контролировать изменения в задаче оптимизации и адаптивно формировать эффективную комбинацию эвристик из предопределённого множества. В ходе численных экспериментов показано, что гиперэвристика всегда превосходит по эффективности среднюю производительность эволюционных алгоритмов, использующих базовые эвристики, а с увеличением сложности задачи превосходит и алгоритм с лучшей базовой эвристикой. При апробации подхода на практической задаче идентификации параметров боковой динамики движения малого беспилотного летательного аппарата удалось получить меньшее среднее значение ошибки идентификации параметров по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки и эволюционным алгоритмом, использующими одну базовую эвистику нестационарной оптимизации.

Четвертая глава посвящена проблеме разработки и исследования гиперэвристик для решения задач аппроксимации множества экстремумов. Обоснована необходимость идентификации множества оптимумов для целей системного анализа и для повышения эффективности и обоснованности решения задач принятия решений. Предложена селективная гиперэвристика синтеза эволюционных алгоритмов идентификации множества экстремумов, которая позволяет осуществлять контроль распределения решений в пространстве поиска и идентифицировать зоны притяжения оптимумов, найденных различными эвристическими. Численные исследования на множестве тестовых и

эталонных задач показали, что предложенная гиперэвристика предпочтительнее произвольного выбора алгоритма с одной из базовых эвристик, а также превосходит некоторые из ведущих алгоритмов мультимодальной оптимизации и сравнима с эффективностью произвольного выбора одного из них. Проведена апробация подхода при решении практических задач из области поддержки принятия решений и проектирования систем на нечеткой логике для решения задач классификации.

В *пятой главе* исследуется проблема разработки гиперэвристик для решения задач глобальной оптимизации большой размерности с алгоритмически заданными целевыми функциями. Обоснованы и разработаны новые эвристики для декомпозиции больших задач и предложена селективная онлайн гиперэвристика, которая реализует т.н. «островную» модель эволюционных алгоритмов, в которой каждый остров независимо реализует собственную декомпозицию задачи в соответствии с назначенной эвристикой. Численные эксперименты на множестве эталонных тестовых задач, предложенных на специальной сессии и соревновании по глобальной оптимизации большой размерности IEEE CEC, показали, что предложенный подход превосходит оценку произвольного выбора одной из базовых эвристик и оценку произвольного выбора одного из ведущих эволюционных алгоритмов в этой области. Для углубленной апробации предложенного подхода решены практическая задача повышения энергоэффективности диспетчеризации электроэнергии в распределенных энергетических системах и задача проектирования траектории космического аппарата с двигателями малой тяги при использовании гравитационных маневров и промежуточных импульсов. Полученные результаты превзошли показатели расчетов, полученных ранее другими подходами и другими авторами.

В *шестой главе* обобщены результаты диссертационного исследования. Сформулирован метод решения сложных задач оптимизации на основе предложенных гиперэвристик в зависимости от целей и требований к решению задачи оптимизации. Обобщенный метод позволяет управлять применением предложенных в работе гиперэвристик в зависимости от комбинации свойств исследуемой сложной системы. Показано, что обобщенный метод применения гиперэвристик позволяет ослабить ограничения известной теоремы «о бесплатных завтраках» в задачах оптимизации.

В *заключении* сформулированы основные выводы и результаты работы, показано, что цель диссертационной работы достигнута путем решения поставленных задач.

В приложениях представлены дополнительные данные о результатах вычислительных экспериментов и акты об прикладном использовании результатов исследования.

Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

В работе представлен довольно подробный обзор и систематизация подходов на базе эволюционных алгоритмов, на основе которых обосновываются необходимость и способы создания конкретных гиперэвристик и обобщённого метода синтеза алгоритмов оптимизации. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается корректной постановкой и проведением вычислительных экспериментов с последующей статистической обработкой и анализом результатов экспериментов. Оценка эффективности предложенных подходов проводится на общепринятых в области эволюционных вычислений задачах, что позволяет проводить честное сравнение результатов с ведущими подходами. Достоверность полученных результатов и выводов также подтверждается многократной апробацией на конференциях и публикациями в ведущих рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, решением прикладных задач и внедрением результатов исследования (имеются акты использования от предприятий).

Научная новизна, ценность результатов и выводов для науки и практики

В диссертации получены новые теоретические положения о способах проектирования алгоритмов решения задач оптимизации сложных систем, а именно задач глобальной оптимизации с алгоритмически заданными целевыми функциями, включая задачи глобальной оптимизации большой размерности, задачи аппроксимации множества экстремумов и задачи оптимизации в нестационарной среде. Систематизация известных и разработка новых подходов к синтезу эволюционных алгоритмов оптимизации, дополняют знания об эвристических методах оптимизации.

В работе впервые предложены:

1. Обобщенная методика применения гиперэвристик синтеза эволюционных алгоритмов, который позволяет адаптивно создавать новые эффективные алгоритмы в зависимости от целей и требований к решению задачи оптимизации и управлять применением предложенных гиперэвристик в зависимости от комбинации свойств исследуемой сложной системы. Обобщенная методика обеспечивает специалистов в области оптимизации и прикладников эффективным инструментом для создания новых гиперэвристик, расширяя, тем самым, область применения эволюционных алгоритмов решения сложных задач оптимизации.

2. Конструктивная офлайн-гиперэвристика для синтеза новых операторов селекции в эволюционных алгоритмах, использующая алгоритм генетического программирования. Синтезированные способы отбора индивидов на исследуемом множестве задач глобальной оптимизации с алгоритмически заданными целевыми функциями обеспечили большую среднюю точность и скорость нахождения глобального оптимума по сравнению со стандартными операторами селекции.

3. Селективная онлайн гиперэвристика синтеза эволюционных алгоритмов оптимизации в нестационарной среде, которая объединяет идеи метода портфолио и идеи метода адаптации вероятностей на уровне популяции. Предложенный подход позволяет обнаруживать изменения в среде и адаптивно формировать эффективную комбинации используемых эвристик нестационарной оптимизации. Предложенный подход обеспечивает достаточно высокую точность отслеживания положения глобального оптимума независимо от комбинации типов изменений целевой функции по сравнению со значением, усредненным по результатам применения отдельных базовых эвристик. Таким образом, применение гиперэвристики является более предпочтительным.

4. Селективная гиперэвристика синтеза эволюционных алгоритмов для идентификации множества экстремумов. Предложенный подход не используют в явном виде какую-либо информацию о свойствах целевой функции и пространства поиска, при этом позволяет адаптивно формировать эффективную комбинацию эвристик для обеспечения разнообразия решений в процессе поиска оптимумов путем анализа скопления решений в областях притяжения оптимумов. Предложенный подход позволяет получить в среднем больший процент идентифицированных оптимумов по сравнению со значением, усредненным по результатам применения отдельных базовых эвристик.

5. Эвристика для группировки переменных на основе алгоритма оценки распределений в бинарном генетическом алгоритме в задаче глобальной оптимизации большой размерности. Использование бинаризации позволяет решать задачи со смешанными переменными, а предложенная эвристика адаптивно осуществляет декомпозицию большой задачи оптимизации на основе анализа изменения компонент решения.

6. Эвристика, использующая распределения вероятностей для адаптивной группировки переменных в компоненты переменного размера на этапе декомпозиции большой задачи оптимизации. Предложенная эвристика обобщает метод DECC-G, использующий коэволюцию компонент одинакового размера, а также добавляет механизм адаптации путем изменения вероятности назначения переменных в конкретные группы на основе прошлого опыта.

7. Селективная онлайн гиперэвристика синтеза эволюционных алгоритмов для задач глобальной оптимизации большой размерности на основе «островной» модели, в которой каждый «остров» реализует свою декомпозицию задачи, а управление эвристиками декомпозиции осуществляется путем изменения размеров «островов». Для задач с алгоритмически заданными целевыми функциями применение предложенной гиперэвристики обеспечивает в среднем большую точность нахождения глобального оптимума чем при произвольном выборе одной из базовых эвристик или одного из ведущих эволюционных алгоритмов для задач большой размерности.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что использование обобщенного метода при решении задач глобальной оптимизации с алгоритмически заданными функциями, позволяет без участия или с минимальным вовлечением предметного специалиста формировать новые эвристики и создавать эффективные комбинации эвристик – по сути, синтезировать новые эволюционные алгоритмы для решения конкретной прикладной задачи. Практическая значимость результатов диссертационного исследования подтверждается успешно решенными прикладными задачами, внедрением результатов, регистрацией 24 программ для ЭВМ в Роспатенте, а также использованием результатов при проведении порядка 20 НИР в рамках государственных заданий Минобрнауки, грантов РФФИ и других.

Замечания

1. В общей постановке задачи (1.1) на стр. 27 определяется пространство поиска, однако не уточняется как именно задается область изменения переменных разных типов.
2. При проведении численных исследований метода 1 алгоритмы (формулы) назначения вероятностей отбора получены для одного значения размера популяции. Например, выражение (2.17) на стр. 70, (2.18) на стр. 75 и (2.19) на стр. 76. Из описания решений в тексте диссертации не ясно, как применяются данные формулы для других значений размера популяции.
3. При решении прикладной задачи в разделе 2.4 полученные результаты сравниваются с результатами применения стандартного генетического алгоритма, однако не уточняется каким образом выбраны его параметры.
4. При распределении размеров популяций в формуле (3.3) стр. 106 в методе 2 необходимо определить пороговое (минимальное) значение для размеров подпопуляций. Из текста осталось неясно, как именно определяется данное значение.

5. В методе 3 области притяжения идентифицированных оптимумов определяются путем решения задачи кластеризации, из текста диссертации неясно как определяется число кластеров B в формулах (4.6)-(4.7) на стр. 143-144.
6. В таблицах 4.4 и 4.6 на стр. 155 и 158 представлены результаты решения тестовых задач мультимодальной оптимизации для пяти уровней точности, в тексте не указано, на каком уровне точно проводилось ранжирование алгоритмов.
7. При решении прикладной задачи аппроксимации множества экстремумов при проектировании систем на нечеткой логике в функции пригодности (4.30) стр. 172 используются весовые коэффициенты, выбор значений которых не объясняется в тексте.
8. В главе 5 в алгоритмах декомпозиции задач большой размерности в одних случаях группы переменных называются компоненты вектора решений, в других – субкомпоненты. Неясно, как соотносятся эти термины.
9. В разделе 5.3 описывается набор задач большой размерности, в котором содержатся 5 типов задач, включая полностью сепарабельные и полностью несепарабельные. В тексте приводятся результаты ранжирования по всему набору, но нет анализа для отдельных типов задач.
10. В тексте недостаточно уделено внимание программной реализации подходов, в частности, остается открытым вопрос о возможности распараллеливания алгоритмов, поскольку гиперэвристики, вычислительно более сложны, и помимо алгоритмов-компонентов включают алгоритмы выбора, оценки и управления компонентами.

Общая оценка и заключение

Имеющиеся замечания не снижают общей положительной оценки работы. Считаю, что диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук Сопова Е.А. является завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполненной на высоком научном уровне. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения являются обоснованными. Научные результаты и выводы, представленные в диссертации, являются личным научным достижением автора в области эволюционной оптимизации сложных систем. Результаты диссертации достаточно полно представлены в более чем 60 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и докладывались на отечественных и международных конференциях.

Содержание диссертации и полученные результаты соответствуют п.4 паспорта специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка

информации. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, содержит описание основных этапов исследования, полученные результаты и выводы. Оформление автореферата и диссертации соответствует требованиям ВАК РФ. Считаю, что представленная диссертационная работа отвечает требованиям действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Сопов Евгений Александрович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии).

Официальный оппонент, главный научный сотрудник
лаборатории оптимального управления
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук,
доктор технических наук
22.09.2021 г.

Александр Юрьевич Горнов

Адрес организации:
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, а/я 292
Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова
Сибирского отделения Российской академии наук
тел. +7 (3952) 42-71-00
адрес электронной почты: gornov.a.yu@gmail.com

Подпись Горнова Александра Юрьевича заверяю



Подпись заверяю
Нач. отдела делопроизводства
и организационного обеспечения
ИДСТУ СО РАН

Г.Б. Кононенко