

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
Воронежского государственного  
технического университета  
д-р техн.наук, профессор

Дроздов Игорь Геннадьевич

« 02 »



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Рожнова Ивана Павловича «Алгоритмы поиска с чередующимися рандомизированными окрестностями для задач автоматической группировки объектов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (космические и информационные технологии)

### **Актуальность диссертации для науки и практики**

Диссертационная работа Рожнова И.П. посвящена разработке и исследованию алгоритмов автоматической группировки объектов, к которым предъявляются повышенные требования по точности и стабильности результата, выраженного достигаемым значением целевой функции за заданное время. Тема достаточно хорошо исследована, однако разработка быстрых и достаточно точных алгоритмов решения задач автоматической группировки объектов, применимых к решению задач с большим объемом входных данных, остается весьма перспективной задачей для исследования, учитывая, что известные алгоритмы весьма затратны по времени. В работе Рожнова И.П. предложен подход к разработке эффективных алгоритмов автоматической группировки, основанный на комбинированном применении жадных агломеративных эвристических процедур и алгоритмов поиска с чередующимися рандомизированными окрестностями. Внедрение разработанных алгоритмов позволяет решать актуальную задачу повышения эффективности разрушающих отбраковочных испытаний электро-радиоизделий, используемых в космическом производстве, с использованием имеющихся данных неразрушающих тестовых испытаний, получаемых в ходе проведения обязательных неразрушающих тестов.

Также в диссертации Рожнова И.П. предложены параллельные модификации алгоритмов с жадной агломеративной эвристической процедурой для больших задач автоматической группировки, адаптированные к архитектуре CUDA. Показано, что параллельная реализация алгоритма локального поиска, а также отдельных шагов жадной агломеративной эвристической процедуры позволяет построить алгоритмы автоматической группировки с высоким коэффи-

циентом ускорения. Известные алгоритмы (генетические, либо основанные на схеме МИВЕР – метод изменяющихся вероятностей), разработанные для решения задач, к которым предъявляются высокие требования по точности и стабильности получаемого результата, являются последовательными алгоритмами, и использование современных параллельных архитектур открывает большие перспективы для исследователей.

### **Основные научные и практические результаты**

Предложенные алгоритмы автоматической группировки, разработанные на основании нового подхода, включающего комбинированное применение алгоритмов поиска с чередующимися рандомизированными окрестностями и жадных агломеративных эвристических процедур, расширяют набор эффективных алгоритмов оптимизации. Для исследованных в работе задач алгоритмы позволяют получать более точные по значению целевой функции решения за фиксированное время по сравнению с известными методами.

Новые алгоритмы, являясь дальнейшим развитием метода жадных эвристик, дополняют и расширяют его применение. Как следует из приведенных в работе результатов вычислительных экспериментов, модифицированные алгоритмы более эффективны для многих задач, чем известные алгоритмы, в том числе, чем генетические алгоритмы метода жадных эвристик.

Кроме того, автором впервые предложены параллельные модификации алгоритмов метода жадных эвристик для архитектуры CUDA, позволяющие сокращать время расчетов в десятки и сотни раз без ухудшения достигаемого значения целевой функции. Также была предложена процедура составления оптимальных ансамблей алгоритмов автоматической группировки с комбинированным применением генетического алгоритма метода жадных эвристик и согласованной матрицы бинарных разбиений для практических задач, что позволило повысить точность разделения сборной партии промышленной продукции с особыми требованиями качества на однородные партии.

### **Научная новизна**

Полученные в диссертации результаты, а именно: новый подход к разработке алгоритмов автоматической группировки, включающий комбинированное применение алгоритмов поиска с чередующимися рандомизированными окрестностями и жадных агломеративных эвристических процедур, разработанные с использованием нового подхода алгоритмы поиска с чередующимися рандомизированными окрестностями (для задач  $k$ -средних,  $k$ -медоид и задачи четкой кластеризации на основе разделения смеси вероятностных распределений с применением классификационного EM-алгоритма), параллельные модификации алгоритмов метода жадных эвристик для архитектуры CUDA, а также процедура составления оптимальных ансамблей алгоритмов автоматической группировки являются новыми и получены автором лично.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в разработке нового подхода к созданию алгоритмов автоматической группировки, основанных на параметрических оптимизационных моделях, а также процедуры составления оптимальных ансамблей алгоритмов автоматической группировки с комбинированным применением генетического алгоритма метода жадных эвристик и согласованной матрицы бинарных разбиений. Разработанный подход расширяет множество известных эффективных методов для задач автоматической группировки объектов и может служить основой для разработки методов для решения других оптимизационных задач.

Для ряда задач по результатам достаточного количества экспериментов показано превосходство новых алгоритмов над известными (классическими).

Рожнов И.П. корректно использовал инструментарий ряда технических научных дисциплин, что позволило получить совокупность новых результатов, совместное применение которых позволяет усовершенствовать решение поставленных практических задач, в частности о выделении однородных партий производственной продукции по результатам тестовых испытаний.

### **Практическое значение и рекомендации по использованию**

Практическая ценность нового подхода решения задач автоматической группировки с повышенными требованиями к точности и стабильности результата обусловлена широким диапазоном сфер применения задач кластерного анализа, в том числе непосредственно в практических задачах на производстве, например, там, где требуется обеспечение высокой точности разделения производственных партий промышленной продукции на однородные партии по результатам тестовых испытаний.

Программная реализация новых алгоритмов и процедуры составления оптимальных ансамблей алгоритмов автоматической группировки была встроена в производственный процесс проведения испытаний электронной компонентной базы космических аппаратов в АО «ИТЦ – НПО ПМ» (г. Железногорск) и в состав «Автоматизированной системы управления технологическим процессом производства анодов», используемой на АО «РУСАЛ Саяногорск», что позволило обеспечить высокую точность разделения на однородные партии промышленной продукции, сократить время расчетов и требования к вычислительным ресурсам, а также (в АО «ИТЦ – НПО ПМ») обеспечить возможность принятия решений об отборе экземпляров продукции из каждой однородной партии для разрушающего анализа в интерактивном режиме. Основная часть диссертационного исследования была проведена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ № 2.5527.2017/БЧ «Методы комбинаторной оптимизации в системах автоматической группировки и классификации».

Практические результаты диссертационной работы рекомендуются при разработке систем автоматической группировки объектов, к которым предъявляются высокие требования по точности и стабильности результата, а также к

применению на производствах, осуществляющих контроль однородности партий промышленной продукции либо сортировку продукции по однородным партиям на этапе контроля, а также при решении более широкого класса задач кластерного анализа, к результатам которых предъявляются повышенный требования точности и стабильности.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В выводах к Главе 1 точность результата работы алгоритма определяется как близость результата (т.е. достигаемого значения целевой функции) к глобальному оптимуму. В тоже время, в представленных результатах глобальные оптимумы задач не указаны. Таким образом, невозможно оценить, насколько предлагаемые алгоритмы повышают точность решения.

2. Под стабильностью получаемых результатов работы алгоритмов автор понимает стабильность достигаемых значений целевой функции при многократных запусках рандомизированных алгоритмов. В то же время, с практической точки зрения большее значение имеет стабильность состава получаемых кластеров, которая в диссертации не оценивается.

3. В описании алгоритмов используются различные обозначения. Так, в описании алгоритма 1.1 исходные данные  $A_i$ , а  $X_j$  – начальные центры, в то время, как в описании алгоритма 1.3 исходные данные обозначены как  $X_i$ .

4. В Главе 4 нарушена нумерация формул: вместо (3.1) должно быть (4.1).

### **Заключение по диссертационной работе в целом**

Приведенные выше замечания не снижают общей положительной оценки работы Рожнова Ивана Павловича. Диссертация является научно-квалификационной работой, изложенные в которой положения о новом подходе к разработке алгоритмов автоматической группировки и процедуре составления оптимальных ансамблей алгоритмов автоматической группировки можно охарактеризовать как решение задачи повышения точности и стабильности результатов работы систем автоматической группировки объектов на основе комбинированного применения алгоритмов поиска с чередующимися рандомизированными окрестностями и жадных агломеративных эвристических процедур. Данная задача имеет существенное значение для науки и практики в области построения систем, решающих задачи автоматической группировки с повышенными требованиями точности и стабильности результата. Работа выполнена соискателем самостоятельно и на высоком уровне.

Достоверность результатов диссертации подтверждается проведением достаточного количества вычислительных экспериментов при различных постановках задач, как на классических наборах данных, так и на практических задачах разделения производственных партий электрорадиоизделий.

Диссертационная работа Рожнова И.П. изложена на 176 страницах, состоит из введения, четырех глав и заключения. Диссертация обладает внутренним единством, стиль изложения материала ясный. Основные результаты дис-

сертации опубликованы в 18 работах (7 работ в ведущих рецензируемых журналах, рекомендуемых в действующем перечне ВАК, 5 – в международных изданиях, индексируемых в системах цитирования Web of Science и Scopus).

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Оформление автореферата и диссертации соответствует требованиям ВАК РФ.

Работа отвечает требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Рожнов Иван Павлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Автоматизированные и вычислительные системы» ВГТУ (протокол №1 от «02» сентября 2019 г.), присутствовало 12 человек.

Заведующий кафедрой

«Автоматизированные и вычислительные системы»

Воронежского государственного технического университета

Заслуженный деятель науки Российской Федерации,

доктор технических наук, профессор

Подвальный Семен Леонидович

Профессор кафедры

«Автоматизированные и вычислительные системы»

Воронежского государственного технического университета,

доктор технических наук, профессор

Кравец Олег Яковлевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

394026, Воронежская область, г.Воронеж, Московский проспект, д.14.

Телефон +7(473)221-09-19, веб-сайт: <http://www.vorstu.ru>,

адрес электронной почты: [rector@vorstu.ru](mailto:rector@vorstu.ru)

