

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН Института проблем
управления им. В.А. Трапезникова РАН
академик РАН



Д.А. Новиков

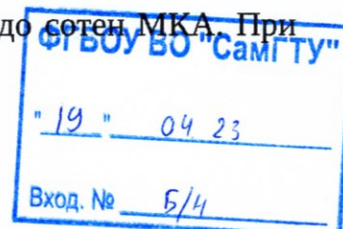
«6» апреля 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН), г. Москва
на диссертационную работу Галузина Владимира Андреевича
«Методы и средства согласованного планирования разделяемых ресурсов для цифровых платформ управления орбитальными группировками дистанционного зондирования Земли»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность для науки и практики

Орбитальные группировки (ОГ) малых космических аппаратов (МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) принадлежат к новому поколению космических систем наблюдения, предназначенных для получения снимков земной поверхности в различных спектральных диапазонах в ответ на запросы, поступающие от потребителей. Данные, получаемые таким образом, становятся все более востребованными в различных областях человеческой деятельности. В связи с ростом популярности спутниковой съемки возникает необходимость наращивания орбитальной группировки ДЗЗ и ввода в эксплуатацию, наряду с традиционными космическими аппаратами большой массы, и крупномасштабной группировки МКА, состав которой может оперативно разворачиваться и изменяться на орбите, а число аппаратов которой, в зависимости от стоящей перед ОГ ДЗЗ задачи, может варьироваться от нескольких десятков до сотен МКА. При



этом число заявок на съемку ДЗЗ растет быстрее, чем число МКА, что требует новых подходов к управлению группировками МКА для повышения эффективности их использования. Несмотря на стремительный прогресс в этой области и большой рост числа работ по планированию группировок МКА, большинство решений по-прежнему основано на централизованных, иерархических и монолитных алгоритмах, причем каждый МКА индивидуально планируется своим оператором в отдельности.

Более перспективный подход связывается с созданием открытых цифровых платформ, которым в управление передаются МКА разных производителей для работы в режиме разделения ресурсов.

В этой связи в работе ставится актуальная задача разработки новых методов и средств согласованного планирования разделяемых ресурсов в цифровых платформах управления ОГ МКА ДЗЗ.

В представленной работе Галузин В.А. модернизирует и развивает предложенную ранее мультиагентную модель сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) для управления ОГ МКА ДЗЗ с целью создания интеллектуального сервиса согласованного планирования и контроля исполнения большого числа заявок в условиях неопределенности, обусловленной нерегулярным потоком различных непредвиденных событий, таких как появление новых заявок, изменение приоритетов уже существующих, отказы оборудования МКА или появление новых МКА с новыми возможностями в группировке и т.п. В этих целях в работе предлагается возможность распараллеливания вычислений в случае наличия нескольких ядер процессора. Кроме того, в работе ставится задача обработки заявок не только точечных объектов, но и на съемку площадных районов интереса (РИ), которые могут быть удовлетворены только несколькими МКА на разных витках, т.е. обеспечивается как конкуренция, так и кооперация МКА, что существенно усложняет задачу. Для оценки эффективности метода экспертами Роскосмоса в качестве целевого показателя сформулировано требование по обработке не менее 20 тысяч заявок для группировки в 20 аппаратов на горизонте в 4-6 недель, что с успехом реализуется в разработанном подходе.

Следует отметить, что Галузин В.А. провёл обширный анализ современных публикаций по исследуемым вопросам совместно со специалистами ЦУП-

ЦНИИМАШ, структурировал и систематизировал известные методы решения, обосновал отличия и новизну предлагаемого метода.

Проведённые автором аналитические исследования, разработки методов и средств, а также практические разработки были успешно доведены до промышленных внедрений.

Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Новизна исследований, представленных в работе, заключается в разработке методов и средств, позволяющих согласованно планировать больших пакетов заявок (десятки тысяч) на объектовую и площадную съемку ОГ МКА ДЗЗ посредством выявления и разрешения конфликтов по совместному использованию разделяемых ресурсов аппаратов и пунктов приема информации.

Этот подход позволил разработать интеллектуальный сервис планирования для цифровой платформы управления целевым применением группировок МКА ДЗЗ для реализации всего жизненного цикла заявки (от поступления – до выдачи результатов), которые позволяют уменьшить сложность и трудоемкость управления ОГ МКА ДЗЗ и наземной инфраструктурой и сократить зависимость от человеческого фактора, допускающего ошибки в процессе принятия решений.

Новыми в работе являются следующие результаты:

1. Предложена новая постановка задачи согласованного планирования разделяемых ресурсов в цифровой платформе управления группировками малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, отличающаяся от решаемой до настоящего времени на практике задачи независимого планирования космических аппаратов необходимостью согласованно планировать ресурсы орбитальных группировок разных производителей и возможностью разделения одного аппарата между несколькими заявками.

2. Разработан метод согласованного планирования разделяемых ресурсов в цифровой платформе управления группировками малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, отличающийся от ранее предложенного метода на основе сети потребностей и возможностей двухэтапной итерационной процедурой параллельной обработки запросов агентов для достижения

«конкурентного равновесия», унификацией части расчетов и вынесением их на предварительные стадии, использованием принципа «ленивых вычислений», что обеспечивает разрешение конфликтов по совместному использованию разделяемых ресурсов, пакетную обработку большого числа заявок и работу с площадными районами интереса.

3. Разработана функциональная архитектура цифровой платформы управления группировкой малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, отличающаяся от используемых на практике систем управления космическими аппаратами интеграцией в единый контур сервисов согласованного планирования ресурсов орбитальных группировок и сети пунктов приема информации разных поставщиков, мониторинга выполнения миссии, обработки и хранения результатов съемки, что позволяет обеспечить полный цикл предоставления услуг дистанционного зондирования Земли потребителям от подачи заявки – до получения результатов.

4. Проведено исследование возможностей разработанных методов и средств и их сравнение с известными методами планирования, показавшее преимущества предлагаемого подхода для обработки 20 тысяч заявок на горизонте в 30 дней против 5 тысяч с применением известных методов на базе пакета OptaPlanner, т.е. в 4 раза больше, с повышением качества получаемых изображений на 5-15% в зависимости от размера выборки.

Все это позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа содержит новые подходы, методы и средства для решения поставленных актуальных научных задач, имеющих значимое практическое применение.

Практическое значение результатов определяется следующим:

Полученные Галузиным В.А. научные результаты имеют практическую значимость и позволяют:

1. Создать сервис согласованного планирования разделяемых ресурсов для цифровых платформ управления многоспутниковыми ОГ МКА ДЗЗ.
2. Обеспечить индивидуальный подход к каждой заявке и каждому аппарату, согласованно выбирая оперативность и качество получения изображений.

3. Разработать цифровые платформы управления целевым применением группировок МКА ДЗЗ для реализации всего жизненного цикла заявок.

4. Уменьшить сложность и трудоемкость управления масштабными группировками МКА и наземной инфраструктурой и сократить зависимость от человеческого фактора для уменьшения числа возможных ошибок в процессе принятия решений.

5. Результаты работы могут быть использованы при создании других цифровых платформ для работы с разделяемыми ресурсами: грузовыми перевозками, цехами производства, беспилотными летательными аппаратами и т.д.

Результаты диссертации Галузина В.А. использованы при проектировании, разработке и внедрении сервиса согласованного планирования и создании платформы для решения задач управления группировками МКА «Канопус», которые решались по заказу компании АО «СТТ групп» в интересах АО «Корпорация «ВНИИЭМ». Прототип цифровой платформы создан для моделирования работы космической группировки МКА для решения задач ДЗЗ в РКЦ «Прогресс» для расчета пропускной способности группировки в 25 аппаратов класса «Ресурс-П».

Разработанный сервис использовался также при разработке платформы управления пунктами приема информации и прошел испытания на площадке Сколковского института науки и технологий для планирования приема данных от МКА, запущенных при поддержке Фонда содействия инновациям в научно-технической сфере в августе 2022 года.

Наконец, в перспективе, разработанный подход может найти применение в новом проекте «Сфера» ГК «Роскосмос», по которому планируется создание и вывод на орбиту сотен аппаратов ДЗЗ и связи.

Результаты использованы в прикладных научных исследованиях:

1. Проект Минобрнауки РФ 14.578.21.0230 «Разработка моделей, методов и средств сетевого взаимодействия для построения группировок аэрокосмических систем дистанционного зондирования Земли для решения задач точного земледелия» (индустриальный партнер АО «РКЦ «Прогресс»);

2. Проект «Разработка информационной технологии (платформы) совместного использования в ресурсных центрах распределенных наземных

станций приема данных с космических аппаратов» реализованного при поддержке Фонда содействия инновациям (договор №371ГРНТИС5/42688).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Рекомендовать использование результатов диссертационной работы Галузина В.А. при проектировании, разработке и внедрении цифровых платформ управления ресурсами группировок малых космических аппаратов ДЗЗ с целью расширения областей применения и повышения эффективности использования ресурсов группировок указанных аппаратов.

Рекомендуется применять разработанные методы и средства в учебных заведениях, ведущих подготовку специалистов по управлению сложными системами, искусственному интеллекту и смежным специальностям.

Замечания к работе

По содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. В проведенном обзоре рассматривались только работы, которые связаны с управлением группировками малых космических аппаратов. В то же время, в рамках теории дискретной оптимизации имеется и ряд других перспективных методов, которые могли бы быть применимы к решению поставленной задачи, по крайней мере, в отдельных ее частях, в частности методы решения NP-трудной в сильном смысле проблемы RCPSP. Также к похожему методу можно отнести методы планирования аэрофотосъемки при помощи БПЛА.
2. В работе недостаточно детально проработана задача и функции агента района наблюдения, которые могут и должны конкурировать между собой за ресурсы аппаратов на разных витках. В частности, как осуществляется разбиение площадного объекта с учетом возможности съемки спутниками, находящимися в разных орбитальных плоскостях.
3. При разработке метода планирования не принималась во внимание возможность динамического объединения (консолидации) операций съемки близкорасположенных районов интереса.

4. В работе не раскрыт механизм взаимодействия сервиса планирования цифровой платформы и аппаратов орбитальной группировки (загрузка на борт, получение телеметрии и т.д.).
5. При оценке качества и эффективности разработанного метода, кроме пакета OptaPlanner, целесообразно было бы сравнить получаемые результаты с методами, представленными в таких более мощных пакетах как CPLEX и другие.

Заключение

Диссертационная работа Галузина В.А. представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной задачи разработки новых методов и средств согласованного планирования разделяемых ресурсов в цифровых платформах управления ОГ МКА ДЗЗ. На основе результатов диссертационного исследования, при непосредственном участии автора, созданы сервис согласованного планирования и прототип цифровой платформы для решения задач управления ресурсами группировки МКА, которые успешно применяются в двух промышленных предприятиях.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости выполненных Галузиным В.А. исследований, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям и задачам.

Автореферат и опубликованные работы отражают все основные положения диссертации. Научные и практические результаты диссертации представлены в достаточном количестве опубликованных работ (результаты опубликованы в 17 научных работах, из них 4 – в журналах, рекомендованных ВАК, 8 – в изданиях, индексируемых в Scopus, 5 работ – в трудах международных и всероссийских конференций), имеется три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Все основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией.

В диссертации обозначен вклад автора в разработку проблемы в работах, опубликованных коллективно с соавторами.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённом Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, соответствует специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а её автор **Галузин Владимир Андреевич** заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат был обсуждён и одобрен на семинаре ФГБУН Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, который был проведен 27 марта 2023 г.

Главный научный сотрудник,
Заведующий лабораторией «Теории
расписаний и дискретной оптимизации»,
доктор физико-математических наук,
профессор

Лазарев Александр Алексеевич

Специальность, по которой защищалась диссертация:

01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика» (2007 г.)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)

Адрес: 117997, ГСП-7, г. Москва, ул. Профсоюзная, д.65

Телефон: +7 (495) 334-89-10

Адрес электронной почты: dan@ipu.ru

Сайт: <http://www.ipu.ru/>

С отзывом всем ознакомлены

20.04.23

Галузин В.А.

Подпись

ЗАВЕРЯЮ

ЗАВ. ОБЩИМ ОТДЕЛОМ
ДЫСЕНКО А.Н.

