

Двадцать третья международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Система аэрокосмического мониторинга с оптимизацией съемки
сложнораспределенных участков воздушными средствами с
использованием роботного интеллекта



доктор технических наук Григорьев Андрей Николаевич
Строгонов Артем Артурович

Космическая съёмка обеспечивает эффективный мониторинг больших территорий, но даёт ограниченную детализацию для мелких, сложнораспределённых участков. Для оперативного и информативного изучения таких локальных зон целесообразно интегрировать воздушные съёмочные средства. Это позволяет повысить точность и полноту данных при минимальных затратах времени и ресурсов, что важно для специальных задач.

Разработка двухуровневой системы, объединяющей аналитическое моделирование оптимальных параметров полёта для отдельного воздушного средства и интеллектуальную координацию группы средств на базе методов роботного интеллекта, позволяет существенно повысить эффективность целевой съёмки. Такой подход обеспечивает более полное информационное обеспечение мониторинга при ограниченных ресурсах, сокращает время получения детальных данных и повышает качество интеграции результатов в ГИС-платформы.



Идея исследования состоит в создании двухуровневой системы аэрокосмического мониторинга, объединяющей высокопроизводительную спутниковую съёмку и целевую воздушную аэросъёмку для эффективного изучения мелких и сложнораспределённых участков. В основе концепции — сочетание строгих аналитических моделей для оптимизации параметров полёта отдельного воздушного средства (учёт требований к перекрытию снимков, буферных зон, времени манёвров и влияния ветра) и методов роевого интеллекта на базе мультиагентного обучения с подкреплением (ядро — QMIX) для координации группы средств. Предлагаемая архитектура модульна и масштабируема, обеспечивает автономное планирование миссий, динамическое распределение задач, минимизацию дублирования съёмки и интеграцию результатов в ГИС-платформы.

Цель исследования — разработать и внедрить описанную двухуровневую систему, способную оптимизировать съёмку сложнораспределённых площадей путём: аналитической оптимизации маршрутов и параметров съёмки для одного воздушного средства; обучения роя агентов для кооперации и распределения задач (QMIX); обеспечения оперативного получения детализированных данных при ограниченных ресурсах и их эффективной интеграции в инструменты принятия решений. Реализация направлена на повышение эффективности мониторинга, сокращение времени и пройденных расстояний полётов, снижение простоев и улучшение качества информационного обеспечения в прикладных сценариях

Возможные варианты модели аэрокосмического средства

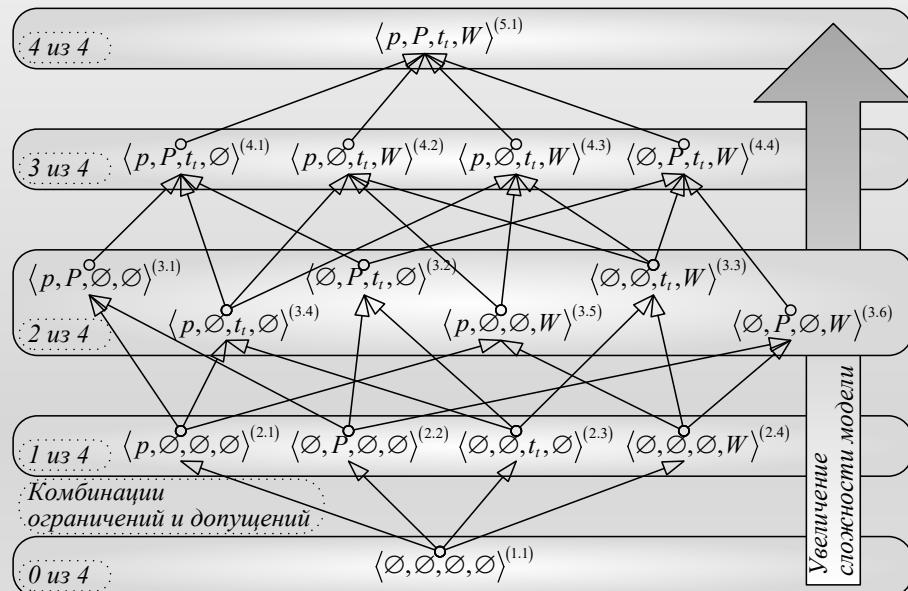


Рис. 1 «Возможные варианты модели аэрокосмического средства»

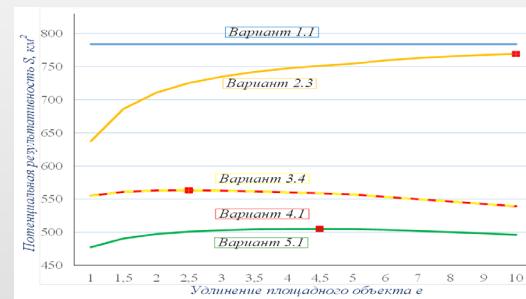


Рис. 2 «Зависимость отнятой площади и от удлинения планарного объекта»

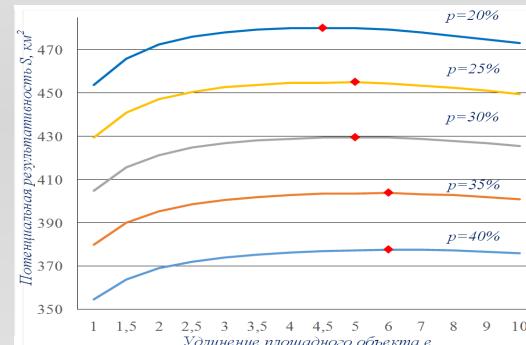


Рис. 3 «Зависимость отнятой площади и от удлинения планарного объекта и перекрытия»

Сравнение методов мультиагентоного обучения



Рис. 4 «Зависимость среднего времени на задачу от количества БАС»

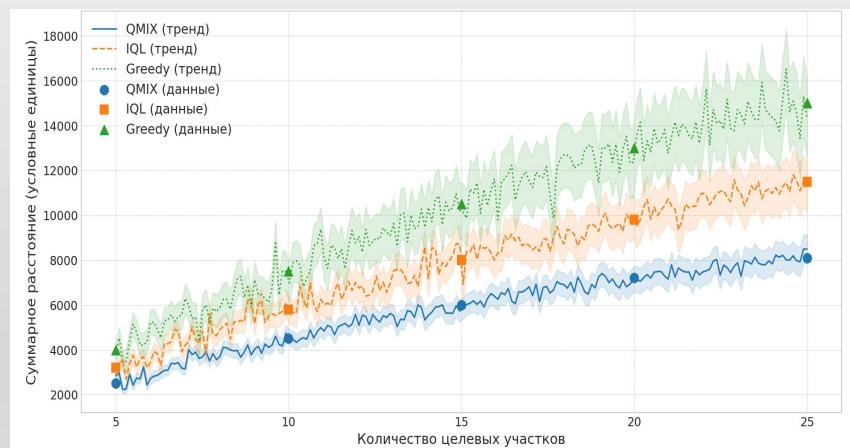


Рис. 5 «Зависимость суммарного расстояния от количества БАС»

Сравнение методов мультиагентоного обучения

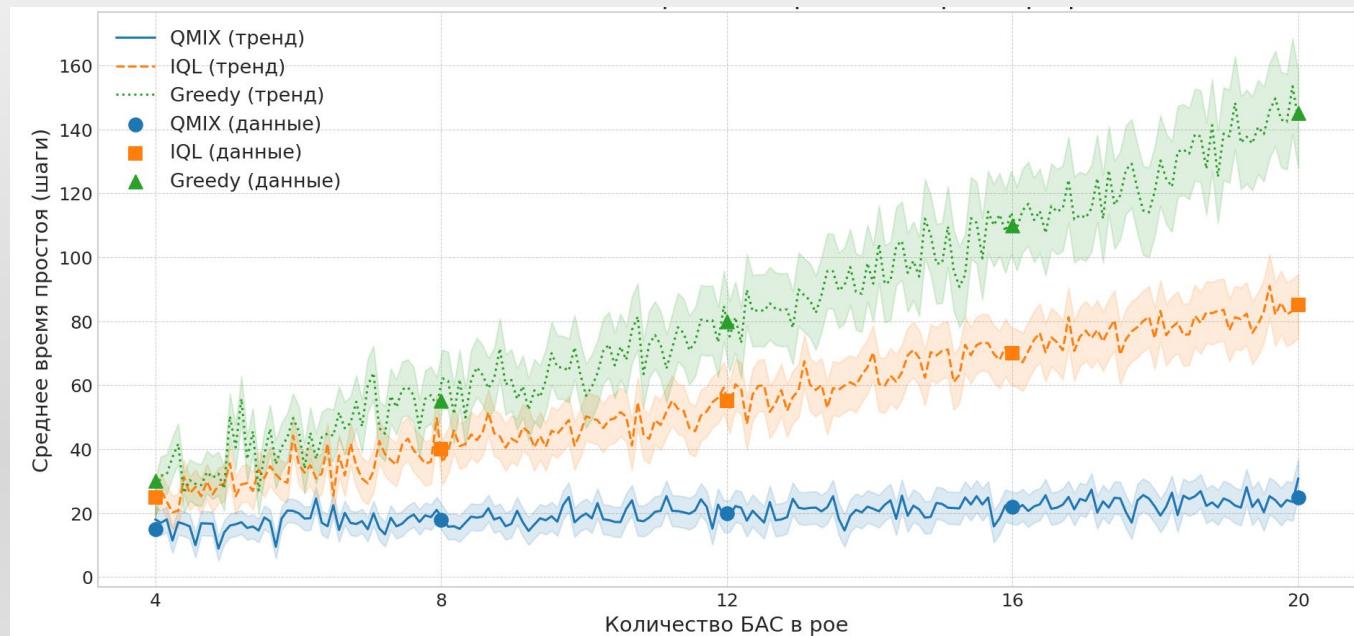


Рис. 6 «Зависимость среднего времени простоя от количества БАС в рое»

Таким образом, в результате проведённого исследования была разработана и реализована концепция двухуровневой аэрокосмической системы мониторинга, объединяющая высокопроизводительную спутниковую съёмку и целевую воздушную аэросъёмку для детальной обработки сложнораспределённых участков. В основе решения лежит сочетание аналитического моделирования для оптимизации параметров полёта отдельного воздушного средства (учёт требований к перекрытию снимков, буферных зон, времени манёвров и разворотов, влияния ветра) и методов роевого интеллекта на базе мультиагентного обучения с подкреплением (ядро — QMIX) для координации группы средств. Реализованная модульная архитектура обеспечивает автономное планирование, динамическое распределение задач между агентами, минимизацию дублирования съёмки.

Полученные результаты демонстрируют практическую эффективность предложенного подхода: в детальной симуляции система на базе QMIX превосходила независимое обучение агентов (IQL) и детерминированный «жадный» алгоритм по скорости выполнения плана, суммарному пройденному расстоянию и времени простоя. Это свидетельствует о высокой оптимальности маршрутов и повышении пропускной способности съёмочных групп. Предложенное решение пригодно для прикладных задач и может быть интегрировано с существующими ГИС-платформами. Дальнейшее развитие включает расширение аналитических моделей, улучшение методов кооперации роя, полевые испытания и глубокую интеграцию с инструментами визуализации и анализа пространственных данных.

1. Rothermel, R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels / R. C. Rothermel. – Ogden, UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. – 40 p. – (Research Paper INT-115).
2. Tan, M. EfficientDet: Scalable and Efficient Object Detection / M. Tan, R. Pang, Q. V. Le // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2020. – P. 10781–10790. – URL: <https://arxiv.org/abs/1911.09070> (дата обращения: 28.10.2025). – Текст : электронный.
3. Обоснование выбора структуры и параметров проектируемой авиационной системы наблюдения на основе оценивания потенциальной производительности совместной многомаршрутной съемки / А. Н. Григорьев [и др.] // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. – 2024. – Вып. 691. – С. 84–93.
4. Частные показатели эффективности применения беспилотных летательных аппаратов при ведении аэросъемочных работ / А. Н. Григорьев [и др.] // Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 22–23 мая 2018 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2018. – С. 55–59.
5. Подходы к анализу и синтезу беспилотной авиационной системы в задаче исследования аэрофотосъемки площадного объекта / А. Н. Григорьев [и др.] // Наукомкие технологии. – 2021. – Т. 22, № 3. – С. 78–88.