

Модели управления зонами покрытия в спутниковых системах



Д.А. Иванов

Кафедра Механики и проблем управления Инженерной академии

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва



Приоритет научно-технологического развития

Соответствие научного исследования приоритетам СНТР

(утверждены Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145)

Переход к передовым технологиям проектирования и создания высокотехнологичной продукции, основанным на применении интеллектуальных производственных решений, роботизированных и высокопроизводительных вычислительных систем, новых материалов и химических соединений, результатов обработки больших объемов данных, технологий машинного обучения и искусственного интеллекта.

Соответствие научного исследования важнейшим наукоемким технологиям

(утверждены Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529)

Технологии создания доверенного и защищенного системного и прикладного программного обеспечения, в том числе для управления социальными и экономически значимыми системами.

Актуальность задачи

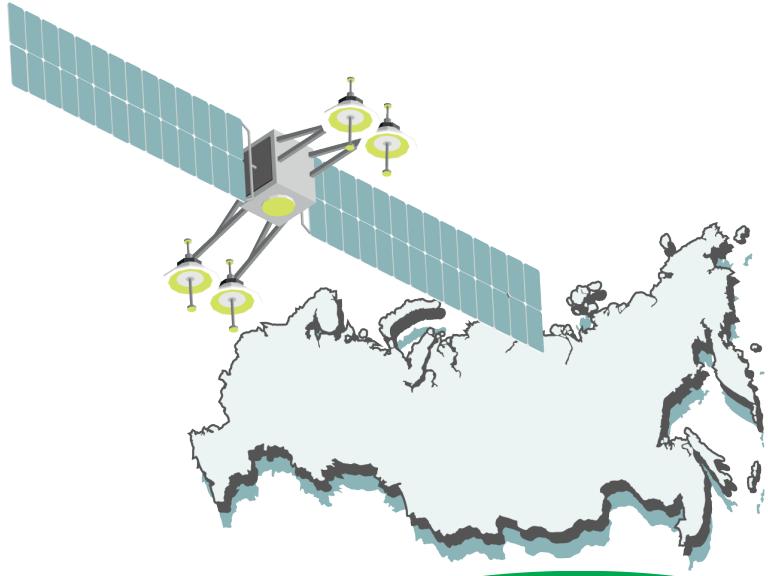
Управление зонами покрытия – ключевой фактор устойчивости спутниковых систем

Развитие многоспутниковых систем связи и ДЗЗ сопровождается ростом требований к:

- качеству каналов передачи данных;
- устойчивости покрытия в удалённых регионах;
- оперативности перераспределения ресурсов.

Почему это важно:

- Спутники – основной инструмент связи там, где наземная инфраструктура невозможна или нецелесообразна.
- От управления зонами покрытия зависят:
 - равномерность распределения ресурсов;
 - доступность сервиса;
 - надёжность каналов связи.



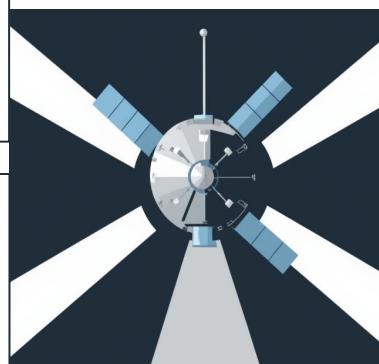
Ключевые параметры формирования зон покрытия

Орбитальные параметры

- высота орбиты h (км);
- наклонение i ($^{\circ}$);
- период обращения T (мин)

Характеристики антенн

- ширина луча θ ($^{\circ}$);
- диаграмма направленности;
- мощность излучения P (Вт)



Пространственно-временная нагрузка

- распределение трафика по регионам;
- пиковые нагрузки по времени суток

Внешние условия

- метеоусловия (дождь, облачность);
- радиопомехи;
- отражения и затухания сигнала

Зоны покрытия формируются комплексом динамических факторов



Почему классические методы недостаточны?

Традиционные методы управления имеют принципиальные ограничения:

- требуют ручного вмешательства оператора;
- не учитывают динамику нагрузки;
- обладают низкой адаптивностью к изменениям орбиты (особенно для LEO-группировок);
- дают высокие задержки при перераспределении ресурсов.

Следовательно, невозможно оперативно реагировать на:

- сбои каналов;
- всплески трафика;
- изменения метеоусловий

Необходим переход к интеллектуальным моделям, способным
адаптироваться к динамике сети в реальном времени



Алгоритм управления зонами покрытия: этапы и логика

Сбор данных

- телеметрия спутников;
- качество каналов (SINR, задержка);
- нагрузка и метеоусловия



Оценка и коррекция

- метрики качества обслуживания (KPI);
- автоматическая настройка параметров



Предобработка

- фильтрация аномалий;
- агрегирование по региональным сегментам



Анализ и кластеризация

- оценка текущего состояния системы;
- группировка зон по интенсивности трафика



Адаптивное перераспределение

- корректировка направленности антенн;
- изменение конфигурации лучей;
- балансировка энергии между регионами



Прогнозирование

- Модели и алгоритмы машинного обучения



Технологии и сферы внедрения

Технологическая основа

- Машинное обучение для прогнозирования трафика;
- Кластеризация пространственных данных (DBSCAN, K-means);
- Оптимизация ресурсов;
- Реактивные алгоритмы перераспределения

Сфера применения

- Спутниковая связь (Broadband, IoT);
- Дистанционное зондирование Земли (оперативный мониторинг);
- Сети IoT в труднодоступных регионах;
- Управление транспортом и БПЛА;
- Экстренная связь и системы безопасности



Заключение

Ожидаемые результаты;

Повышение эффективности использования орбитальных ресурсов
(снижение Р на 15-25 %);

Рост доступности каналов до 99,5 %;

Минимизация участия оператора (автономное управление)

Перспективы

Интеграция в сети 6G (спутниково-наземная конвергенция);

Масштабирование на глобальные группировки (тысячи спутников);

Online learning для адаптивных ИИ-модулей;

Применение в новых поколениях систем ДЗЗ



Российский университет
дружбы народов

Спасибо за внимание!