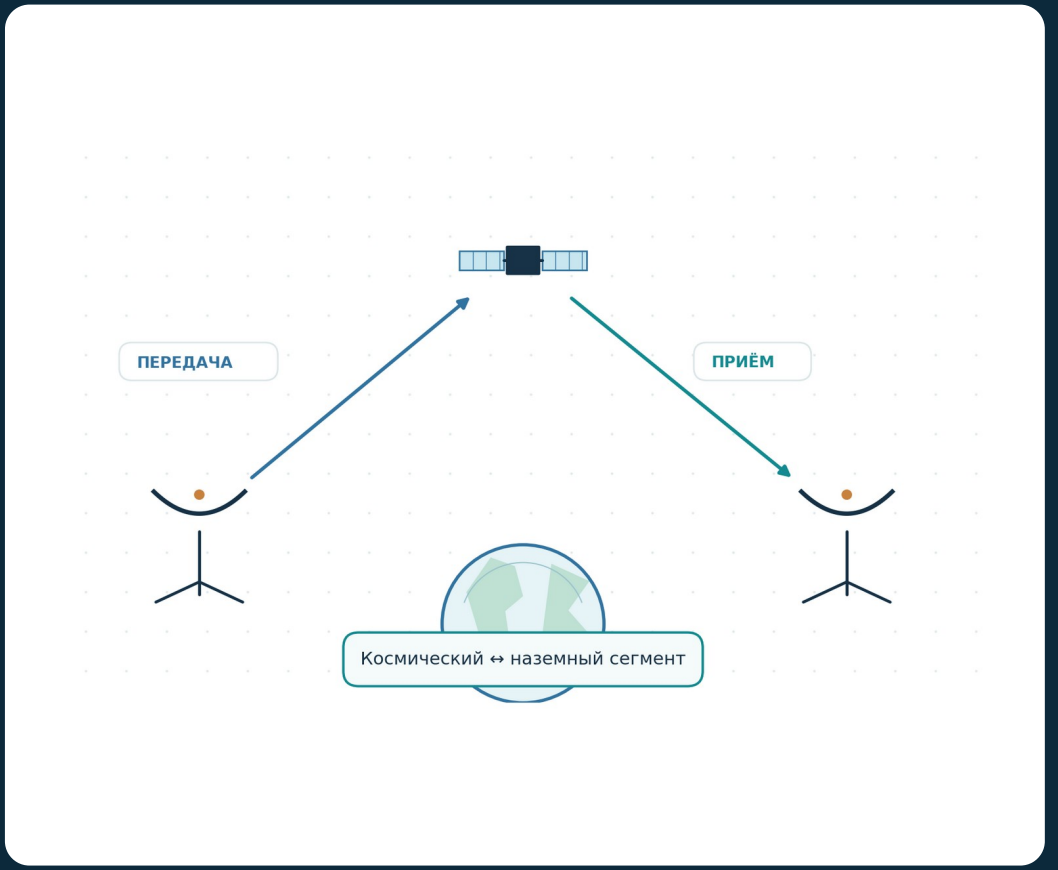
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 01

Введение в спутниковую технику и системы связи

Космический и наземный сегменты, основные задачи и принципы взаимодействия



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Сформировать целостное представление о спутниковой системе как совокупности космической платформы, полезной нагрузки, радиолиний, наземных станций и сервисов.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Различать космический, наземный и пользовательский сегменты. Объяснять назначение uplink, downlink и командно-телеметрического канала. Формулировать основные ограничения спутниковой связи.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Что образует спутниковую систему**
2. **Направления передачи и типы данных**
3. **Почему спутники дополняют наземные сети**
4. **Бортовая архитектура**
5. **Ключевые параметры проекта**
6. **Сценарий одной сессии**

Что образует спутниковую систему

РАЗДЕЛ 1 / 6

Спутниковая система не сводится к одному аппарату на орбите. В её состав входят космический сегмент, управляющая наземная инфраструктура, пользовательские терминалы и сеть доставки данных. На борту размещаются служебные подсистемы и целевая полезная нагрузка. Наземная станция принимает телеметрию, передаёт команды, получает целевые данные и синхронизирует операции. Для успешной связи должны одновременно выполняться условия радиовидимости, допустимых потерь, правильной ориентации антенн и совместимости протоколов.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Что образует спутниковую систему

КА

Полезная нагрузка

01

Направления передачи и типы данных

РАЗДЕЛ 2 / 6

Восходящая радиолиния (uplink) связывает Землю со спутником; нисходящая (downlink) передаёт информацию от спутника к Земле. Команды управления обычно занимают сравнительно небольшой поток, но требуют высокой достоверности. Телеметрия содержит сведения о состоянии бортовых систем, а целевые данные могут создавать значительную нагрузку на радиоканал. В ретрансляционных системах спутник может переносить сигнал между терминалами; в научных миссиях он чаще передаёт результаты измерений на наземную станцию.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Направления передачи

типы данных

Полезная нагрузка

02

Почему спутники дополняют наземные сети

РАЗДЕЛ 3 / 6

Космическая связь обеспечивает широкое географическое покрытие там, где строительство наземной инфраструктуры затруднено: в океане, труднодоступных районах или при чрезвычайных ситуациях. В то же время спутниковый канал ограничен доступной мощностью, частотным ресурсом, геометрией орбиты и задержкой. Геостационарные системы удобны для постоянного покрытия, а низкоорбитальные группировки уменьшают дальность линии, но требуют сопровождения движущихся аппаратов и частого переключения соединений.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Uplink

Downlink

TT&C

03

Бортовая архитектура

РАЗДЕЛ 4 / 6

Платформа обеспечивает питание, терморегулирование, ориентацию, бортовое управление и радиосвязь. Полезная нагрузка определяет миссию: ретранслятор, камера, датчик или научный прибор. Разделение этих функций важно при проектировании интерфейсов, планировании энергопотребления и оценке отказоустойчивости.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Бортовая архитектура

Downlink

TT&C

04

Ключевые параметры проекта

РАЗДЕЛ 5 / 6

Для первичного описания системы задают высоту и тип орбиты, частоту, скорость передачи, доступную мощность, размеры антенн, требуемую доступность связи и объём данных за сутки. Эти параметры взаимосвязаны: повышение скорости обычно требует большего отношения сигнал/шум, а увеличение дальности повышает потери свободного пространства.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Ключевые параметры проекта

TT&C

Наземная станция

05

Сценарий одной сессии

РАЗДЕЛ 6 / 6

Наземный комплекс рассчитывает прогноз пролёта, разворачивает антенну по азимуту и углу места, устанавливает приём и начинает сеанс. После идентификации аппарата операторы принимают телеметрию, передают разрешённые команды и скачивают данные миссии. В конце контакта проверяют целостность пакетов и журналируют результаты.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Сценарий одной сессии

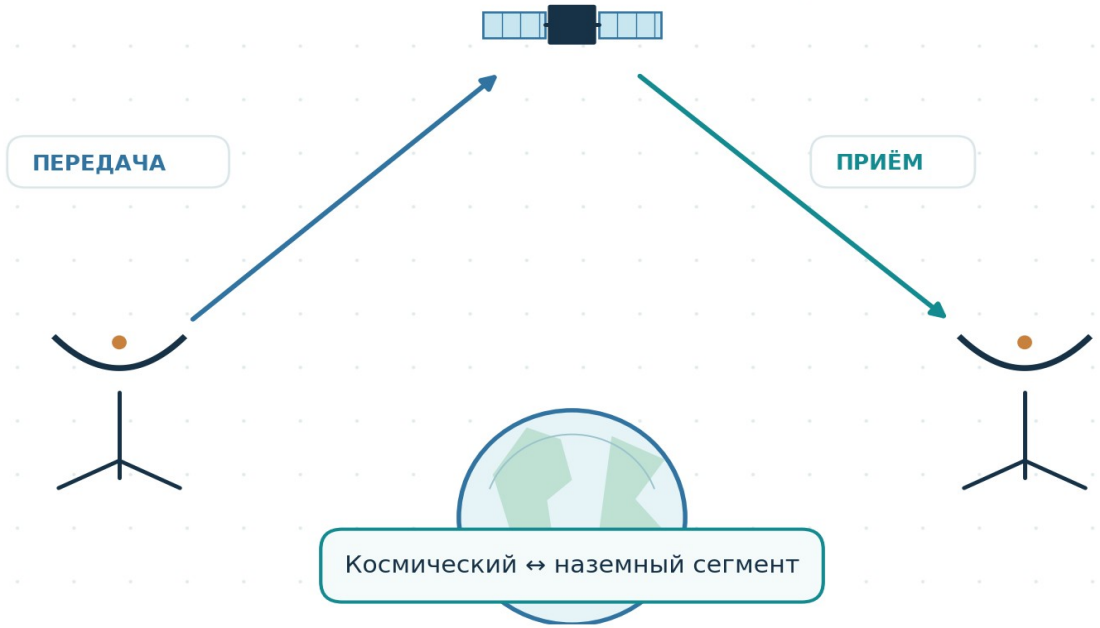
Наземная станция

Радиовидимость

06

Техническая иллюстрация

Введение в спутниковую технику и системы связи



Обратите внимание

Космический и наземный сегменты, основные задачи и принципы взаимодействия

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

T_связи = доля времени, когда спутник виден станции и выполняются требования радиолинии.

Обратите внимание

Платформа обеспечивает питание, терморегулирование, ориентацию, бортовое управление и радиосвязь.

Сеансы связи для низкой орбиты

Инженерный пример

Пусть аппарат наблюдается над одной станцией 4 раза в сутки по 9 минут. Валовая длительность контактов составляет 4 × 9 = 36 минут. При полезной скорости 0,5 Мбит/с теоретический максимум — 0,5 × 36 × 60 / 8 = 135 Мбайт в сутки. Из результата необходимо вычесть служебный трафик, потери пакетов, время захвата и командные процедуры.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Инженерная модель начинается с карты потоков. Отдельно нанесите поток команд, телеметрию состояния и поток целевых измерений. Для каждого потока запишите источник, получателя, скорость, допустимую задержку, критерий потери и способ восстановления. На той же схеме отметьте интервалы отсутствия связи. Такой подход сразу выявляет разницу между непрерывным мониторингом и пакетной выгрузкой: спутник может накапливать данные в течение десятков минут, но физически передавать их лишь в короткие окна. При оценке стоимости не забывайте наземный сегмент, программное обеспечение эксплуатации, согласование частот и обучение операторов.

Алгоритм инженерной проверки

Последовательность действий



1. Определите исходные параметры и единицы.
2. Отделите измеренные значения от допущений и ориентировочных данных.
3. Проверьте расчёт и его применимость.
4. Оцените порядок величины, допущения и способ независимой проверки.

Последовательность проверки помогает связать расчёт, измерение и требования проекта.

Проектные ограничения

Что следует учитывать при реализации

При выборе спутникового решения сравнивайте не только дальность связи, но и требуемую суточную доставку данных, допустимую задержку, стоимость станции, географию пользователей и регуляторные ограничения. Система с хорошим радиобюджетом может оказаться непригодной, если необходимое время контакта недоступно.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Составьте функциональную схему спутниковой системы мониторинга окружающей среды: назовите полезную нагрузку, входные и выходные данные и пять ключевых параметров радиоканала.

Термины для повторения

КА • Полезная нагрузка • Uplink • Downlink • TT&C • Наземная станция • Радиовидимость • Доступность

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Из каких сегментов состоит спутниковая система?

02 Чем uplink отличается от downlink?

03 Зачем разделяют телеметрию и целевые данные?

04 Какие ограничения накладывает низкая орбита?

05 Почему пропускная способность не равна суточному объёму данных?

06 Какую роль играет наземный комплекс?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Спутниковая система не сводится к одному аппарату на орбите.
2. Восходящая радиолиния (uplink) связывает Землю со спутником; нисходящая (downlink) передаёт информацию от спутника к Земле.
3. Космическая связь обеспечивает широкое географическое покрытие там, где строительство наземной инфраструктуры затруднено: в океане, труднодоступных районах или при чрезвычайных ситуациях.

Литература и открытые источники

Для дальнейшего изучения

01 ESA. Types of orbits

02 NASA. CubeSat Launch Initiative Resources

Мейрамбекұлы Нұрсұлтан