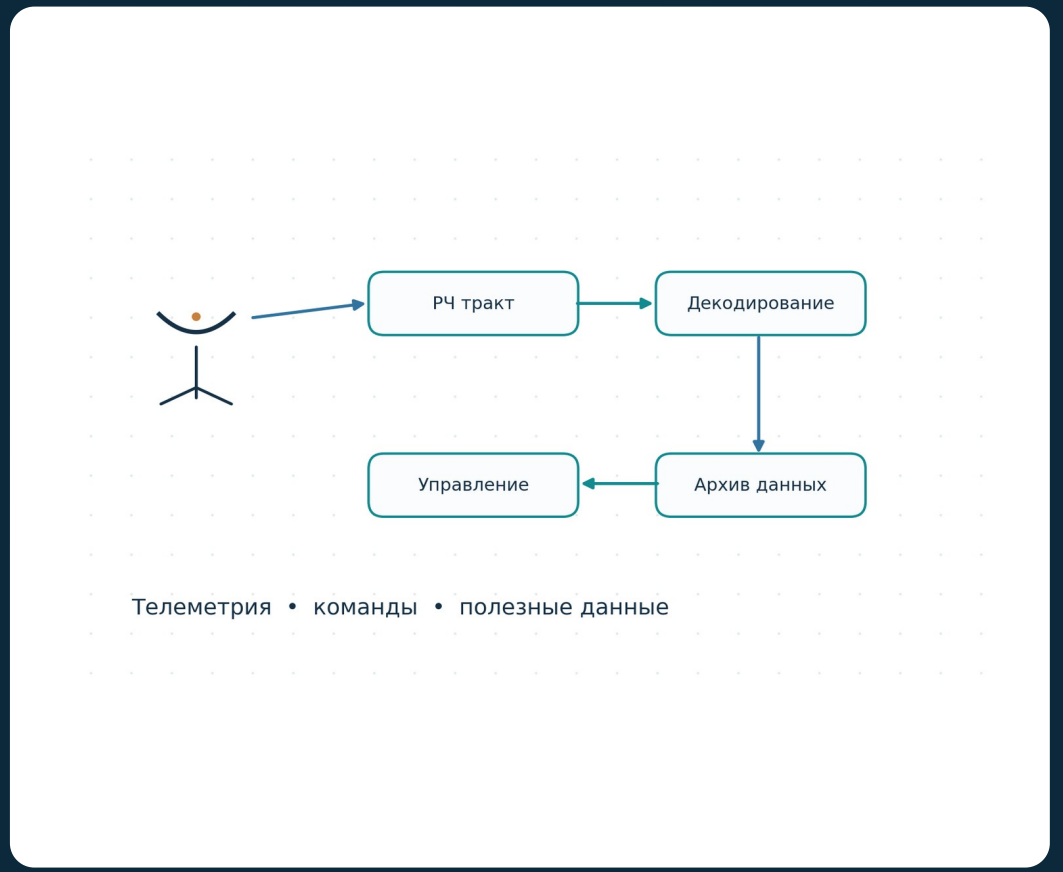
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 09

Наземный сегмент, телеметрия и управление

Архитектура станции, протоколы обмена, планирование и безопасность



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Разобрать полный цикл наземной радиосессии от расчёта пролёта до подтверждения получения данных.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Перечислять узлы наземной станции. Отделять команды от телеметрии и целевых данных. Объяснять роль расписаний, журналов и защиты канала.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Структура станции**
2. **Телеметрия и команды**
3. **Передача целевых данных**
4. **Сопровождение**
5. **Контроль операций**
6. **Кибербезопасность и права доступа**

Структура станции

РАЗДЕЛ 1 / 6

Наземный комплекс содержит антенну, поворотную систему, малошумящий усилитель, фильтры, преобразователи частот, программно-определяемое радио или модем, сервер обработки и программное обеспечение управления. Приёмный тракт минимизирует потери до первого усилителя, потому что они напрямую ухудшают шумовую температуру. Для двусторонней работы необходимо переключение или разделение трактов передачи и приёма.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Структура станции

LNA

SDR

01

Телеметрия и команды

РАЗДЕЛ 2 / 6

Телеметрические пакеты сообщают напряжения, температуры, состояние аккумулятора, режимы ориентации и ошибки. Команды должны быть аутентифицированы, проверены на допустимость и выполнены в правильной последовательности. Оператор не должен произвольно передавать команды, меняющие критический режим аппарата, без предварительных процедур. Контрольные суммы помогают обнаруживать ошибки передачи, но сами по себе не заменяют криптографическую защиту от подделки.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Телеметрия

команды

SDR

02

Передача целевых данных

РАЗДЕЛ 3 / 6

Данные приборов сохраняются в бортовой памяти и передаются по расписанию доступных контактов. Их разбивают на кадры или пакеты, маркируют идентификаторами и контролируют целостность. Необходима стратегия восстановления пропущенных фрагментов: повторная передача, избыточное кодирование или повторная загрузка на следующем пролёте. Способы обмена определяются архитектурой миссии и выбранными протоколами, в том числе рекомендациями CCSDS.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Передача целевых данных

CCSDS

TT&C

03

Сопровождение

РАЗДЕЛ 4 / 6

Планировщик получает эфемериды, рассчитывает ожидаемые окна и задаёт траекторию движения антенны. Точная привязка времени влияет на доплеровскую коррекцию и декодирование. Порог начала приёма может определяться углом места, достаточным уровнем сигнала или логикой доступа к сети станций.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Сопровождение

TT&C

TLE

04

Контроль операций

РАЗДЕЛ 5 / 6

Для каждого сеанса регистрируют частоту, геометрию, команды, подтверждения, потери пакетов и качество сигнала. Журналы дают основу для поиска неисправностей и оценки фактической производительности системы. Метрики включают число успешно декодированных пакетов, процент заполнения окон и задержку доставки.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Контроль операций

TLE

Логирование

05

Кибербезопасность и права доступа

РАЗДЕЛ 6 / 6

Спутниковая станция является критическим элементом дистанционного управления. Разделяют роли операторов и разработчиков, защищают ключи, обновления ПО и интерфейсы удалённого доступа, тестируют восстановление после отказов. Необходимы физическая безопасность и контроль электромагнитной совместимости.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Кибербезопасность

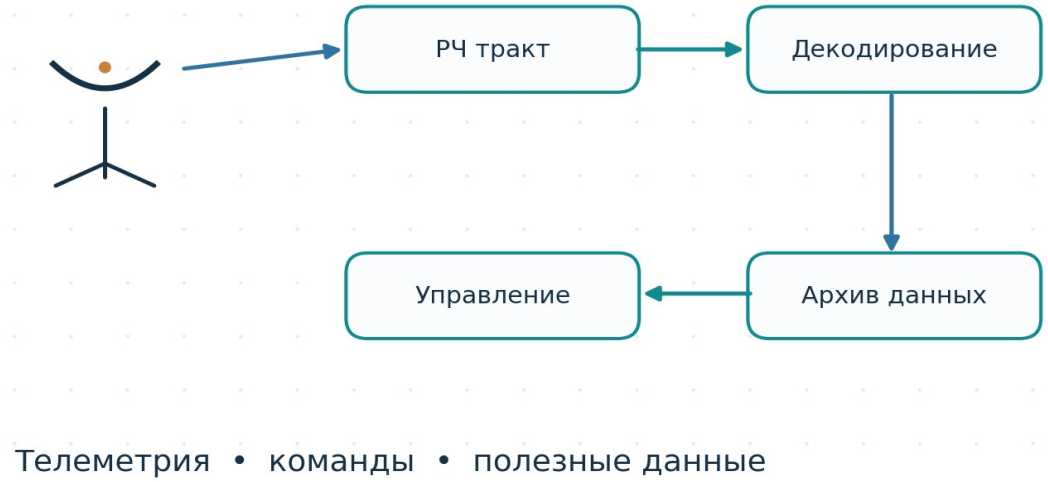
права доступа

Логирование

06

Техническая иллюстрация

Наземный сегмент, телеметрия и управление



Обратите внимание

Архитектура станции, протоколы обмена, планирование и безопасность

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$$V_{данных} \approx R_{полезная} \times T_{контакта} \times \eta_{сеанса}.$$

Обратите внимание

Планировщик получает эфемериды, рассчитывает ожидаемые окна и задаёт траекторию движения антенны.

Суточная доставка научных данных

Инженерный пример

Станция принимает по 8 минут в каждом из 5 сеансов. При полезной скорости 1 Мбит/с и коэффициенте использования окна 0,7 суточный объём равен 1 × 5 × 8 × 60 × 0,7 / 8 ≈ 210 Мбайт. Если прибор создаёт 300 Мбайт в сутки, объём в памяти будет расти; требуется больше станций, выше скорость или сокращение объёма данных.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Наземная станция — это одновременно радиотехническое оборудование, комплекс автоматизации и система управления рисками. Положение антенны определяется расписанием пролёта, а доплеровская коррекция — относительной скоростью. Приёмный тракт нуждается в контроле коэффициента усиления, шумов и перегрузки, а программное обеспечение — в версионировании конфигурации. Команды должны проходить проверку допустимости и регистрацию действий оператора. В больших проектах централизованный планировщик распределяет контакты между станциями и назначает приоритеты критических операций. При передаче файлов полезно измерять не только битовую скорость, но и подтверждённый объём данных на пролёт, долю повторных передач и временную задержку.

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

Наиболее качественная радиолиния не обеспечивает безопасного управления без дисциплины операций. Командно-телеметрический контур должен иметь подтверждения, журналирование, контроль полномочий и сценарии восстановления при потере связи.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Составьте регламент 10-минутного сеанса CubeSat: подготовка, захват, приём телеметрии, команды, передача данных и завершение.

Термины для повторения

LNA • SDR • CCSDS • TT&C • TLE • Логирование • Декодирование • Аутентификация

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Зачем LNA ставят близко к антенне?

02 Что содержится в телеметрии?

03 Почему нужны идентификаторы пакетов?

04 Для чего рассчитывают окно пролёта?

05 Как журнал помогает поиску неисправностей?

06 Какие меры защищают командный канал?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Наземный комплекс содержит антенну, поворотную систему, малошумящий усилитель, фильтры, преобразователи частот, программно-определяемое радио или модем, сервер обработки и программное обеспечение управления.

2. Телеметрические пакеты сообщают напряжения, температуры, состояние аккумулятора, режимы ориентации и ошибки.

3. Данные приборов сохраняются в бортовой памяти и передаются по расписанию доступных контактов.

Литература и открытые источники

Для дальнейшего изучения

01 ESA. Types of orbits

02 NASA. CubeSat Launch Initiative Resources

Мейрамбекұлы Нұрсұлтан