

ТЗ: LORett StratoLink — плата передатчика изображений

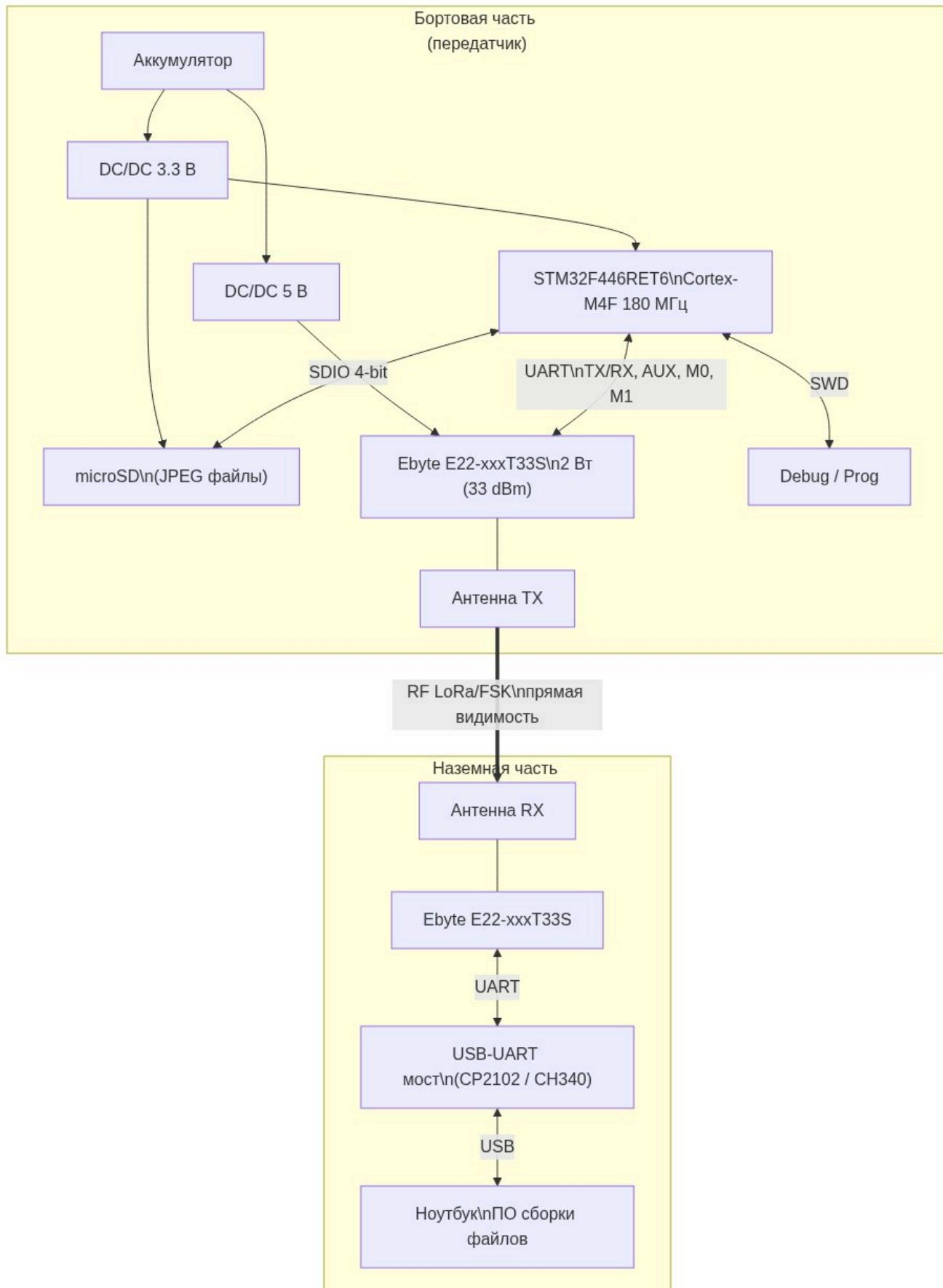
Проект	LORett StratoLink
Документ	Техническое задание на плату бортового передатчика
Ревизия	0.1 (драфт)
Дата	2026-02-26

1. Назначение

Бортовой передатчик для стратосферного зонда. Считывает заранее записанные изображения (JPEG) с microSD-карты и передаёт их по радиоканалу LoRa/FSK на наземную приёмную станцию. Наземная станция собирает файлы из пакетов и сохраняет на ноутбук.

2. Состав системы

2.1 Структурная схема



2.2 Перечень составных частей

#	Узел	Назначение
1	Плата передатчика (борт)	MCU + microSD + радиомодуль + питание
2	Плата приёмника (земля)	Радиомодуль + USB-UART мост
3	ПО наземной станции	Приём пакетов, сборка файлов, управление повторами

3. Требования к бортовому передатчику

3.1 Микроконтроллер

Параметр	Требование
Модель	STM32F446RET6 (LQFP-64)
Ядро	ARM Cortex-M4F, 180 МГц
Flash / SRAM	512 КБ / 128 КБ
Интерфейс к microSD	SDIO 4-bit
Интерфейс к радиомодулю	UART (TTL 3.3 В)
Отладка	SWD (4-pin: SWDIO, SWCLK, GND, 3.3 В)
Аппаратный CRC	CRC-32, используется для контрольных сумм пакетов и файлов
Питание	3.3 В ±5%

Дополнительно использовать:

- **DMA** для чтения microSD и передачи по UART — разгрузка CPU.
- **Аппаратный CRC** — вычисление CRC пакетов и файлов без нагрузки на ядро.
- Отдельные UART для: (1) радиомодуля, (2) отладочного вывода, (3) резерв под телеметрию.

3.2 Хранение данных

Параметр	Требование
Носитель	microSD (SDHC), подключение по SDIO 4-bit
Файловая система	FAT32
Формат изображений	JPEG
Целевой размер файла	50–200 КБ
Структура карты	Корневая папка с файлами <code>IMG_0001.jpg</code> ... <code>IMG_NNNN.jpg</code>
Манифест (опционально)	<code>manifest.txt</code> — список файлов с CRC32 для проверки целостности

3.3 Радиомодуль

Параметр	Требование
Серия	Ebyte E22-xxxT33S
Мощность передатчика	2 Вт (33 dBm)
Интерфейс	UART (TTL 3.3 В)
Управляющие линии	TX, RX, AUX, M0, M1
Питание модуля	5 В (отдельный DC/DC)
Режим работы	P2P (point-to-point), полудуплекс

Варианты модулей по диапазонам:

Модуль	Диапазон	Примечание
E22-170T33S	150–173 МГц	Требует правовой проработки (не любительский)
E22-400T33S	410–493 МГц	Покрывает любительский диапазон 430–440 МГц
E22-900T33S	850–930 МГц	ISM 868/915 МГц

Модули **не являются pin-to-pin совместимыми**. Плата проектируется под один конкретный модуль. При необходимости поддержки нескольких диапазонов — отдельные ревизии платы или сменный мезонин.

3.4 Питание

Параметр	Требование
Входное напряжение	от аккумулятора (1S LiPo 3.0–4.2 В или 2S 6.0–8.4 В — уточнить)
DC/DC 3.3 В	для MCU, microSD, логика; ток ≥ 500 мА
DC/DC 5 В	для радиомодуля; ток ≥ 1.5 А (пиковый при TX 2 Вт)
Развязка	раздельные DC/DC для цифровой части и RF
Фильтрация	керамические конденсаторы рядом с VCC радиомодуля (100 нФ + 10 мкФ + 100 мкФ)
Защита	от переполюсовки и просадки напряжения при TX

3.5 Разводка PCB

Параметр	Требование
Слои	≥ 2 (рекомендовано 4: TOP, GND, PWR, BOTTOM)
Антенный тракт	50 Ом, минимальная длина, согласование под рабочий диапазон
Антиенный разъём	SMA или U.FL (уточнить)
Земля	сплошной полигон GND, звёздная точка объединения силовой и цифровой земли
Тест-пойнты	UART TX/RX (отладка), SWD, VCC 3.3 В, VCC 5 В, GND
Размеры	уточняются по конструктиву зонда

4. Требования к наземному приёмнику

Параметр	Требование
Радиомодуль	Ebyte E22-xxxT33S (тот же диапазон, что и борт)
Мост к ноутбуку	USB-UART (CP2102 / CH340 / FTDI) или MCU с USB-CDC
Антенна	направленная (Yagi / коллинеарная) — для увеличения дальности
Питание	от USB ноутбука (5 В)

5. Протокол передачи данных

5.1 Общие принципы

- Файл передаётся как последовательность **чанков фиксированного размера**.
- Размер payload чанка: **128–240 байт** (настраивается, ограничен subpackage модуля Ebyte).
- CRC на каждый пакет + CRC32 на весь файл.
- Подтверждение приёма по окнам (ACK bitmap).
- Полудуплекс: борт передаёт → земля подтверждает → борт досыпает.

5.2 Типы сообщений

META — описание файла

Отправляется бортом перед началом передачи файла. Повторяется до получения ACK.

Поле	Тип	Описание
<code>sync</code>	u16	Маркер синхронизации: <code>0xA55A</code>
<code>ver</code>	u8	Версия протокола
<code>type</code>	u8	<code>0x01</code> = META
<code>image_id</code>	u32	Уникальный ID файла
<code>file_size</code>	u32	Размер файла, байт
<code>chunk_size</code>	u16	Размер payload чанка, байт
<code>total_chunks</code>	u32	Общее количество чанков
<code>file_crc32</code>	u32	CRC32 всего файла
<code>crc16</code>	u16	CRC16 пакета

DATA — чанк данных

Поле	Тип	Описание
<code>sync</code>	u16	<code>0xA55A</code>
<code>ver</code>	u8	Версия протокола
<code>type</code>	u8	<code>0x02</code> = DATA
<code>image_id</code>	u32	ID файла
<code>chunk_idx</code>	u32	Индекс чанка (от 0)
<code>payload_len</code>	u16	Длина данных в этом чанке (\leq <code>chunk_size</code>)
<code>payload</code>	u8[N]	Данные
<code>crc16</code>	u16	CRC16 пакета (заголовок + payload)

ACK — подтверждение окна

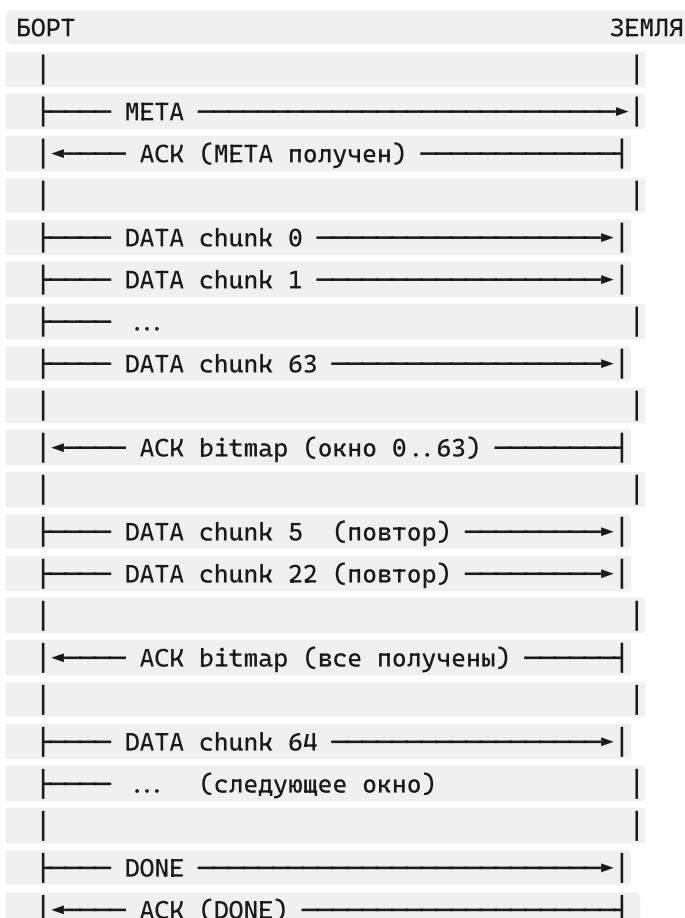
Отправляется землём после приёма окна чанков.

Поле	Тип	Описание
<code>sync</code>	u16	<code>0xA55A</code>
<code>ver</code>	u8	Версия протокола
<code>type</code>	u8	<code>0x10</code> = ACK
<code>image_id</code>	u32	ID файла
<code>window_start</code>	u32	Индекс первого чанка в окне
<code>bitmap</code>	u8[8]	64 бит: 1 = чанк получен, 0 = требуется повтор
<code>crc16</code>	u16	CRC16 пакета

DONE — завершение передачи файла

Поле	Тип	Описание
sync	u16	0xA55A
ver	u8	Версия протокола
type	u8	0x20 = DONE
image_id	u32	ID файла
status	u8	0x00 = успех, 0x01 = ошибка CRC
crc16	u16	CRC16 пакета

5.3 Алгоритм обмена



1. Борт отправляет **META** и ждёт ACK (повтор каждые 2 с, до 10 попыток).
2. Борт отправляет окно из **64 чанков** DATA.
3. Земля отвечает **ACK bitmap** — борт досыпает пропущенные чанки.
4. Цикл повторяется до завершения файла.
5. Борт отправляет **DONE**, земля проверяет CRC32 всего файла.
6. Переход к следующему файлу.

5.4 Таймауты и повторы

Параметр	Значение
Таймаут ожидания ACK	2 с
Макс. повторов META	10
Макс. повторов окна	5
Пауза между чанками	≥ 20 мс (время переключения TX→RX модуля)
Размер окна	64 чанка

6. Оценка производительности

6.1 Время передачи одного файла

Air rate модулей Ebyte E22: **2.4–62.5 кбит/с** (зависит от конфигурации SF/BW).

Размер JPEG	Air rate 62.5 кбит/с	Air rate 9.6 кбит/с	Air rate 2.4 кбит/с
50 КБ	~7 с	~42 с	~2.8 мин
100 КБ	~13 с	~84 с	~5.6 мин
200 КБ	~26 с	~2.8 мин	~11 мин

К указанным значениям добавить **+30–50%** на заголовки, ACK, повторы и паузы переключения.

6.2 Дальность

При 33 dBm (2 Вт), прямая видимость со стратосферы (20–35 км высота):

- **LoRa SF12/BW125** (2.4 кбит/с): чувствительность приёмника ~ -148 дБм, запас линк-бюджета достаточен.
- **LoRa SF7/BW500** (62.5 кбит/с): чувствительность ~ -123 дБм, на пределе при большом расстоянии.
- Рекомендуемый режим для баланса скорость/ дальность: **SF9–SF10, BW 125–250 кГц** (~4.7–9.6 кбит/с).

7. Требования к PCB передатчика

7.1 Питание

- Раздельные DC/DC для цифровой части (3.3 В) и радиомодуля (5 В).
- Керамические конденсаторы рядом с VCC радиомодуля: 100 нФ, 10 мкФ, 100 мкФ.

- Сплошной полигон GND; правильная разводка токов возврата RF.

7.2 Антенный тракт

- Линия 50 Ом от радиомодуля до антенного разъёма.
- Минимальная длина тракта.
- Согласующая цепь (Pi/T) под рабочий диапазон.

7.3 Интерфейсы на плате

Разъём / пады	Назначение
SWD (4-pin)	Прошивка и отладка MCU
UART debug (2-pin)	Отладочный вывод логов
microSD слот	Push-push или push-pull, стандартный
Антенна (SMA / U.FL)	Подключение внешней антенны
Питание (2-pin)	Вход от аккумулятора

7.4 Тест-пойнты

Вывести на плату: VCC 3.3 В, VCC 5 В, GND, UART TX/RX (радиомодуль), AUX.

8. Требования к ПО наземной станции

Параметр	Требование
Язык	Python 3 (рекомендуется)
Вход	COM-порт (USB-UART)
Функции	приём пакетов, проверка CRC16, сборка файла по chunk_idx, отправка ACK bitmap, проверка CRC32 файла
Выход	восстановленные JPEG-файлы в указанную папку
Логирование	запись всех принятых пакетов с временными метками
Отображение	прогресс-бар передачи, статистика потерь

9. Частотные ограничения (РФ)

Для радиолюбительского применения:

Диапазон	Частоты	Статус
2 м	144–146 МГц	Любительский, требует позывной
70 см	430–440 МГц	Любительский, требует позывной
~170 МГц	150–173 МГц	Не любительский, требует отдельного разрешения
868/915 МГц	ISM	Ограничения по мощности и скважности

Перед эксплуатацией необходимо проверить актуальные нормативные требования.

10. Открытые вопросы

Для перехода к разработке схемы и PCB необходимо зафиксировать:

#	Вопрос	Варианты
1	Рабочий диапазон	430–440 МГц (рекомендуется) / 868 МГц / 170 МГц
2	Конкретная модель модуля Ebyte	E22-400T33S / E22-900T33S / E22-170T33S
3	Входное напряжение / тип аккумулятора	1S LiPo / 2S LiPo / внешнее 5–12 В
4	Антенный разъём	SMA / U.FL / впаянная антенна
5	Размеры платы	Ограничения конструктива зонда
6	Air rate (компромисс скорость/ дальность)	SF9 BW125 (~4.7 кбит/с) / SF7 BW500 (~62.5 кбит/с)
7	Размер payload чанка	128 / 200 / 240 байт