

Повторная передача против FEC — два способа бороться с потерей

Повторная передача (RTX)	Спросить пакет заново	Точное восстановление; стоит 1 круговой обход — медленно на высокой задержке
Forward error correction	Отправить избыточность заранее	Без кругового обхода; стоит битрейта на КАЖДОМ пакете, есть потеря или нет

Три механизма FEC (RFC 8854)

Отдельный поток FEC	Свой RTP-поток	Высокие накладные расходы — НЕ рекомендуется для звука
Избыточное кодир. (RED)	Тот же пакет, RFC 2198	Низкие расходы; защита нескольких кадров — хорош для звука
In-band FEC кодека	Внутри нагрузки Opus	Минимальные расходы; защита только одного кадра

Opus in-band FEC против RED против DRED

Opus in-band FEC (LBRR)	Копирует ПРЕДЫДУЩИЙ кадр с низким битрейтом; защищает 1 изолированную потерю; рушится на 2 подряд.
RED (RFC 2198)	Оборачивает целые пакеты; «дистанция 2» переживает пачку из 2; примерно удваивает аудиобитрейт.
DRED (черновик)	Нейроизбыточность: до ~1 с звука при ~1/50 битрейта; намечающееся решение для длинных пачек.

Важные числа

Opus FEC включается только выше ~1% потери; стерео-Opus нужно ~58 kbps, прежде чем он произведёт LBRR (Mozilla, 2016).
Коррекция Opus FEC ограничена 25%, а её битрейт вычитается из целевого — поднимите битрейт, чтобы было место.
RED примерно удваивает звук: ~30 → ~60 kbps + ~10 kbps заголовок (дистанция 1); дистанция 2 ещё выше.
При 60% потери: без RED скрыто 60% сэмплов; дистанция 1 — 32%; дистанция 2 — 18% (webrtcHacks, 2020).

Согласование и настройка

Opus FEC: приёмник сигнализирует «useinbandfec=1» (RFC 7587); отправитель включает FEC и задаёт ожидаемую потерю.
RED: согласуйте кодек «red» (a=rtpmap:111 red/48000/2) и поставьте его ПЕРЕД Opus в списке кодеков.
Используйте VAD + DTX, чтобы избыточность шла только во время речи, не тишины — держит удвоенный битрейт в узде.
Держите АДАПТИВНО: отправляйте только столько FEC, сколько оправдывает измеренная потеря (отчёты RTCP).

Запомнить

- ☐ FEC отправляет избыточность заранее, восстанавливая потерю без кругового обхода — в отличие от RTX.
- ☐ FEC стоит битрейта на каждом пакете: помогает на «плохих» каналах и тратит полосу на чистых.
- ☐ Opus in-band FEC защищает лишь один предыдущий кадр; RED дистанция 2 переживает пачку из 2 пакетов.
- ☐ При потере от перегрузки добавление FEC шлёт больше данных в полную трубу и ухудшает потерю.
- ☐ Подберите инструмент под паттерн: случайная = Opus FEC; пачечная = RED дистанция 2 (или DRED).