

RL-FEC: избыточное кодирование при помощи RL

Буянтуев Александр / студент 4 курса НИУ ВШЭ

01.

Использование и принцип работы RL-FEC

RTC и проблемы существующих алгоритмов FEC

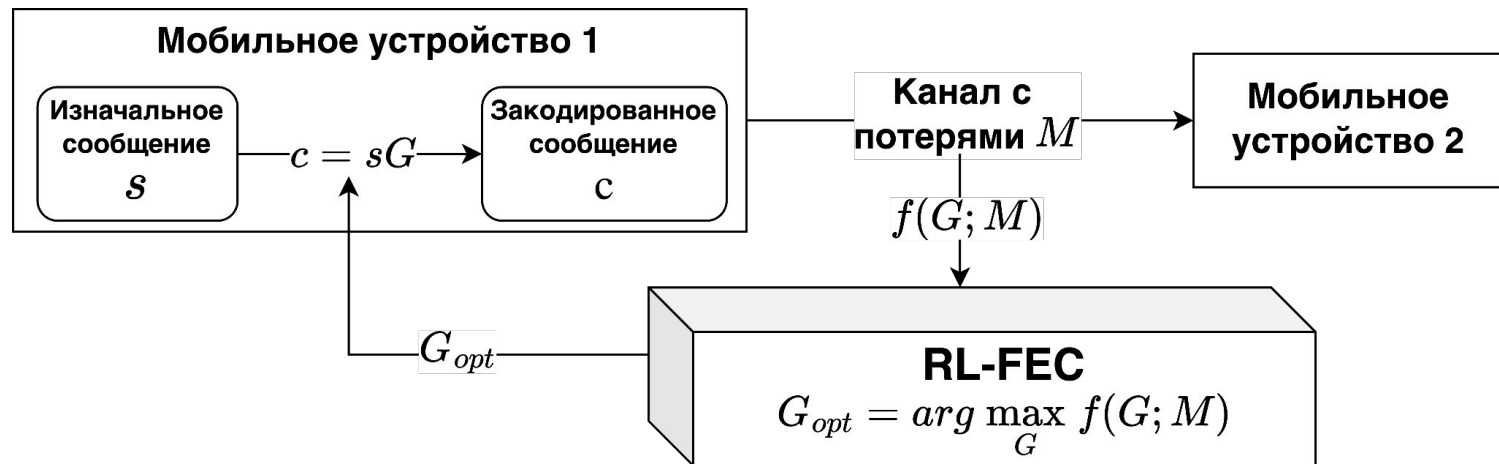
- В RTC кодирование и декодирование выполняется на мобильных устройствах, поэтому должно быть энергоэффективным.
 - Нетривиальные MDS-коды (например, коды Рида-Соломона) позволяют лучше всего защищаться от потерь данных, однако для этого они используют операции в $GF(256)$. Также они создают большую нагрузку на сеть, так как для кодирования нужны все изначальные данные.
- В протоколах транспортного уровня с поддержкой RTC используются алгоритмы избыточного кодирования над полем $GF(2)$. Они позволяют распределить нагрузку на сеть и снизить потребление энергии.

Проблема

Выбор оптимального алгоритма кодирования под заданные условия и ограничения

Принцип работы RL-FEC

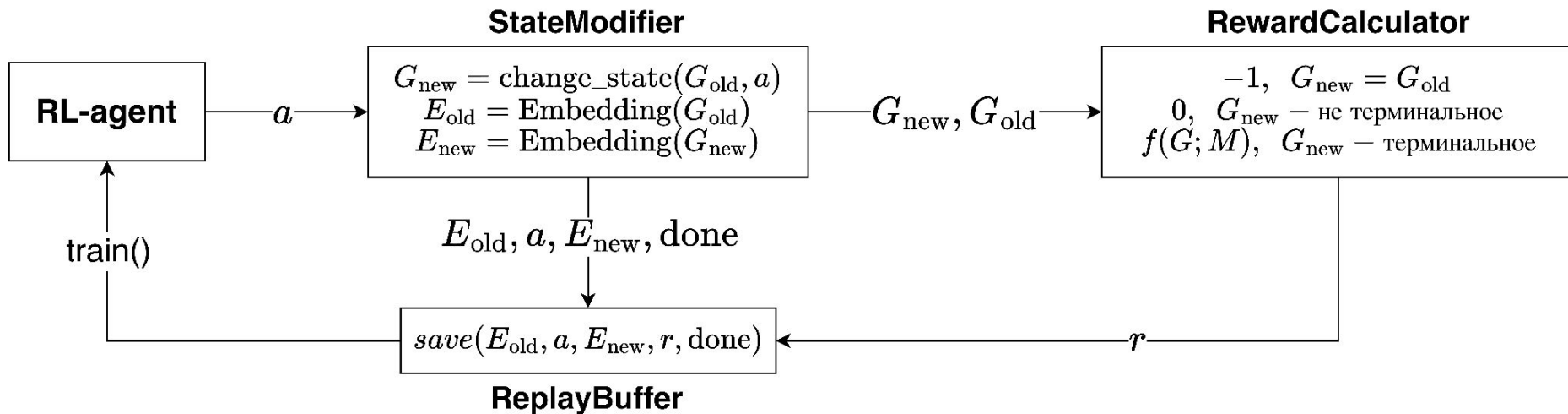
- Позволяет анализировать различные каналы с потерями.
- Оптимизация метода кодирования в зависимости от заданных параметров.
- Мотивацией для создания RL-FEC послужили работы, показавшие эффективность RL для других задач дискретной оптимизации.^{1,2}



1. Darvariu Victor-Alexandru et. al. Goal-directed graph construction using reinforcement learning.
2. Fawzi Alhussein et. al. Discovering faster matrix multiplication algorithms with reinforcement learning.

Архитектура RL-FEC

- Позволяет использовать различные RL-алгоритмы. Baseline — DDQN.
- Разные эмбединги для порождающих матриц. Baseline — GenMatrixToActionSet. [In Progress](#) — [structure2vec](#).
- RewardCalculator настраивается под конкретную задачу оптимизации.
- Модульная архитектура. Поддержка стандартных RL-библиотек — StableBaselines3, gymnasium, Tensorflow.



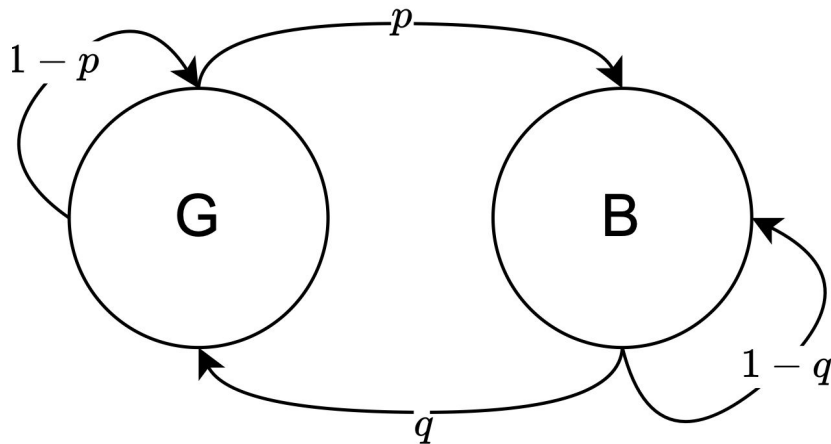
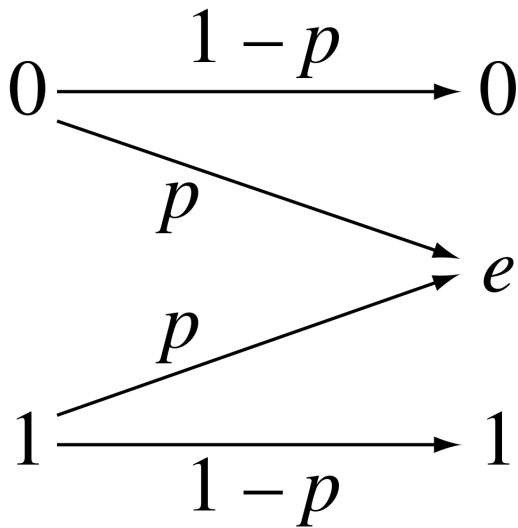
02.

Тестирование RL-FEC

Модели для тестирования

Binary Erasure Channel (BEC) — каждый пакет теряется с какой-то вероятностью p .

Модель Гильберта — 2 состояния канала (хорошее — пакет доставлен, плохое — потерян).



Метрика для тестирования

Success rate (SR) — оценка вероятности успешной передачи сообщения через канал с потерями.

- Коды Рида-Соломона — самые эффективные относительно метрики SR.

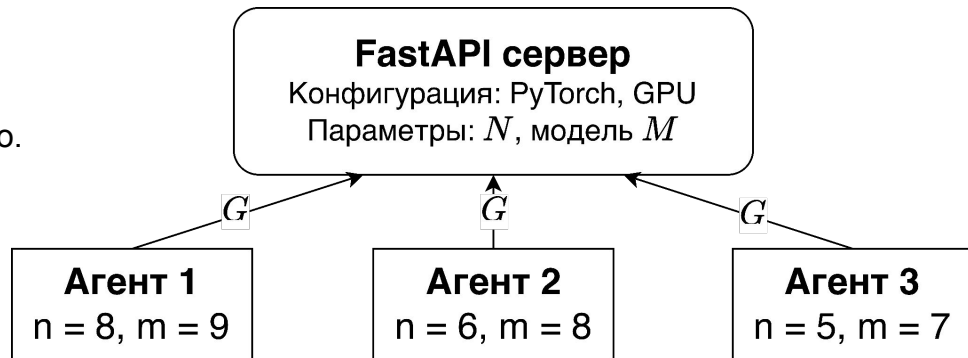
Задача RL-FEC — приблизиться к ним, при этом используя только операции в $GF(2)$.

- LDPC-коды и FlexFEC — используют только операции в $GF(2)$.

Задача RL-FEC — получить способы кодирования, превосходящие по метрике SR лучших представителей данных методов.

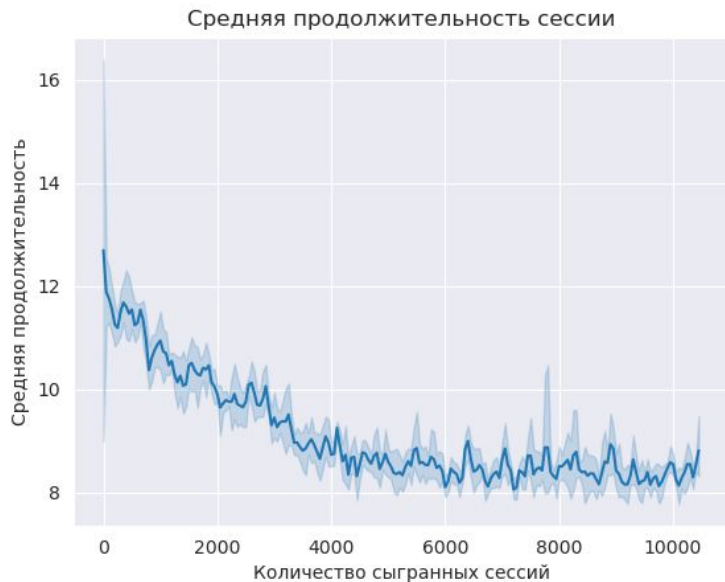
Алгоритм для расчета SR — отдельный настраиваемый компонент RL-FEC.

- Тестирование нескольких агентов одновременно.
- Различные параметры экспериментов
- Высокая скорость обработки запросов с сохранением необходимой точности.
Примерно 1 сек., точность $10^{(-6)}$.



Процесс обучения RL-FEC

Пример обучения RL-FEC на параметрах $n=5$, $m=14$, $\text{FEC}(p=0.4)$, доверительный интервал $\alpha=0.05$

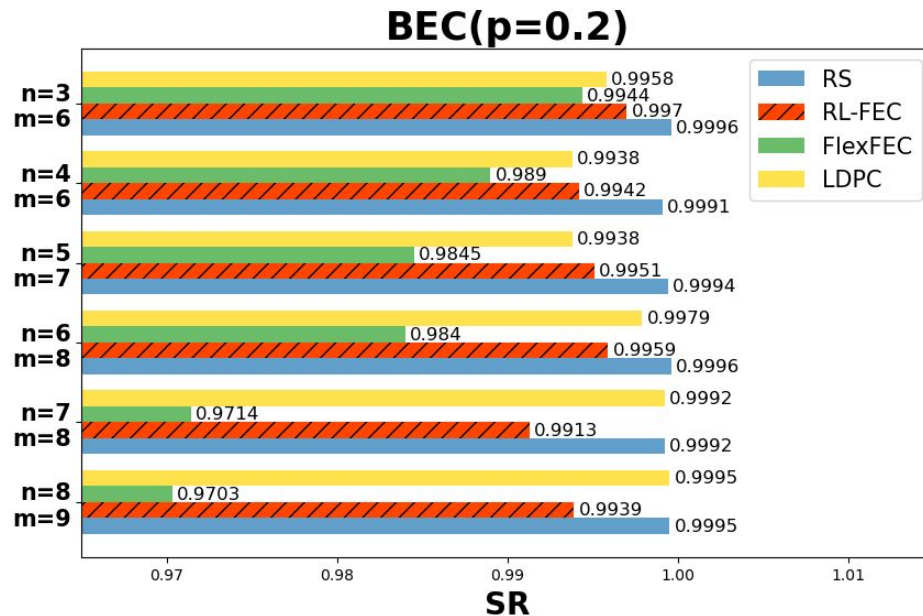


03.

Результаты тестирования

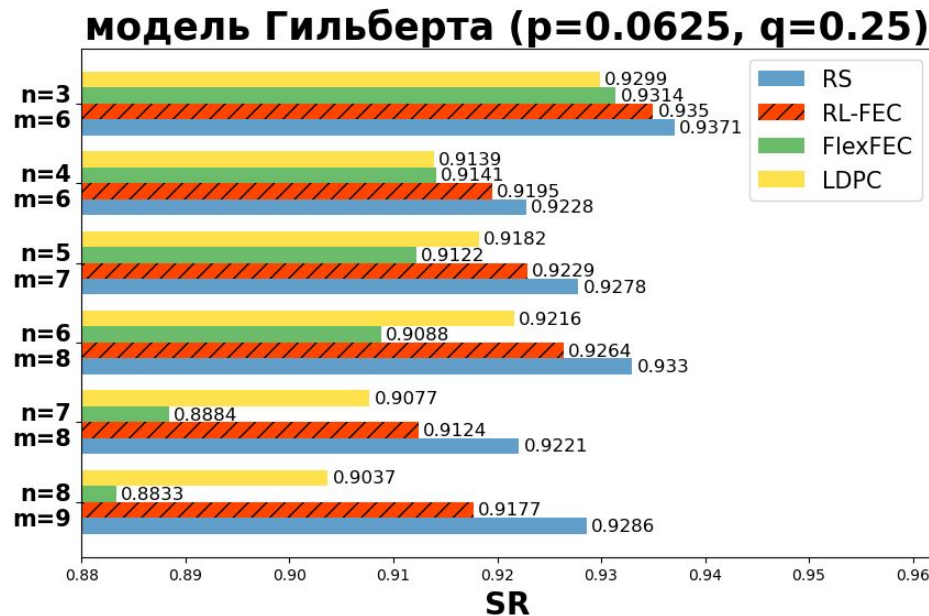
Результаты (BEC)

- Есть превышение в сравнении с FlexFEC
- Есть эксперименты, где LDPC-коды показали чуть более эффективные результаты
- Разница с кодами Рида-Соломона менее 1%
- Агент имеет тенденцию недообучаться на больших n и m



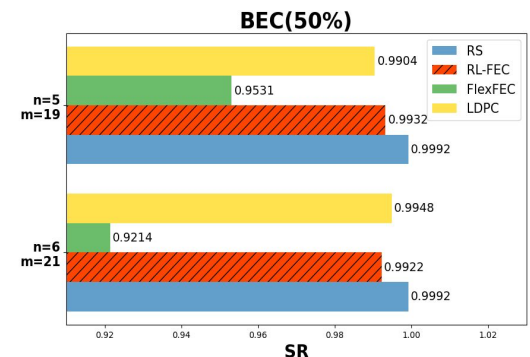
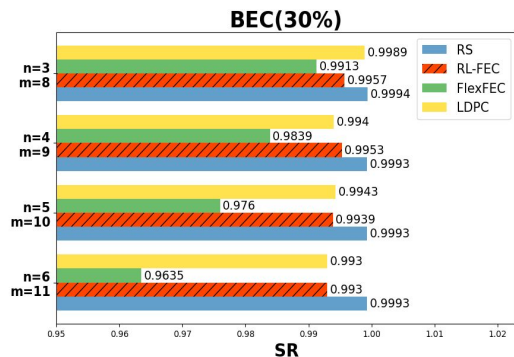
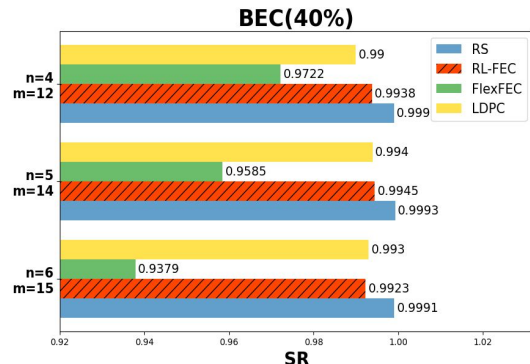
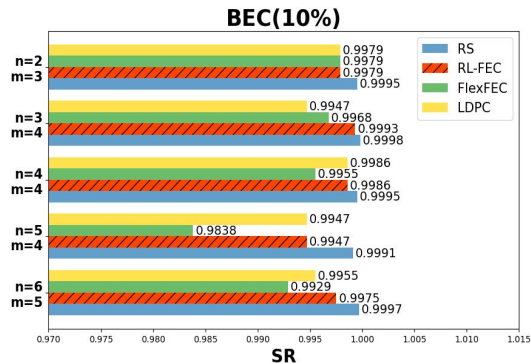
Результаты (модель Гильберта)

- Есть превышение в сравнении с FlexFEC и LDPC-кодами
- Разница с кодами Рида-Соломона менее 1%
- RL-FEC подстроился под модель потерь



RL-FEC — очень гибкий инструмент для работы с избыточным кодированием.

Дополнительные графики (BEC)



Дополнительные графики (модель Гильберта)

