

Магистерская диссертация

Разработка новых методов широкополосной передачи сигналов с модуляцией OFDM при большом уровне помех

Студент группы М01-904а Дорохин Семен
Научный руководитель: к.т.н. Иртюга В.А.

МФТИ (НИУ)

23 июня 2021 г.

Содержание

1 Введение

- Актуальность
- Цель и задачи

2 Синхронизация

- Грубая временная и частотная синхронизация
- Точная временная синхронизация
- Точная частотная синхронизация
- Оценка канальной характеристики
- Оценка отношения сигнал/шум

3 Результаты

4 Выводы

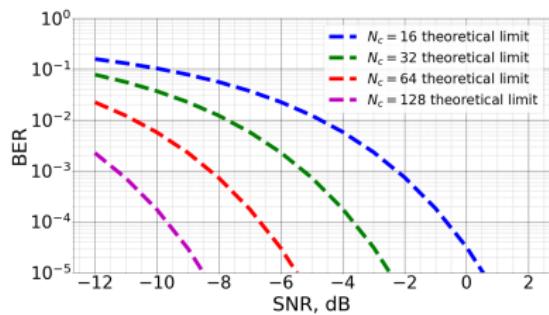
5 Приложение

О модуляции ISS-OFDM

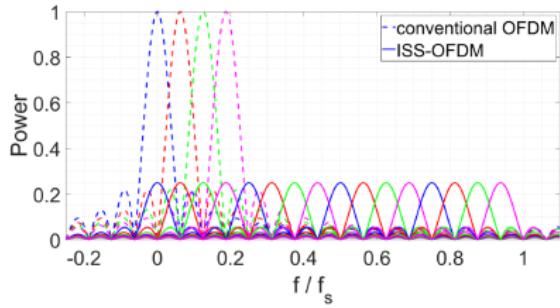
Interleaved Spread Spectrum OFDM, предложена в 2006 году.

- Классические методы расширения спектра (DSSS, FHSS) неустойчивы к замираниям в канале
- ISS-OFDM – система расширенного спектра, сохраняющая свойства OFDM
- ISS-OFDM можно рассматривать как новый метод расширения спектра, устойчивый к многолучевому распространению

Свойства ISS-OFDM



(a) Кривые BER-SNR



(b) Спектр OFDM и ISS-OFDM

Применения: тактическая связь, сети маломощных сенсоров, приём при низких SNR.

Постановка задачи

ISS-OFDM ранее изучалась в предположении идеальной синхронизации.

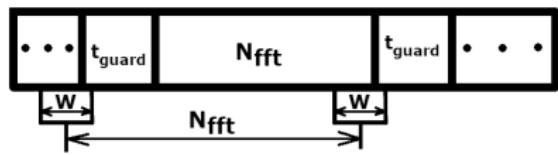
Не учитывалось Sampling Clock Offset $\zeta = f_s^{TX} - f_s^{RX}$ и Carrier Frequency Offset $\Delta f = f_c^{TX} - f_c^{RX}$.

Цель – решить проблему синхронизации сигналов ISS-OFDM. Задачи:

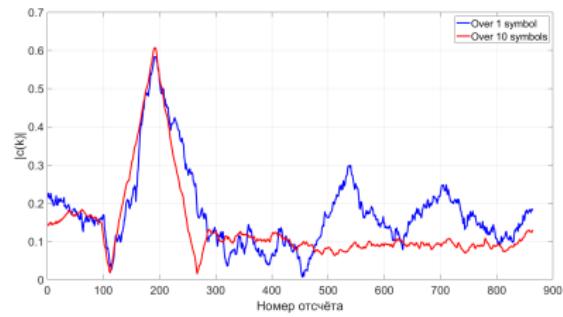
- Разработать алгоритм временной синхронизации
- Разработать алгоритм частотной синхронизации
- Исследовать влияние многолучевого распространения
- Разработать прототип системы связи с модуляцией ISS-OFDM

Методы исследования: теоретический анализ, мат. моделирование, экспериментальная проверка

Коррелятор и циклический префикс



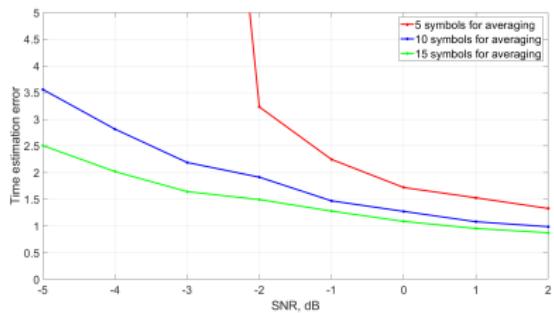
(a) Схема алгоритма



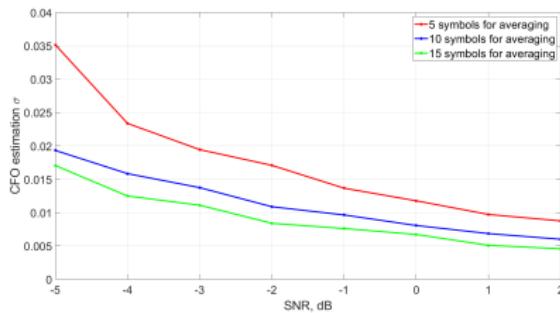
(b) Модуль корреляции

- Используется циклический префикс
- Метод корреляции для грубой временной и частотной синхронизации

Точность в гауссовом канале



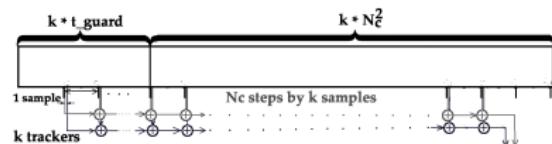
(a) Ошибка временной синхронизации



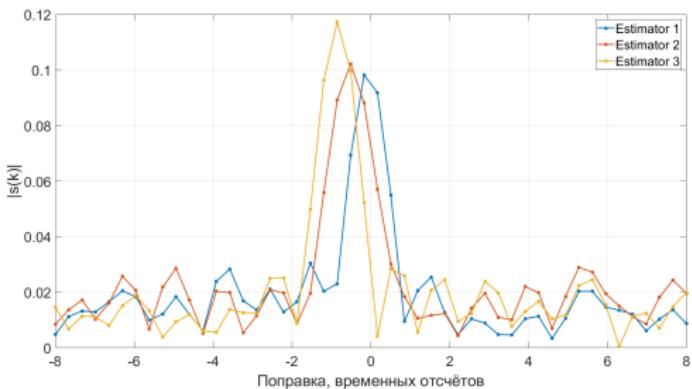
(b) Ошибка частотной синхронизации

- Усреднение по нескольким символам
- Ошибка временной синхронизации должна быть меньше $N_c/2$

Уточнение временной синхронизации



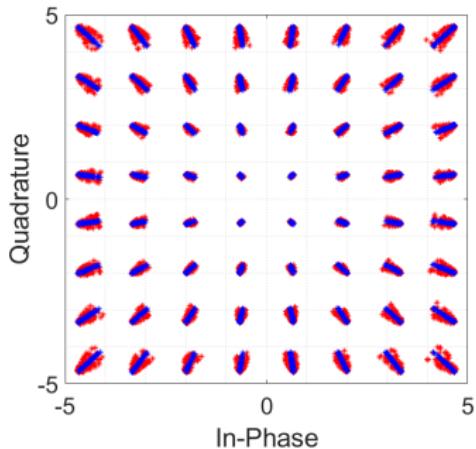
(a) Грубая синхронизация



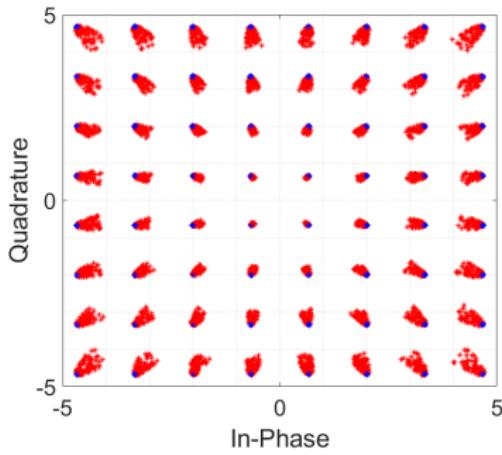
(b) Корреляция

- Циклический сдвиг индивидуален для каждой точки созвездия
- Необходима грубая временная синхронизация с точностью до одного временного отсчёта

Компенсация



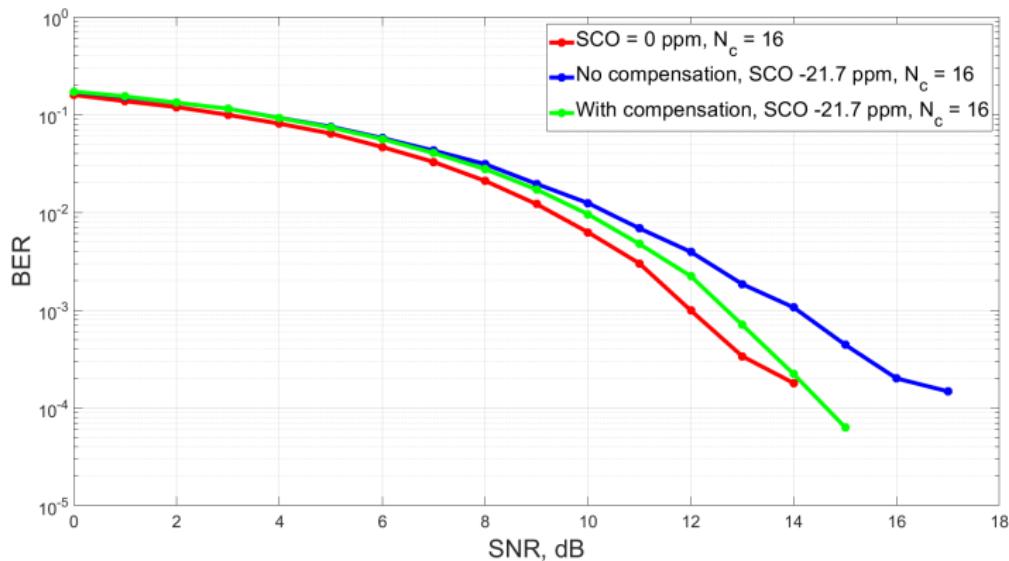
(a) Компенсация фазы



(b) Комп. амплитудных искажений

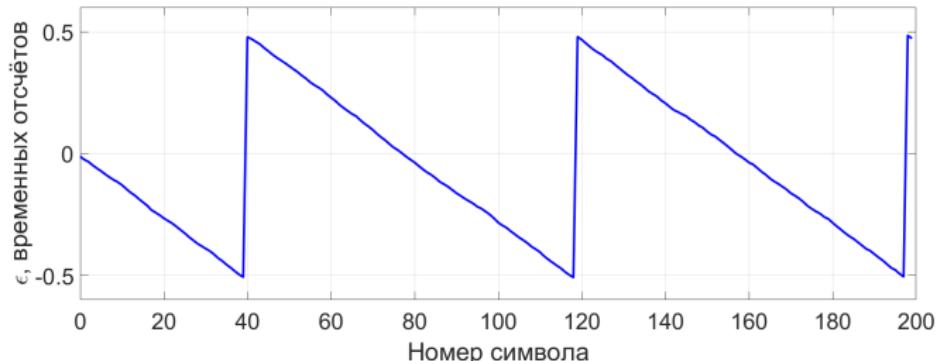
- При временном сдвиге ε : $\hat{a}_k = \text{sinc}(\pi\varepsilon)a_k e^{-2\pi j \frac{k\varepsilon}{N_c^2}} e^{\pi j \varepsilon} + ICI$
- Компенсация по оценке $\hat{\varepsilon}$: $a^{restored} = \hat{a}_k e^{2\pi j \frac{k\hat{\varepsilon}}{N_c^2}} \cdot \frac{1}{\text{sinc}(\pi\hat{\varepsilon})}$

Влияние SCO на кривые BER-SNR



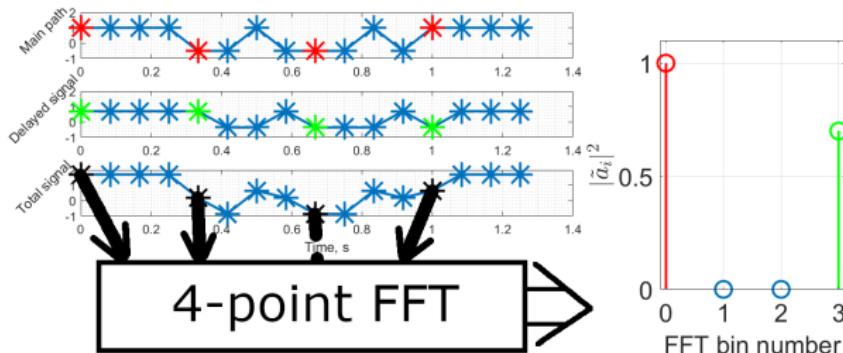
- Сложные созвездия более чувствительны
- При 64-QAM нужно больше символов для усреднения, чем при QPSK

Влияние CFO и SCO



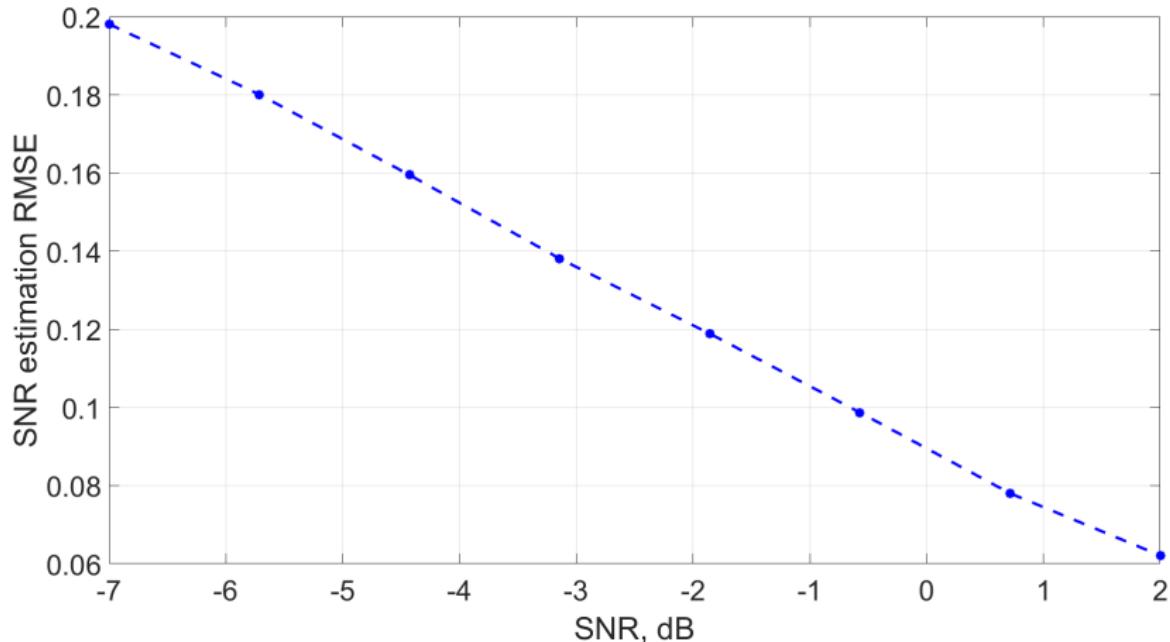
- OFDM: CFO даёт фазовый сдвиг, постоянный для всех несущих и символов
- ISS-OFDM: сдвиг от CFO растёт линейно с номером символа
- OFDM: разность фаз от SCO постоянна для всех символов
- ISS-OFDM: эта разность фаз линейно меняется между символами

Демодуляция методом параллельных БПФ



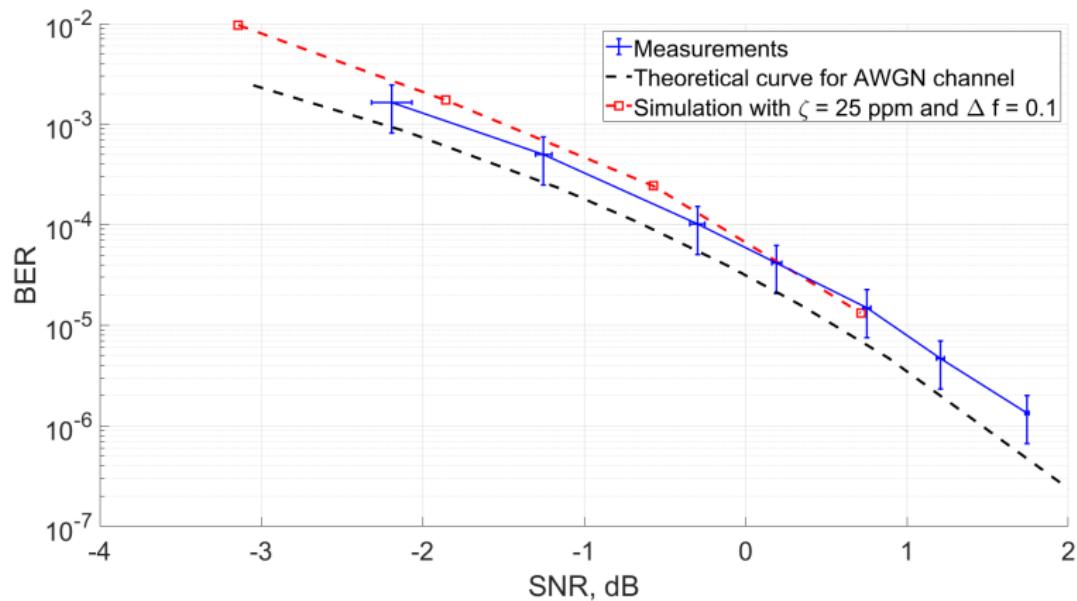
- Нельзя распознать лучи с задержкой более N_c временных отсчётов
- Задержки меньше временного отсчёта требуют интерполяции спектра
- Пример (EVA): $\tau = 30 - 2500 \text{ ns}$, $f_s = 100 \text{ MHz}$, задержка $3 - 250$ отсчётов
- Требуется дальнейшее исследование

Проблема оценки низких SNR



- SNR оценивается по искажениям пилотов
- Неточность синхронизации влияет на оценку SNR

Результаты экспериментов и моделирования

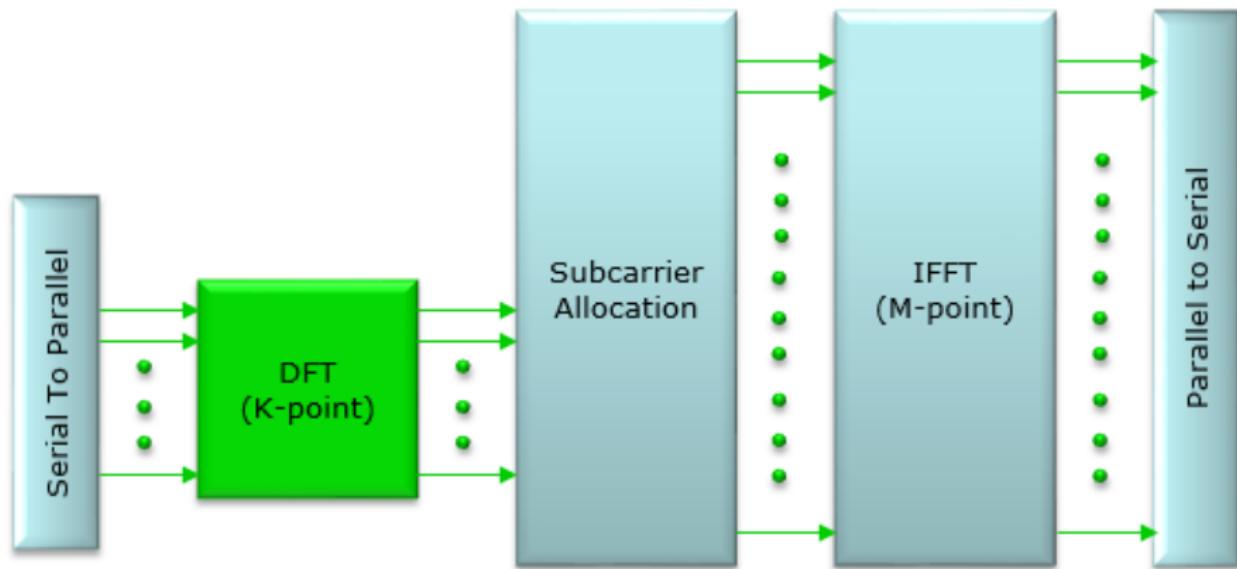


- Алгоритмы корректно работают на экспериментальных данных
- Результаты эксперимента совпадают с результатами моделирования в пределах погрешности

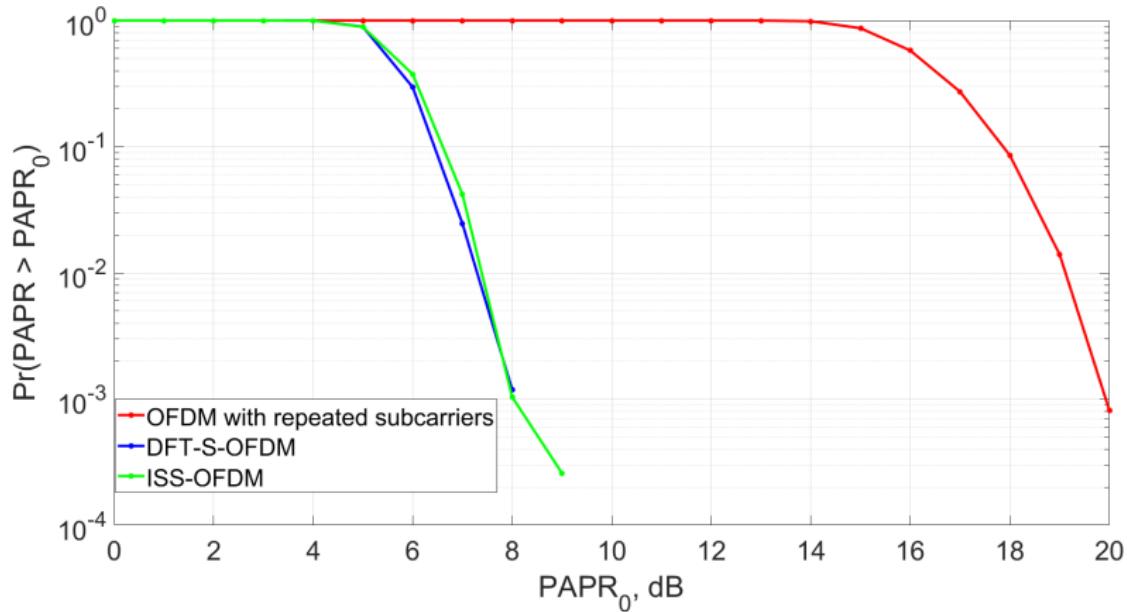
Достигнутые цели и дальнейшие исследования

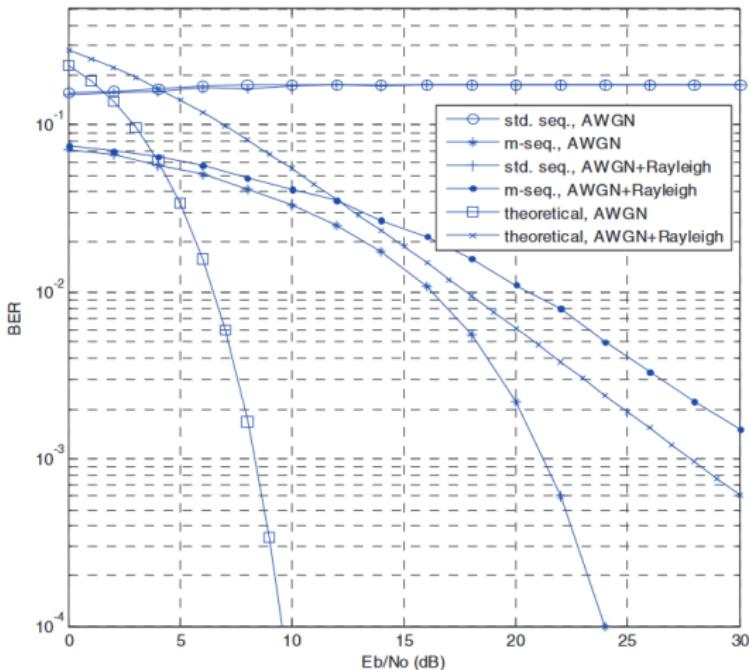
- Решена задача синхронизации
- Аналитически исследовано влияние SCO и CFO
- Предложены новые алгоритмы точной и грубой синхронизации
- Исследовано влияние многолучевого распространения
- Апробация результатов (конф. DCCN, En&T, DSPA)
- Потери синхронизации не превышают 0.5 dB на кривой BER-SNR
- Требуется дальнейшее исследование алгоритмов оценки канала
- Требуется более масштабная экспериментальная проверка

Схема DTF-S-OFDM (5G uplink)



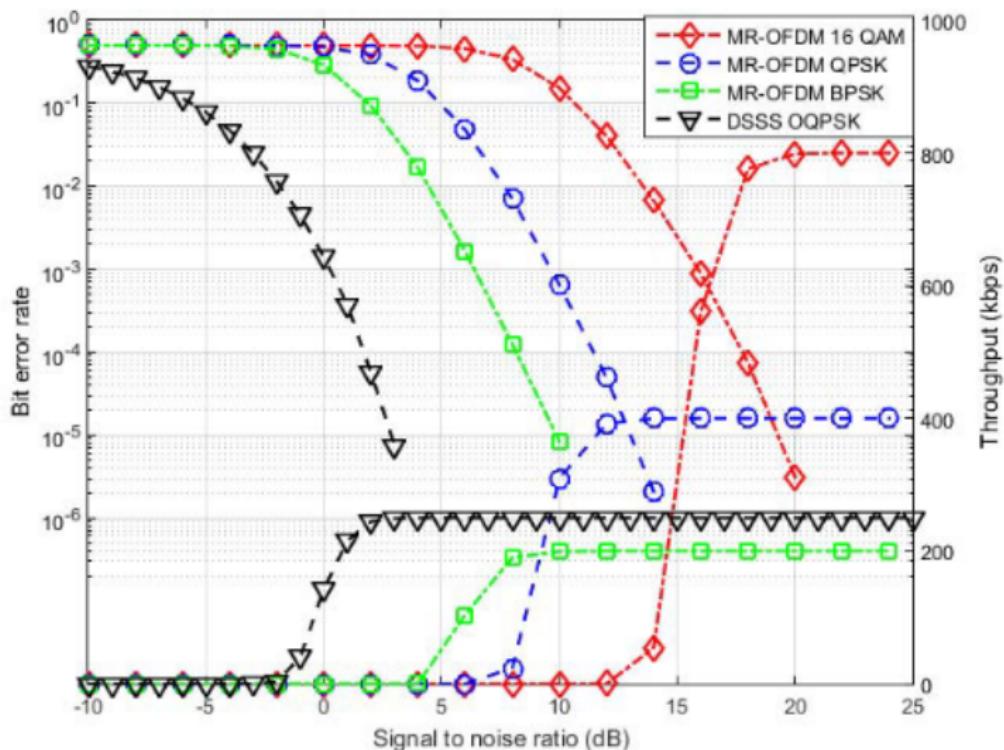
Вычислительная сложность $O(M \log(M))$ против $O(\sqrt{M} \log(\sqrt{M}))$ у ISS-OFDM





DS-SS IEEE 802.15.4 (2006 revision)

Из статьи S. Fang, S. Berber, A. Swain and S. U. Rehman, "A study on DS-SS transceivers using OQPSK modulation by IEEE 802.15.4 in AWGN and flat Rayleigh fading channels," 2010 IEEE Region 10 Conference, 2010



MR-OFDM IEEE 802.15.4g (2012 revision)

