

Магистерская диссертация

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

Студент группы M01-904а Дорохин Семен

Научный руководитель: к.т.н. Иртюга В.А.

МФТИ (НИУ)

23 июня 2021 г.

Содержание

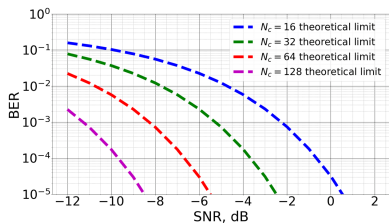
- 1 Введение
 - Актуальность
 - Цель и задачи
- 2 Синхронизация
 - Грубая временная и частотная синхронизация
 - Точная временная синхронизация
 - Точная частотная синхронизация
 - Оценка канальной характеристики
 - Оценка отношения сигнал/шум
- 3 Результаты
- 4 Выводы
- 5 Приложение

О модуляции ISS-OFDM

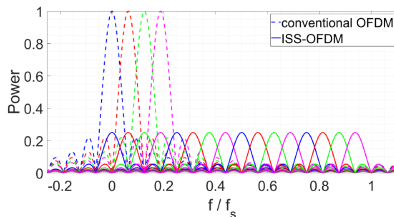
Interleaved Spread Spectrum OFDM, предложена в 2006 году.

- 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.

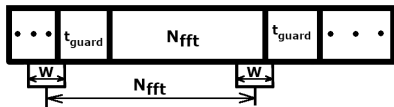
Не учитывалось Sampling Clock Offset $\zeta = f_s^{TX} - f_s^{RX}$ и Carrier Frequency Offset $\Delta f = f_c^{TX} - f_c^{RX}$.

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

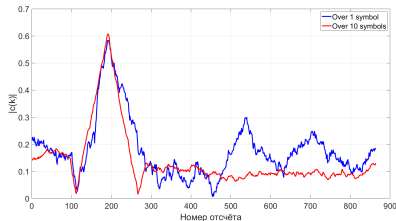
- Разработать алгоритм временной синхронизации
- Разработать алгоритм частотной синхронизации
- Исследовать влияние многолучевого распространения
- Разработать прототип системы связи с модуляцией ISS-OFDM

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

Коррелятор и циклический префикс



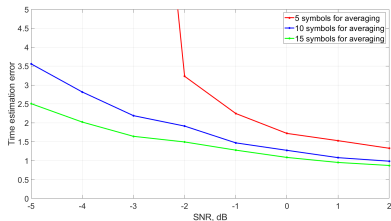
(a) Схема алгоритма



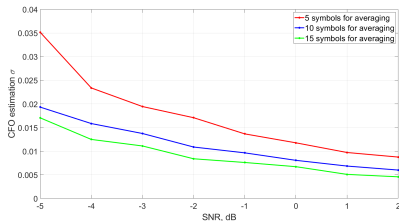
(b) Модуль корреляции

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

Точность в гауссовом канале



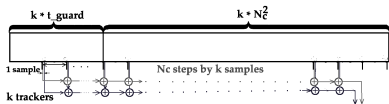
(a) Ошибка временной синхронизации



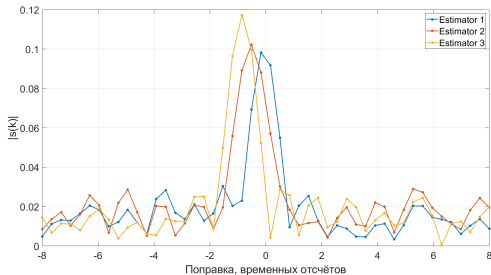
(b) Ошибка частотной синхронизации

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

Уточнение временной синхронизации



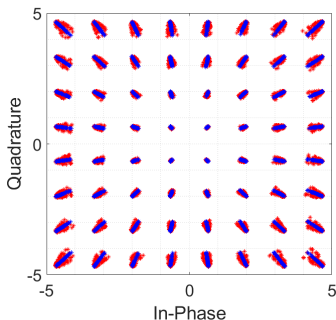
(a) Грубая синхронизация



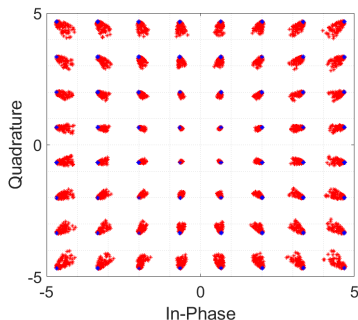
(b) Корреляция

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

Компенсация



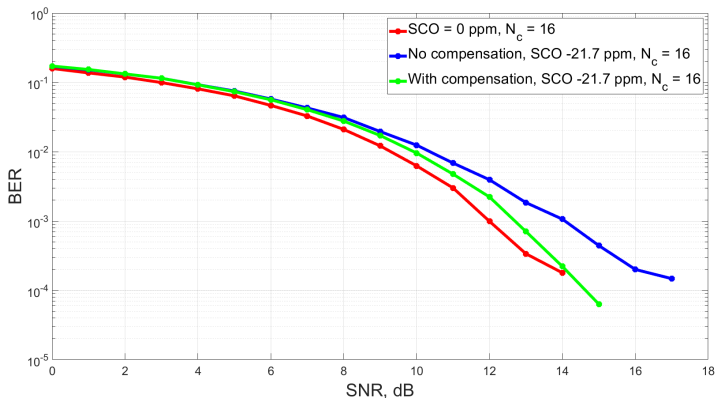
(a) Компенсация фазы



(b) Комп. амплитудных искажений

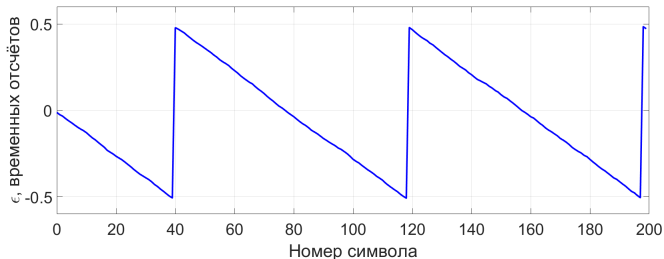
- При временном сдвиге ε : $\hat{a}_k = \text{sinc}(\pi\varepsilon) a_k e^{-2\pi j \frac{k\varepsilon}{N_c^2}} e^{\pi j \varepsilon} + ICI$
- Компенсация по оценке $\hat{\varepsilon}$: $a^{\text{restored}} = \hat{a}_k e^{2\pi j \frac{k\hat{\varepsilon}}{N_c^2}} \cdot \frac{1}{\text{sinc}(\pi\hat{\varepsilon})}$

Влияние SCO на кривые BER-SNR



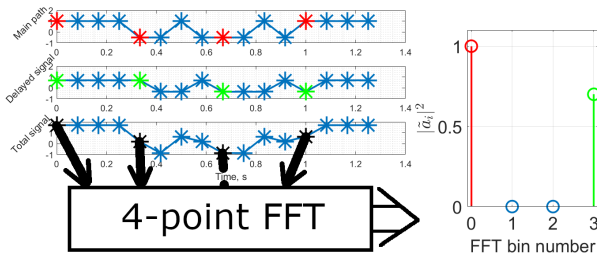
- Сложные созвездия более чувствительны
- При 64-QAM нужно больше символов для усреднения, чем при QPSK

Влияние CFO и SCO



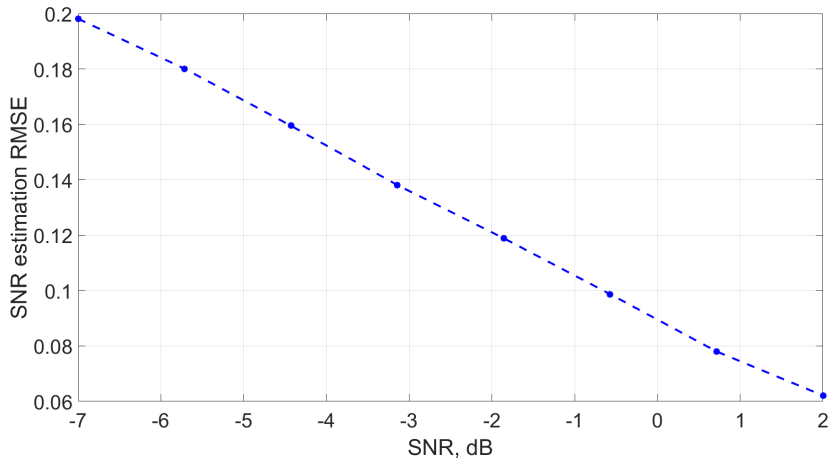
- OFDM: CFO даёт фазовый сдвиг, постоянный для всех несущих и символов
- ISS-OFDM: сдвиг от CFO растёт линейно с номером символа
- OFDM: разность фаз от SCO постоянна для всех символов
- ISS-OFDM: эта разность фаз линейно меняется между символами

Демодуляция методом параллельных БПФ



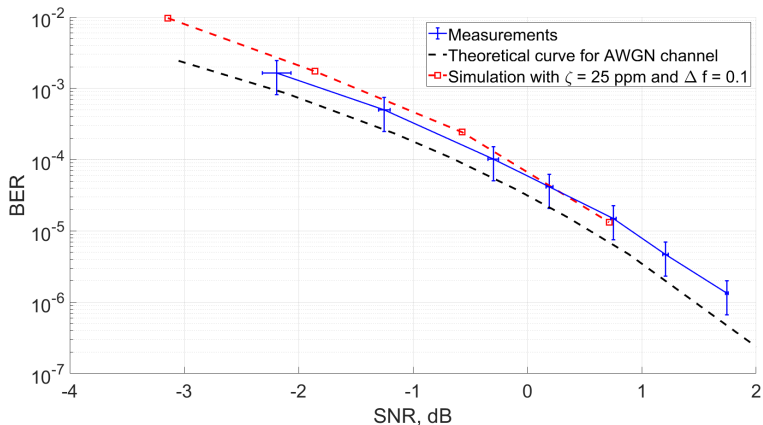
- Нельзя распознать лучи с задержкой более N_c временных отсчётов
- Задержки меньше временного отсчёта требуют интерполяции спектра
- Пример (EVA): $\tau = 30 - 2500 \text{ ns}$, $f_s = 100 \text{ MHz}$, задержка 3 – 250 отсчётов
- Требуется дальнейшее исследование

Проблема оценки низких SNR



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

Результаты экспериментов и моделирования

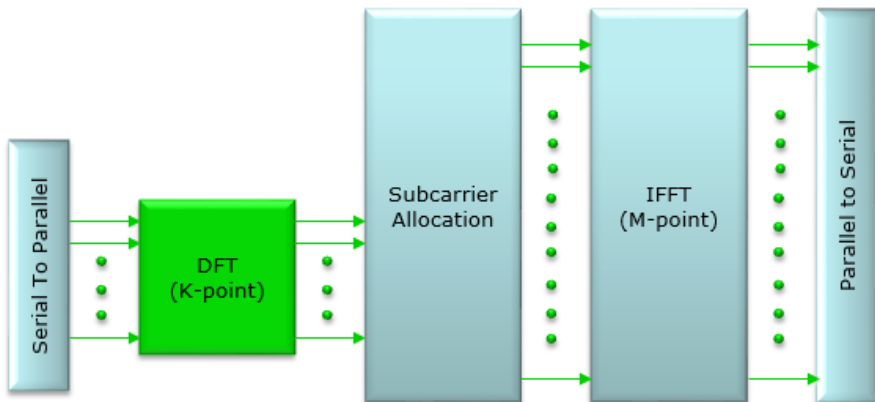


- Алгоритмы корректно работают на экспериментальных данных
- Результаты эксперимента совпадают с результатами моделирования в пределах погрешности

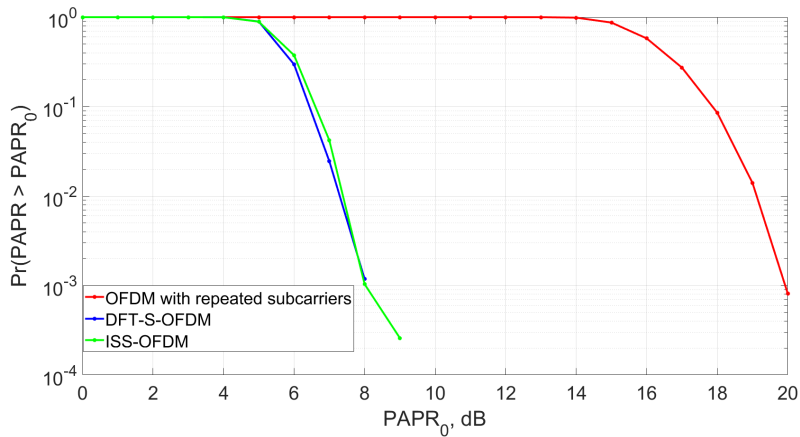
Достигнутые цели и дальнейшие исследования

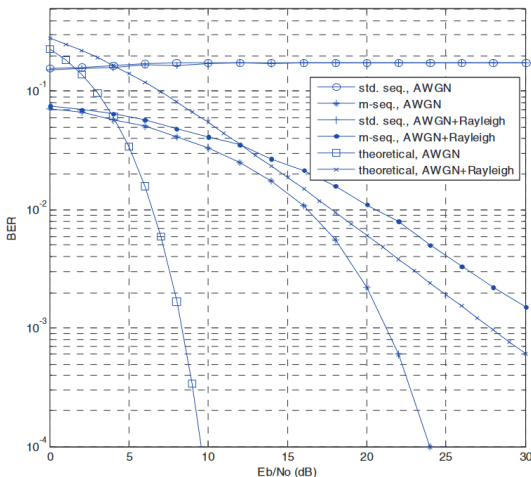
- Решена задача синхронизации
- Аналитически исследовано влияние SCO и CFO
- Предложены новые алгоритмы точной и грубой синхронизации
- Исследовано влияние многолучевого распространения
- Апробация результатов (конф. DCCN, En&T, DSPA)
- Потери синхронизации не превышают 0.5 dB на кривой BER-SNR
- Требуется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

Схема DTF-S-OFDM (5G uplink)



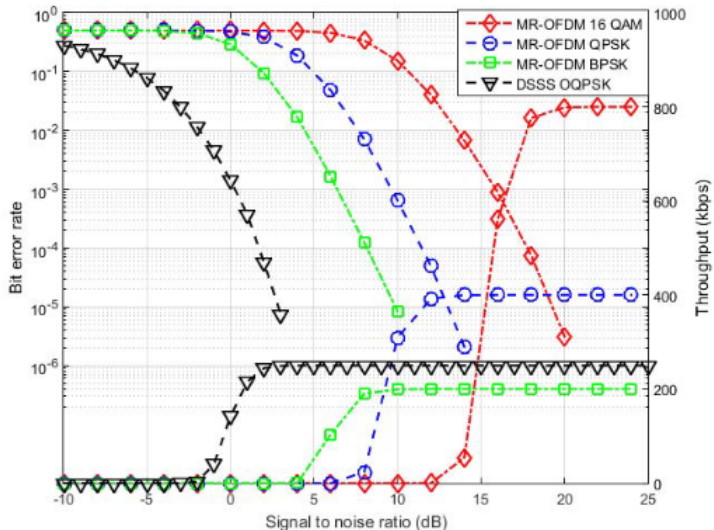
Вычислительная сложность $O(M \log(M))$ против $O(\sqrt{M} \log(\sqrt{M}))$ у ISS-OFDM





DSSS IEEE 802.15.4 (2006 revision)

Из статьи S. Fang, S. Berber, A. Swain and S. U. Rehman, "A study on DSSS 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)

