

# **Развитие методов повышения спектральной эффективности в мобильных сетях пятого поколения**

подготовил студент 2 курса магистратуры  
направления «Инфокоммуникационные  
технологии и системы связи»  
Покшин Александр  
Руководитель: Молчанов С.В.



# Мобильные сети пятого поколения

К будущим мобильным сетям пятого поколения предъявляются следующие требования:

- 1) 1000-кратное увеличение передаваемой информации на условную единицу площади;
- 2) 10-100-кратное увеличение количества устройств;
- 3) 10-100-кратное увеличение скорости передачи данных;
- 4) 10-кратное снижение энергопотребления;
- 5) задержка передачи данных менее 1 мс.



# Мобильные сети пятого поколения

OFDM адаптирован к беспроводным стандартам связи, включающим LTE и семейство IEEE 802.11 (Wi-Fi), благодаря преимуществам, таким как:

- стойкость к многолучевому затуханию;
- простота реализации;
- эффективное однократное частотно-временное уравнивание, возможное благодаря использованию циклического префикса;
- прямое и простое применение функции MIMO (Multiple Input Multiple Output) и возможности формирования усиленного луча.

# Цель выпускной квалификационной работы:

- *развитие методов повышения спектральной эффективности в мобильных сетях пятого поколения 5G*

# Основные задачи магистерской диссертации:

- изучение применимости сигнала с Fast-OFDM и разработка схемы реализации;
- изучение применения сигнала с несколькими несущими на базе набора фильтров FBMC (filterbank multicarrier) и оценка эффективности реализации данной схемы;
- изучение применения универсального фильтруемого сигнала с несколькими несущими UFMC (universal filtered multicarrier);
- анализ спектральной эффективности предложенных методов;
- выбор оптимального решения, обеспечивающего минимальные потери в канале связи.

# Структурная схема системы передачи данных

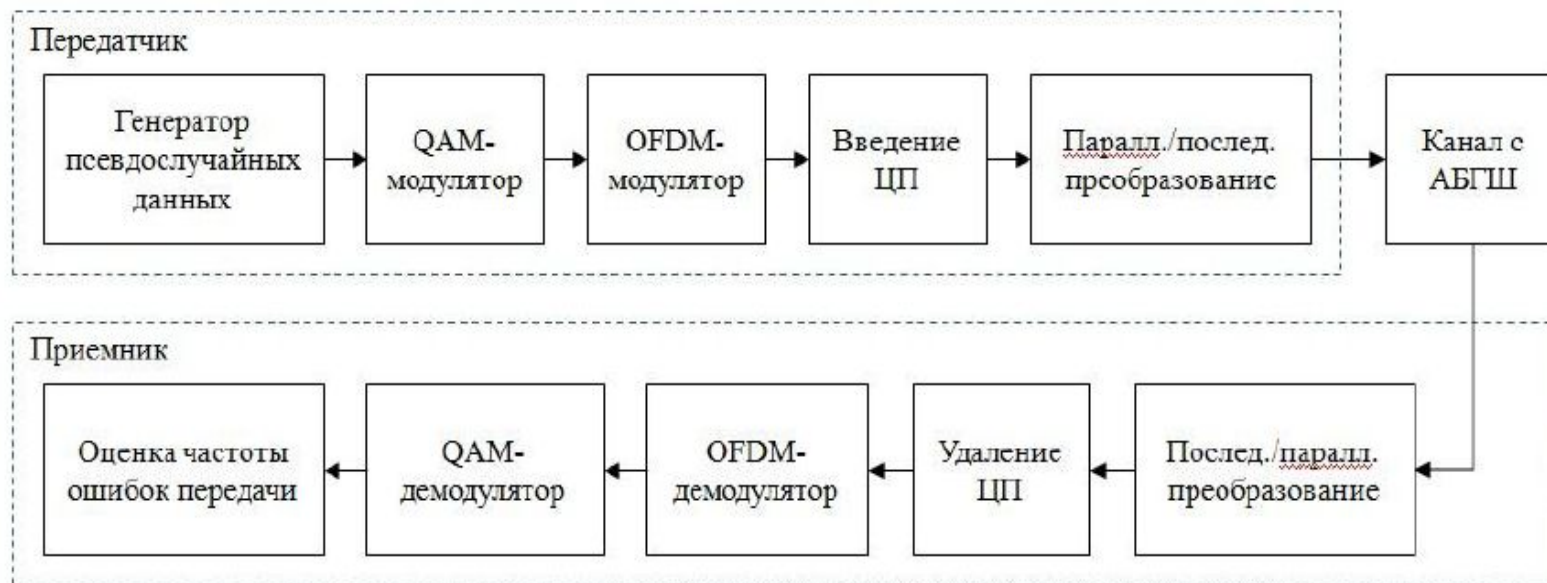
*Схема передачи данных, построенная в MATLAB Simulink*

# OFDM

Высокая эффективность обеспечивается расположением поднесущих колебаний, генерируются совместно так, чтобы сигналы всех поднесущих были ортогональными.

спектральная эффективность технологии OFDM достигается достаточно близким частот соседних колебаний, которые генерируются совместно так, чтобы сигналы всех поднесущих были ортогональными.

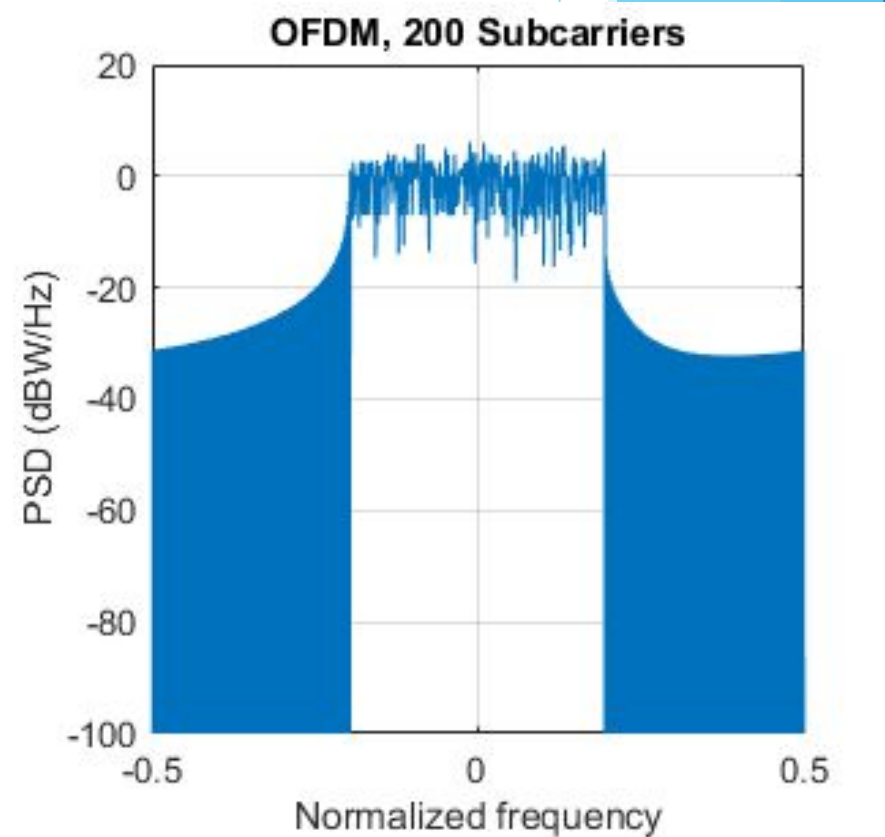
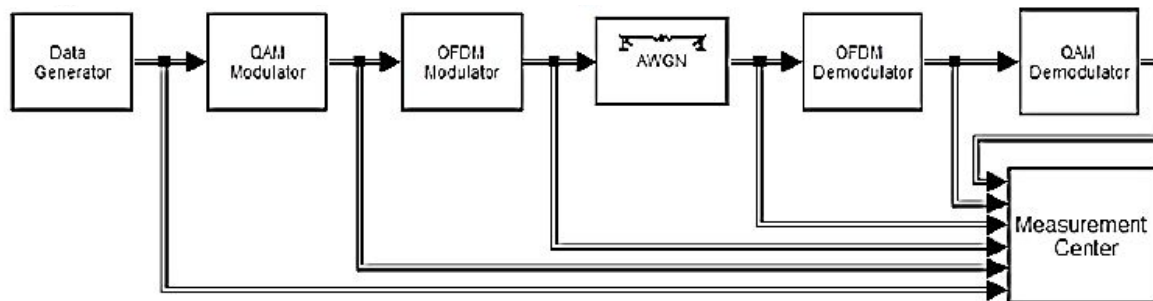
Преимуществом технологии OFDM является высокая устойчивость к узкополосным помехам и частотно-селективным замираниям, вызванным многолучевым распространением сигнала.



# OFDM

Однако технологии OFDM присущи и некоторые недостатки, в частности:

- высокая чувствительность к смещению частоты принимаемого сигнала относительно опорного гармонического колебания приемника;
- довольно высокое значение отношения пиковой мощности радиосигнала к ее среднему значению (PAPR), которое заметно снижает энергетическую эффективность радиопередатчиков.

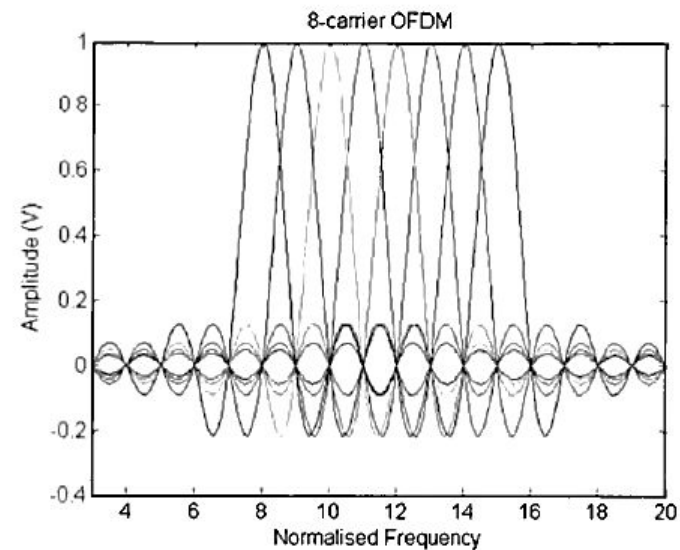
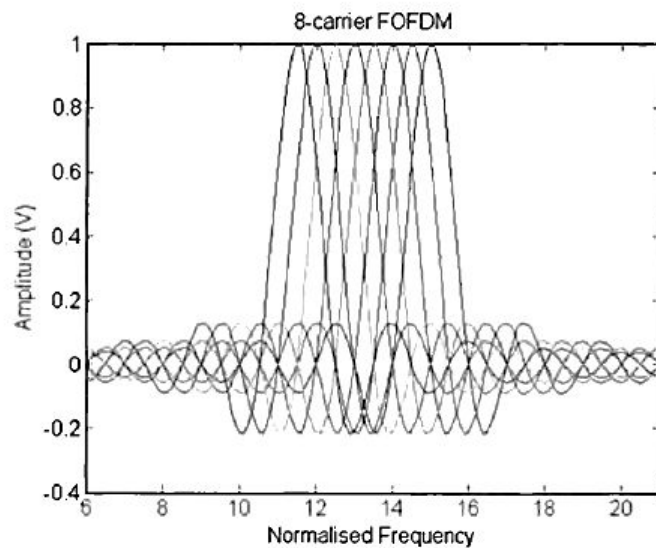


Формирование спектра OFDM-сигнала при 200 поднесущих



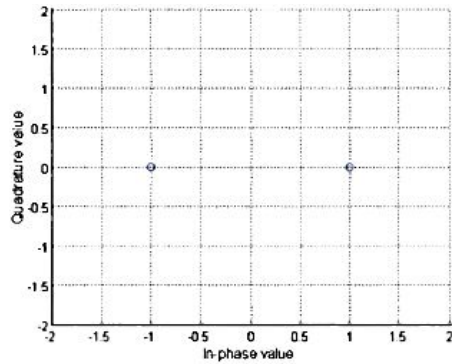
# Fast-OFDM

Fast-OFDM по свойствам схож с OFDM с той лишь разницей, что в Fast-OFDM разнос частот поднесущих поделён надвое, и составляет  $1/2T$  Гц. При этом существенно, что, несмотря на двукратное уплотнение по частоте по сравнению с OFDM, сигналы по-прежнему остаются ортогональными друг другу.

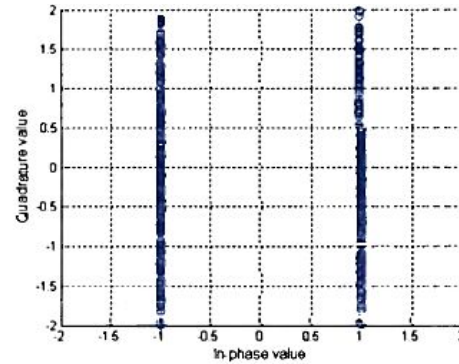


Спектры OFDM и Fast-OFDM при N=8 поднесущих

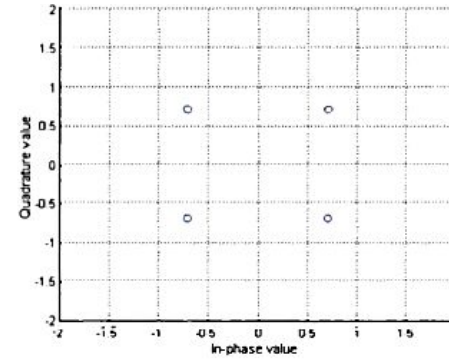
# Fast-OFDM



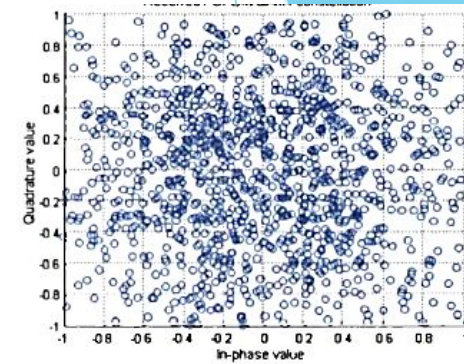
(a)



(b)



(a)



(b)

Конstellационные диаграммы Fast-OFDM при BPSK и QAM при  $N=8$  поднесущих

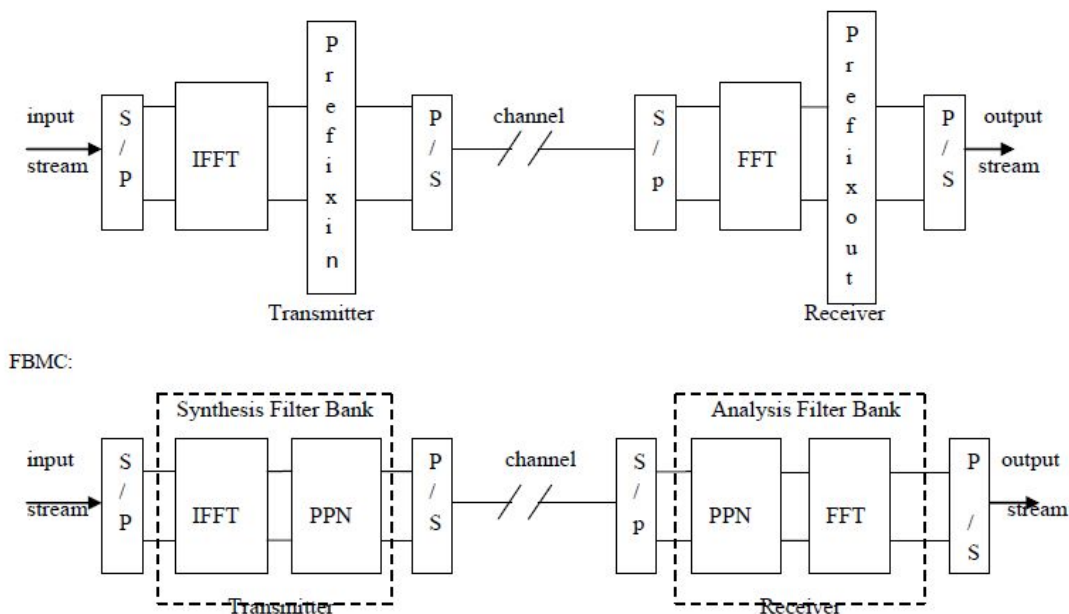
A - передача

B - приём

Выигрыш в спектральной эффективности по отношению к OFDM в случае Fast-OFDM возможен только при использовании BPSK или ASK. В противном случае, переданная с помощью Fast-OFDM сигналов информация не может быть восстановлена на приёмной стороне.

# FBMC (Filter Bank MultiCarrier) - многочастотная передача с гребенчатой фильтрацией

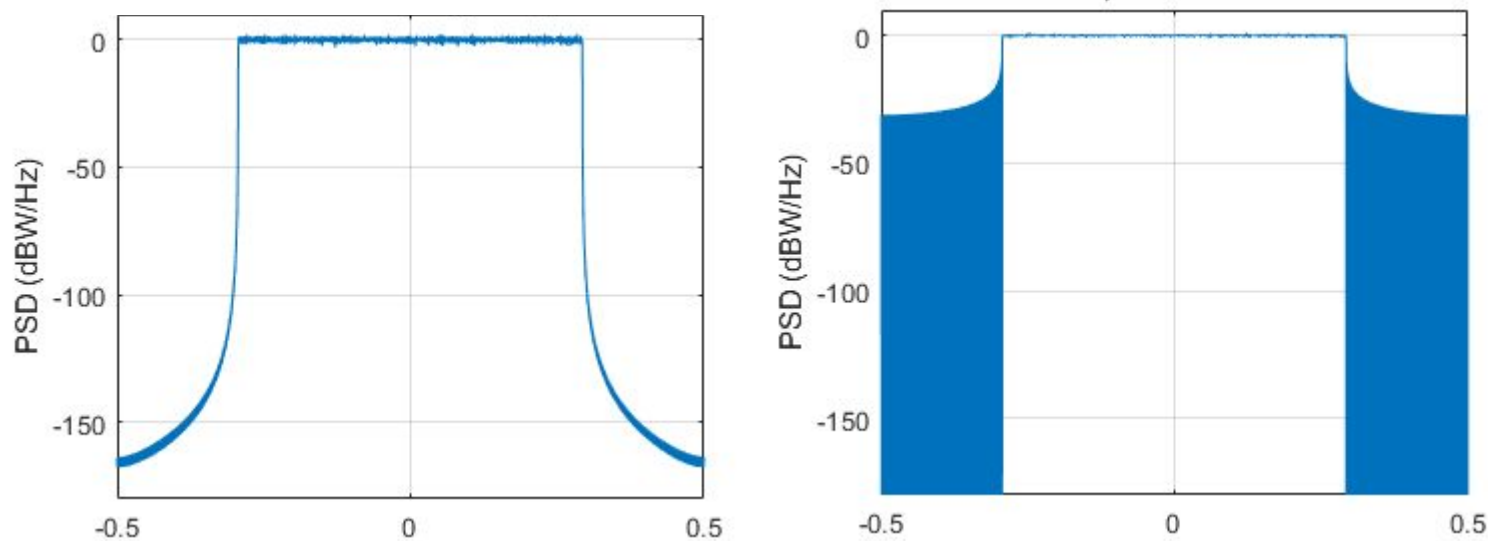
В технологии FBMC каждая поднесущая OFDM-сигнала фильтруется индивидуально, за счет чего снижается уровень внеполосных излучений и повышается устойчивость сигнала к интерференции между поднесущими.



Структурное отличие метода OFDM от FBMC

# FBMC (Filter Bank MultiCarrier) - многочастотная передача с гребенчатой фильтрацией

Использование фильтров большой размерности с высокой частотной селективностью приводит к снижению эффективной передачи сигнала во временной области, увеличивая задержки передачи информационных данных.

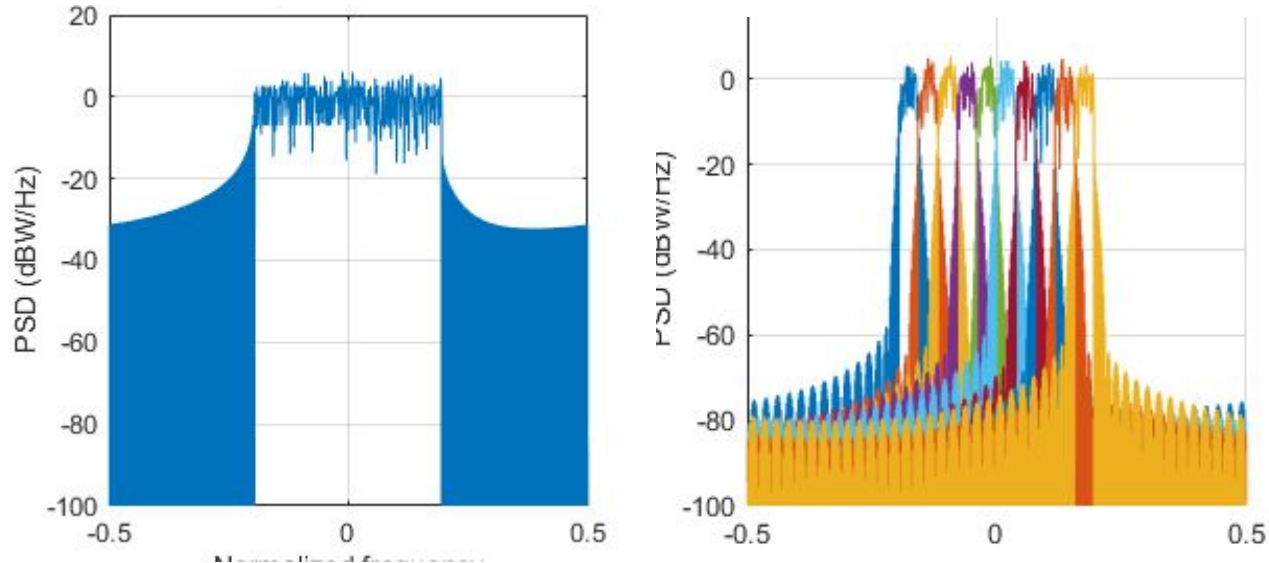


Спектр OFDM в сравнении с FBMC

# UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier) - технология многочастотной передачи с универсальной фильтрацией

В технологии UFMC, в отличие от FBMC, фильтруются не каждая поднесущая в отдельности, а группы поднесущих частот (поддиапазонные блоки), состоящие из определенного количества соседних поднесущих частот.

# UFMC (Universal Filtered Multi-Carrier) - технология многочастотной передачи с универсальной фильтрацией



Спектр OFDM (200 поднесущих) в сравнении с UFMC (10 подполос, 20 поднесущих в каждой)

	OFDM	UFMC
Количество отсчётов БПФ	1024	
Тип модуляции	16-QAM	
Пик-фактор PAPR, дБ	8,8843	8,2379

Такой подход позволяет уменьшить внеполосные излучения без существенного увеличения длины символа, что достигается благодаря использованию при расчете цифрового фильтра весового окна меньшей длины, чем в технологии FBMC. Поэтому преимуществом технологии UFMC перед FBMC являются меньшие задержки передачи данных.

# Сводная таблица

	<b>OFDM</b>	<b>FBMC</b>	<b>UFMC</b>
Количество отсчётов БПФ	1024		
Тип модуляции	16-QAM		
Пик-фактор PAPR, дБ	8,8843		8,2379
Вероятность символьной ошибки SER			
Вероятность битовой ошибки BER			

# Выводы

Использование технологий FBMC и UFMC в сети радиодоступа 5G позволит повысить спектральную эффективность по сравнению с сетями, использующими технологию OFDM. Они позволяют отказаться от использования циклического префикса который борется с межсимвольной интерференцией, и, следовательно, повысить скорость передачи информационных данных.

Так как в технологии UFMC, в отличие от FBMC, фильтруются не каждая поднесущая по отдельности, а целые группы поднесущих частот, то использование технологии UFMC не приводит к существенному увеличению длины символа, и поэтому она имеет меньшие задержки передачи данных, чем технология FBMC.



***Спасибо за внимание!***