СПОСОБЫ КОДИРОВАНИЯ

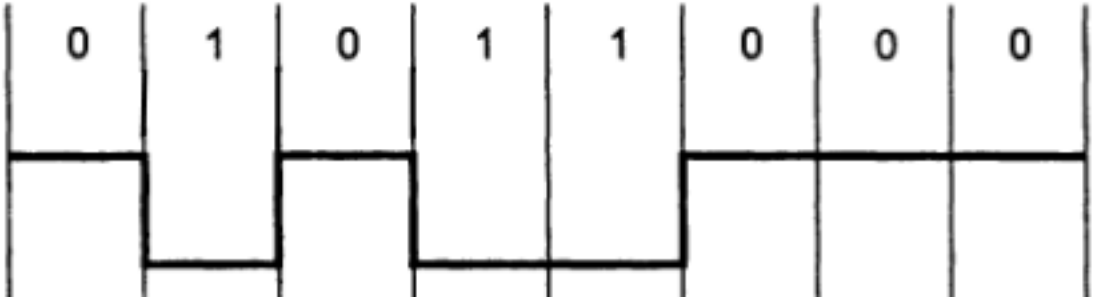
Требования к кодированию

- Минимизировать ширину спектра сигнала
- Обеспечить синхронизацию между передатчиком и приёмником
- Обеспечить устойчивость к шумам
- Обнаружить и устранить битовые ошибки
- Минимизировать мощность передатчика

Синхронизация

- Синхронизация с помощью отдельной линии на небольших расстояниях

Потенциальный код NRZ

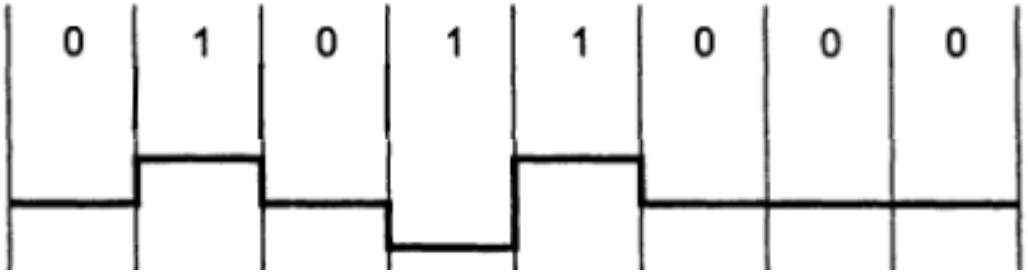


Кодирование без возвращения к нулю / Non Return to Zero

- Достоинства
  - Простота
  - Хорошо распознаются ошибки
  - Основная гармоника имеет низкую частоту – узкий спектр
- Недостатки
  - Не обладает самосинхронизацией
  - Наличие низкочастотной составляющей при передаче длинных последовательностей 1 или 0.

Биполярное кодирование с альтернативной инверсией / Alternate Mark Inversion (AMI)

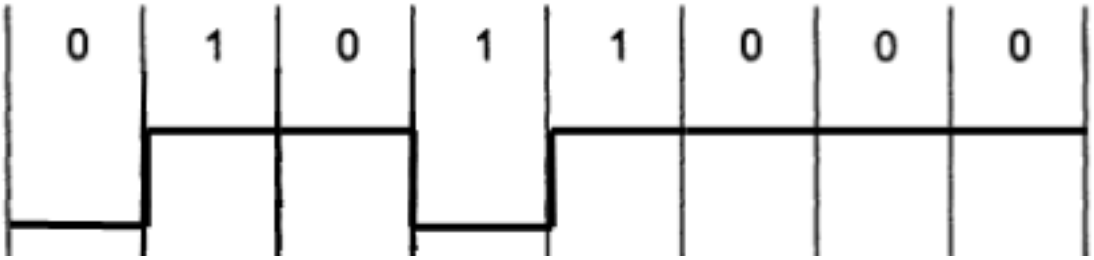
- 0 кодируется нулевым потенциалом
- 1 кодируется по очереди положительным или отрицательным потенциалом



- Решается проблема постоянной составляющей.
- Решается проблема самосинхронизации для последовательности 1 (но не 0).
- В среднем более узкий спектр сигнала чем у NRZ
- Нарушение последовательности потенциалов позволяет находить ошибки.
- Три уровня сигнала требуют большей мощности передатчика.

Потенциальный код с инверсией при 1 Non Return to Zero with 1 Inverted, NRZI

- Два уровня сигнала.
- При передаче 0 уровень сохраняется, при 1– меняется

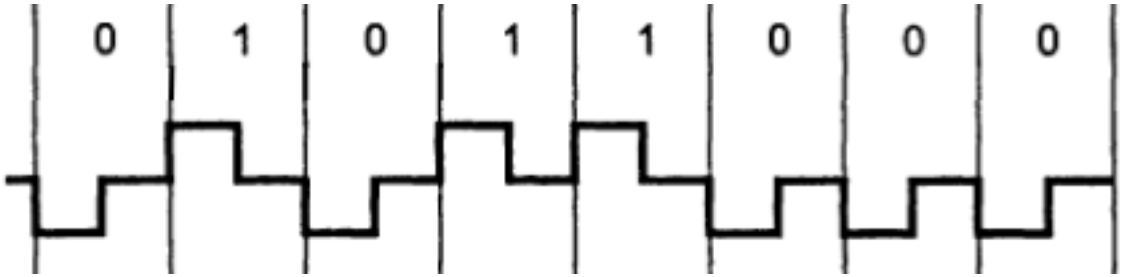


- Используется при невозможности работы с 3 уровнями

- Для улучшения свойств добавляют избыточные единицы или перемешивают передаваемую информацию для уменьшения вероятности последовательности из 0.

Биполярный импульсный код

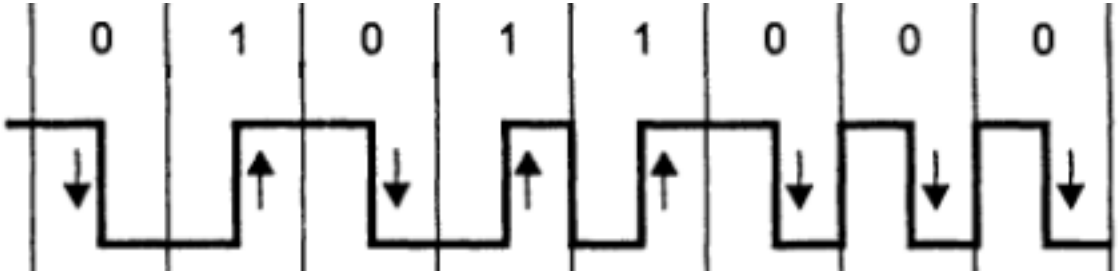
- 1 и 0 представляются импульсами разной полярности
- Импульс длиться половину такта



- Хорошая самосинхронизация
- Постоянная составляющая при передаче длинных последовательностей 0 или 1
- Широкий спектр

Манчестерский код

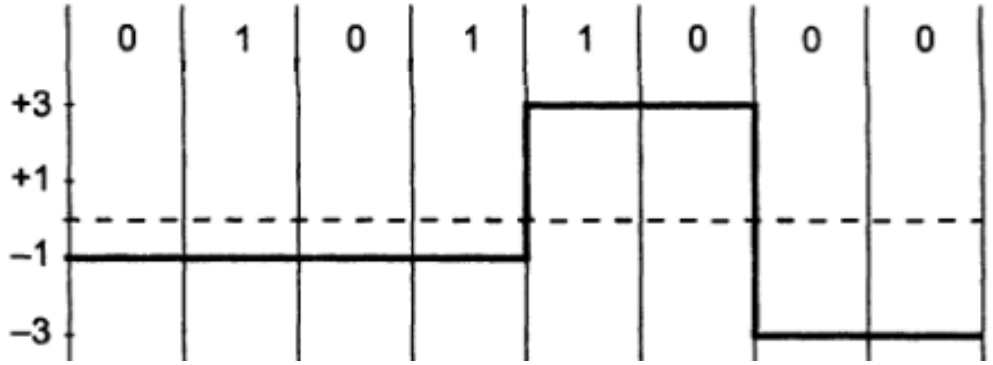
- Каждый такт делиться на две части
- 1 кодируется перепадом от низкого уровня к высокому
- 0 кодируется перепадом от высокого уровня к низкому



- Хорошая самосинхронизация
- Спектр в среднем в 1.5 раза уже, чем у биполярного кода
- Два уровня передачи сигнала

Потенциальный код 2B1Q

- За один такт передаётся 2 бита
- Сигнал имеет 4 уровня (Q):
  - 00: -2.5v
  - 01: -0.833v
  - 11: +0.833v
  - 10: +2.5v



- Высокая скорость передачи
- Требуется большая мощность
- При случайном чередовании спектр в 2 раза уже, чем у NRZ
- Для улучшения свойств требуется скремблирование или избыточное кодирование

Избыточный код 4B/5B

- Последовательность битов разбивается на символы (по 4 бита)
- Исходный символ заменяется символом с большим числом битов (5 битов)
- Берём символы в которых нет длинных последовательностей 0 (не более 3)
- Передаём потенциальным кодированием

- Хорошая самосинхронизация
- Если принят неиспользуемый код – произошла ошибка
- Требуется большая частота передачи – шире полоса, однако она уже, чем у манчестерского кода

Избыточный код 4B/5B

Исходный символ	Код	Исходный символ	Код
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101

Скремблирование

- Побитовое вычисление кода на основе битов исходной последовательности и предыдущих битов кода, например:

$$B_i = A_i \otimes B_{i-3} \otimes B_{i-5},$$

где A_i - i-ый символ исходной последовательности,

B_i - i-ый символ кода,

$\otimes$ - XOR.

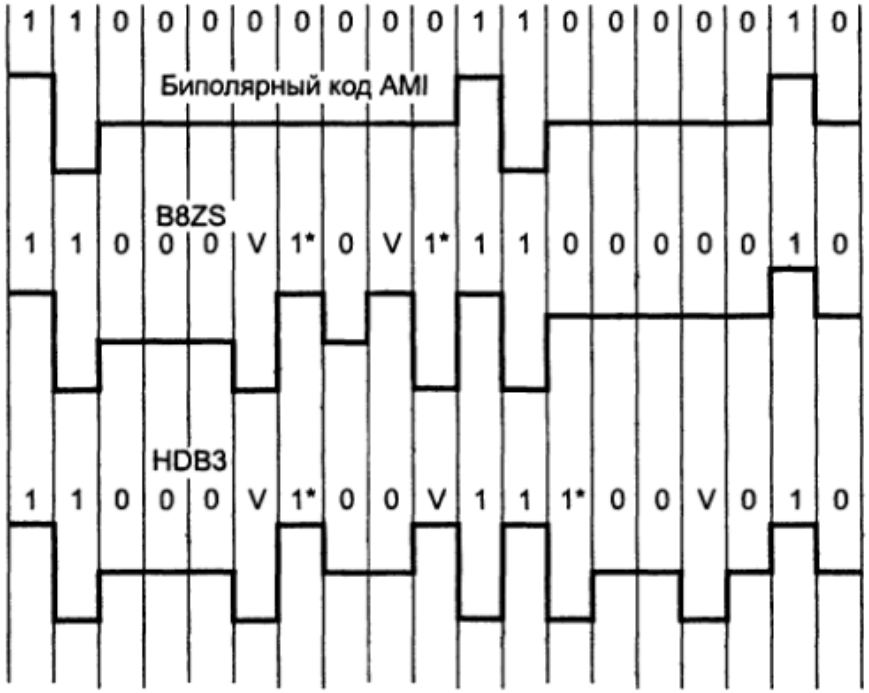
A_i	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
B_{i-3}				1	1	0	0	0	1	1	0	1
B_{i-5}						1	1	0	0	0	1	1
B_i	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1

Скремблирование

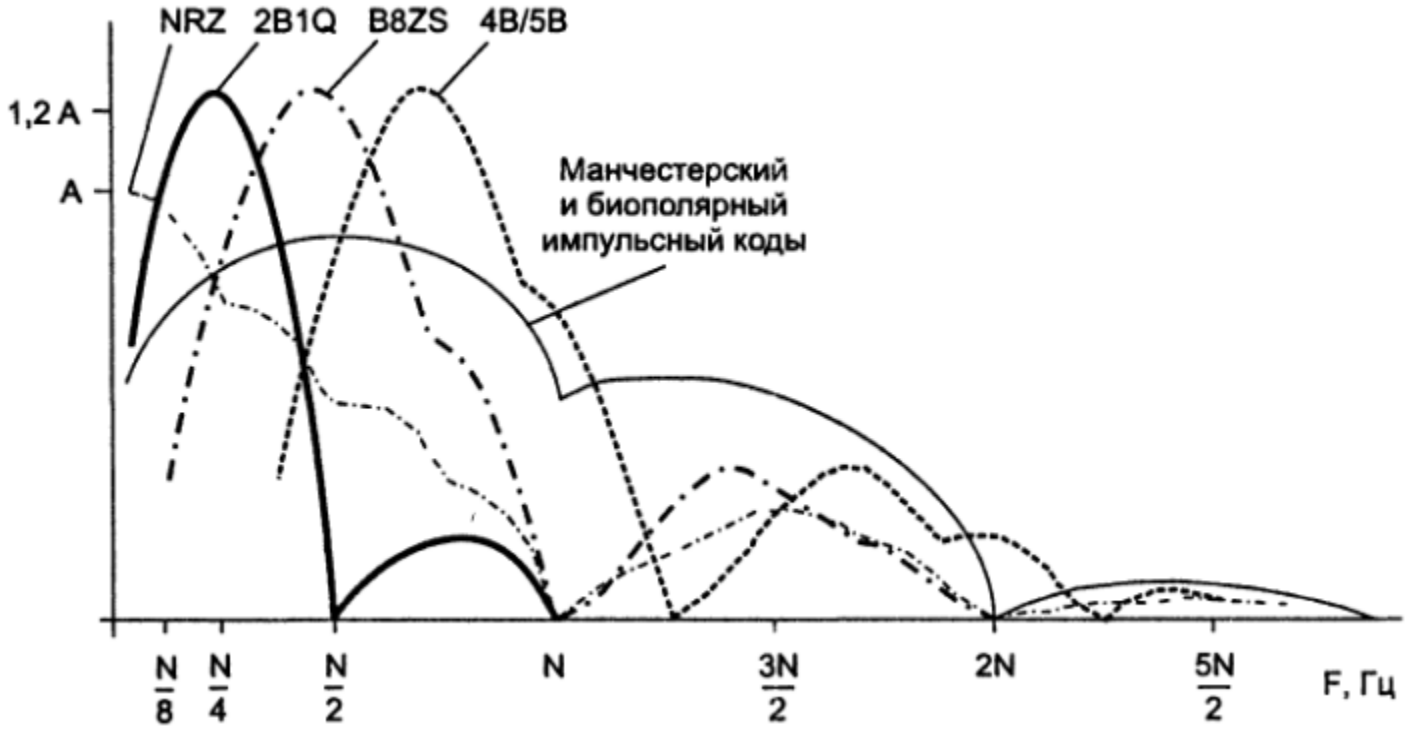
- Для кода AMI используется искажение последовательностей нулей запрещенными символами:

  - B8ZS
    Для последовательности из 8 нулей: 3 нуля оставляем, 5 заменяем на V10V1,
    где V – сигнал 1 с “неправильной” полярностью

  - HDB3
    Заменяет последовательности из 4 нулей:
    - Если число 1 было нечётным используется 000V, иначе 100V
    - Полярность V меняется при последовательных заменах



Спектры потенциальных и импульсных кодов



N – скорость передачи данных, бит/сек.

A – амплитуда сигнала

Спектры получены при передаче данных, в которых различные сочетания 0 и 1 равновероятны.

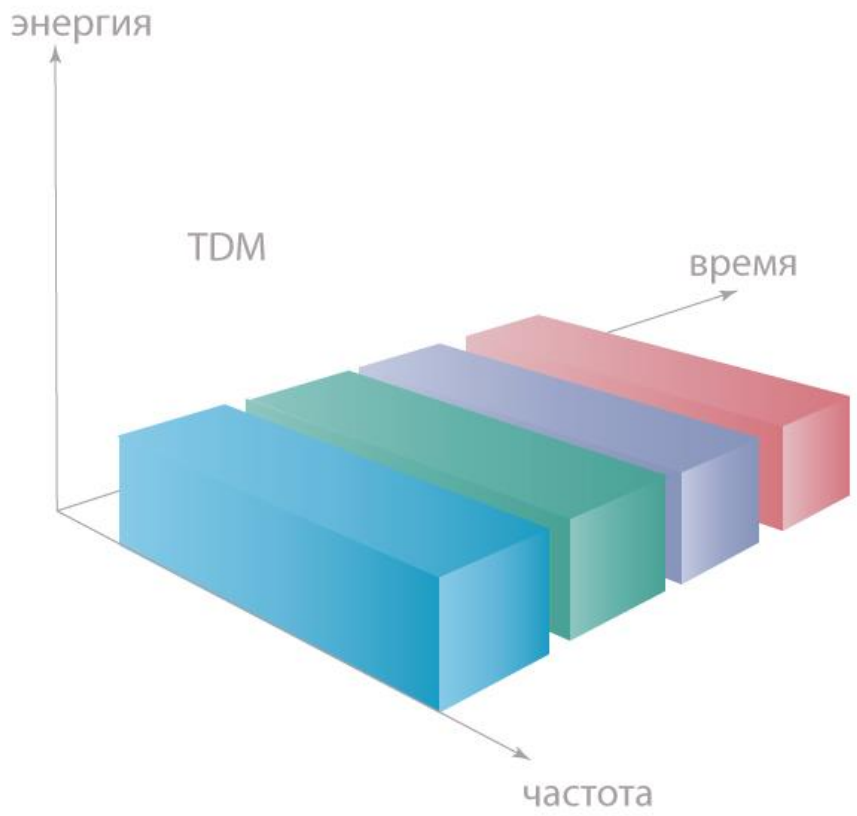
МЕТОДЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ

Мультиплексирование

- Для решения задачи передачи нескольких потоков данных через одну среду необходимо решать задачу мультиплексирования. (…М)
- Аналогичная задача возникает в случае организации одновременного доступа к разделяемой среде нескольких пользователей. (…МА)
- Наиболее простым вариантом является использование пространственного разделения потоков.

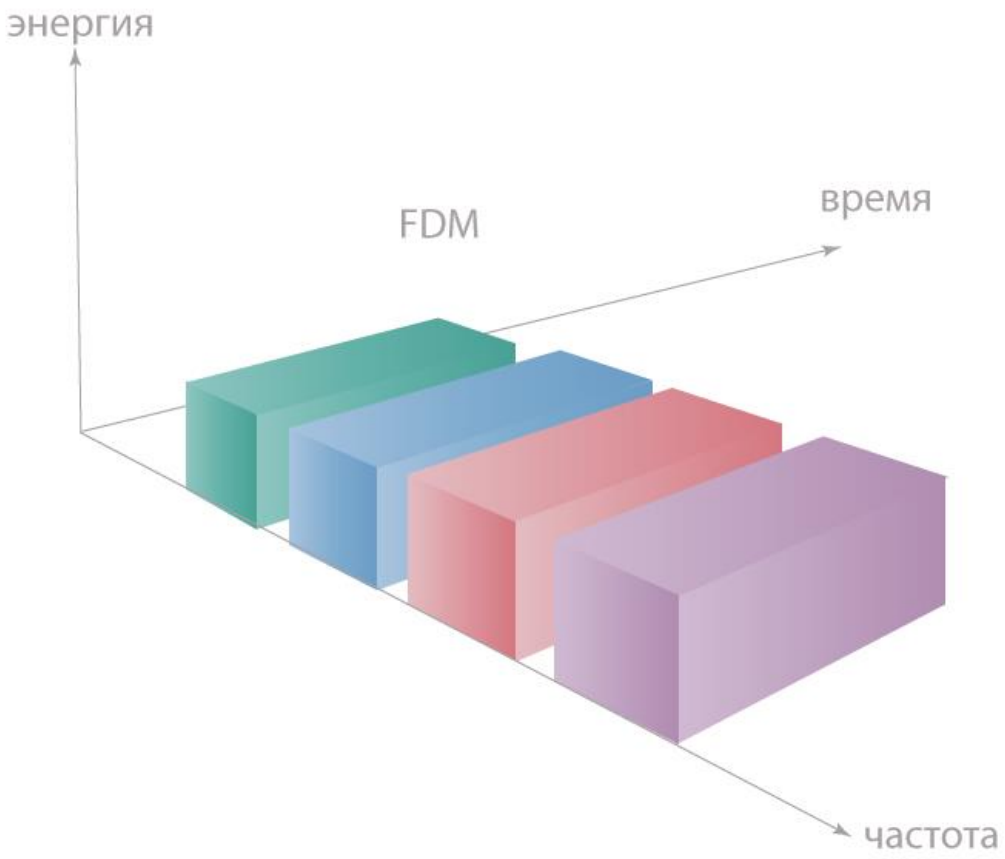
Временное уплотнение
Time Division Multiplexing (TDM)

- Каждому потоку выделяется свой временной слот



Частотное уплотнение
Frequency Division Multiplexing (FDM)

- Каждому потоку выделяется своя частота

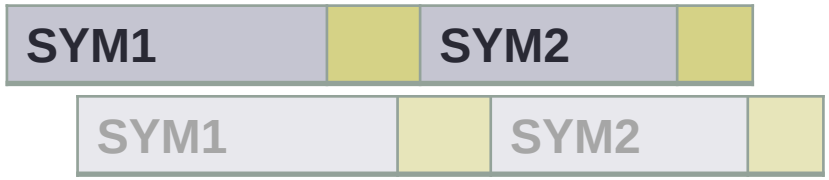


Orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM)

- Диапазон разбивается на несколько поднесущих, которые ортогональны друг другу.
- Для соблюдения ортогональности необходимо, чтобы интервал между поднесущими был равен $\Delta f = k/T_u$, где k – целое число (1), T_u - продолжительность символа.
- Ортогональность позволяет достичь очень высокой эффективности использования частотного диапазона.
- Требует точной синхронизации частот передатчика и приёмника.
  - Доплеровское смещение
  - Особенно плохо в случае многолучевого распространения

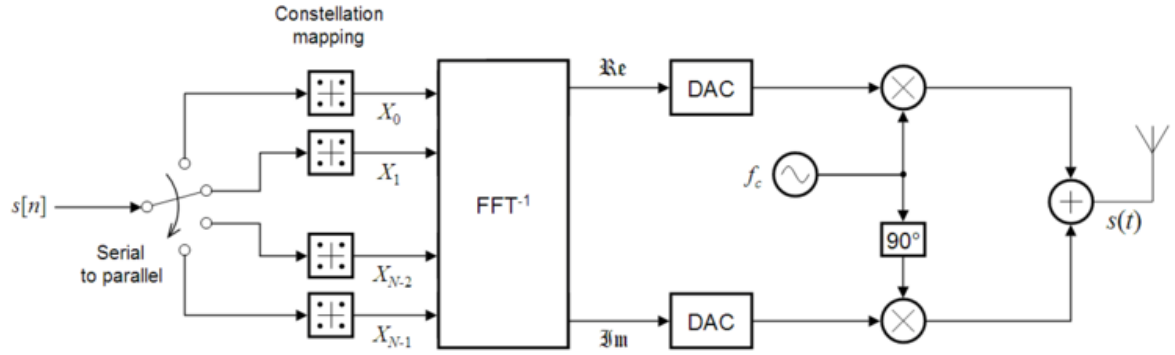
OFDM – Защитный интервал

- Для борьбы с многолучевым распространением лучше передавать много потоков с большой длительностью символа, чем один с низкой.
- Поскольку длительность символа велика, можно вставлять защитные интервалы между символами, для уменьшения межсимвольной интерференции.
- Во время защитного интервала передаётся копия завершающей части следующего за интервалом символа.

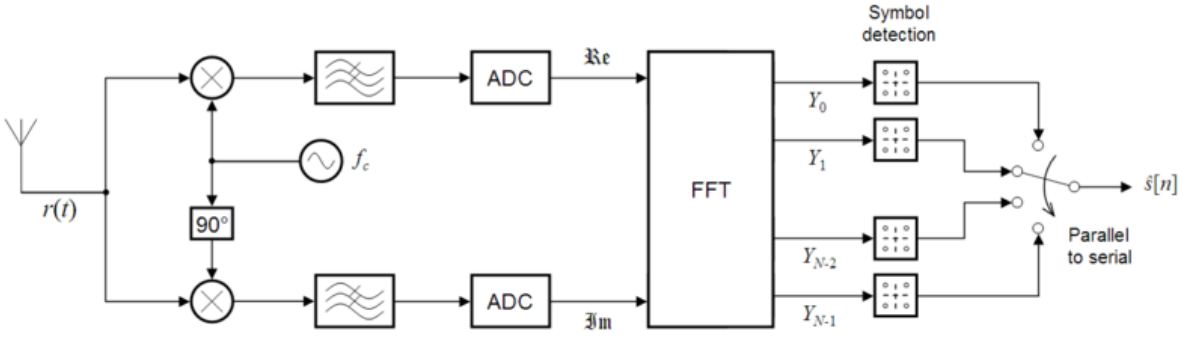


OFDM - Реализация

- Передатчик

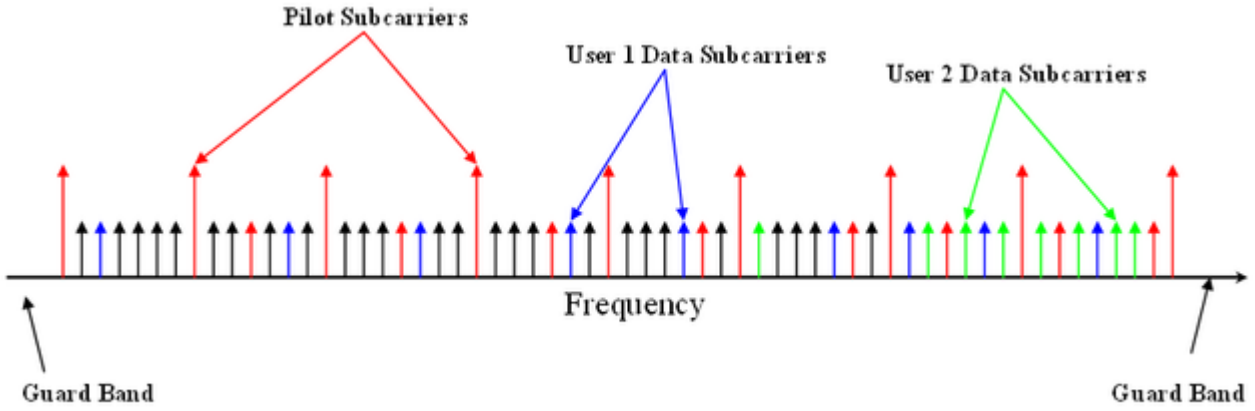


- Приёмник



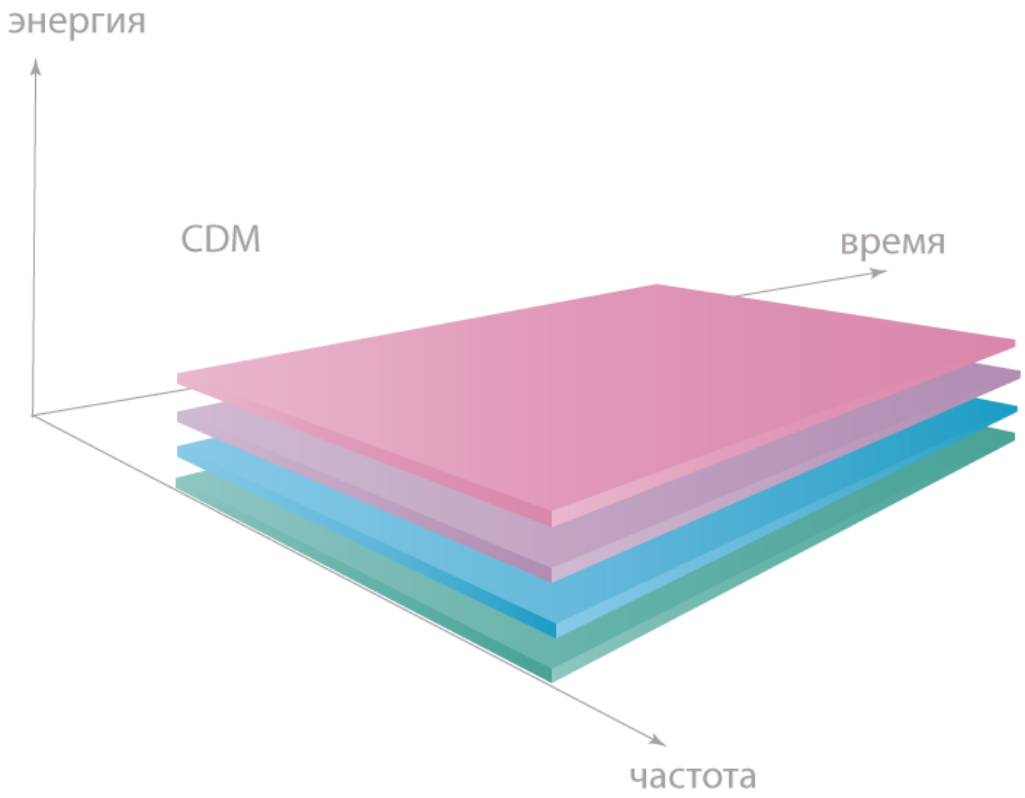
OFDMA

- Мы можем распределить частоты OFDM между разными пользователями.



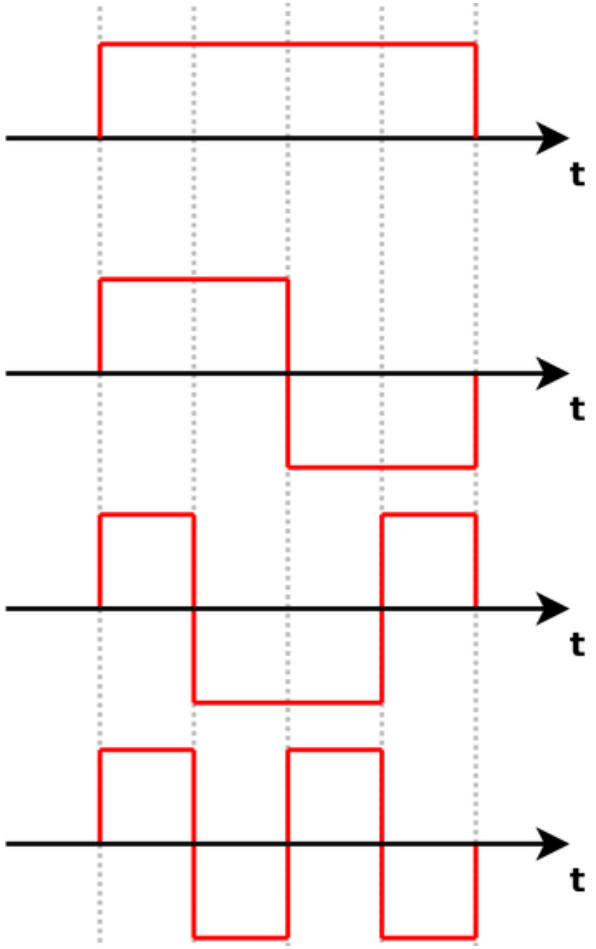
Кодовое уплотнение
Code Division Multiplexing (CDM)

- Потоки сосуществуют в одном частотно-временном диапазоне.
- Для передачи каждого потока используется коды



Разновидности кодового уплотнения Синхронный CDMA

- В качестве кодов используются ортогональные вектора.
- Каждый пользователь использует свой вектор.
- При передаче 1 кодируется 1, 0 кодируется -1.
- Для декодирования сигнала вычисляется корреляция между принятым сигналом и кодом пользователя.
- Ортогональность кодов позволяет восстановить сигнал любого пользователя без помех.
- Требует синхронизации передатчиков.



Разновидности кодового уплотнения Синхронный CDMA

Кодирование:

Отправитель 0	Отправитель 1
Код0 = (1,-1) Данные0 = (1, 0, 1, 1)	Код1 = (1,1) Данные1 = (0, 0, 1, 1)
Сигнал0 = (1,-1,1,1) ⊗ (1,-1) = = (1,-1,-1,1,1,-1,1,-1)	Сигнал1 = (-1,-1,1,1) ⊗ (1,1) = = (-1,-1,-1,-1,1,1,1,1)

Передача:

(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1) + (-1,-1,-1,-1,1,1,1,1) = (0,-2,-2,0,2,0,2,0)

Декодирование:

Отправитель 0	Отправитель 1
Код0 = (1,-1)	Код1 = (1,1)
Корр0 = ((0,-2),(-2,0),(2,0),(2,0))·(1,-1) =((0+2),(-2+0),(2+0),(2+0))=(2,-2,2,2)	Корр1 = ((0,-2),(-2,0),(2,0),(2,0))·(1,1) = ((0-2),(-2+0),(2+0),(2+0))=(-2,-2,2,2)
Данные0 = (1,0,1,1)	Данные1=(0,0,1,1)

Разновидности кодового уплотнения Синхронный CDMA

Передача:
(1,-1,-1,1,1,-1,1,-1)

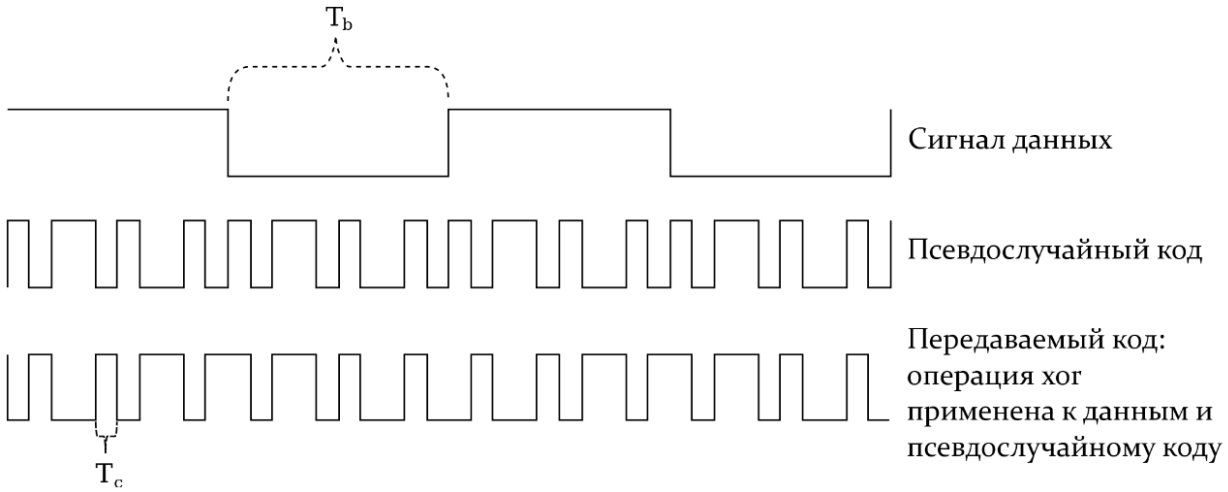
Декодирование:

Отправитель 0	Отправитель 1
Код0 = (1,-1)	Код1 = (1,1)
Корр0=((1,-1),(-1,1),(1,-1),(1,-1))·(1,-1) =((1+1),(-1-1),(1+1),(1+1)) =(2,-2,2,2)	Корр1=((1,-1),(-1,1),(1,-1),(1,-1))·(1,1) = ((1-1),(-1+1),(1-1),(1-1)) =(0,0,0,0)
Данные0 = (1,0,1,1)	Данные1=

Разновидности кодового уплотнения
Асинхронный CDMA
Direct-sequence spread spectrum (DSSS)

- При передаче сигнал умножается на «шумовой» сигнал
- «Шумовой» сигнал:
  - Псевдослучайная последовательность из -1, 1.
  - Частота значительно превышает частоту сигнала
- Умножая принятый сигнал на ту же псевдослучайную последовательность можно получить исходный сигнал.
- Передатчик и приёмник должны быть синхронизованы с высокой точностью.
- Преимущества:
  - Устойчивость к помехам
  - Одновременное использование канала несколькими пользователями
  - Определение временной задержки между передатчиком и приёмником

Разновидности кодового уплотнения
Асинхронный CDMA
Direct-sequence spread spectrum (DSSS)



- T_b/T_c - база сигнала
- Так как коды не ортогональны, то передачи других пользователей создают интерференцию, которая проявляется как Гауссов шум, интенсивность которого прямо пропорциональна числу пользователей.

Разновидности кодового уплотнения Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

- Быстрое переключение между частотными каналами, по псевдослучайной последовательности, известной как приёмнику так и передатчику.
- Требует синхронизации передатчика и приёмника
- Преимущества:
  - Устойчива к узкополосным помехам
  - Сложно прослушать
  - Позволяет более эффективно использовать частотный диапазон, не создавая сильных помех для узкополосных сигналов
- Применение в BlueTooth:
  - Диапазон 2,4…2,4835 ГГц
  - 79 рабочих каналов (в некоторых странах 23)
  - Частота переключения каналов 1600 Гц