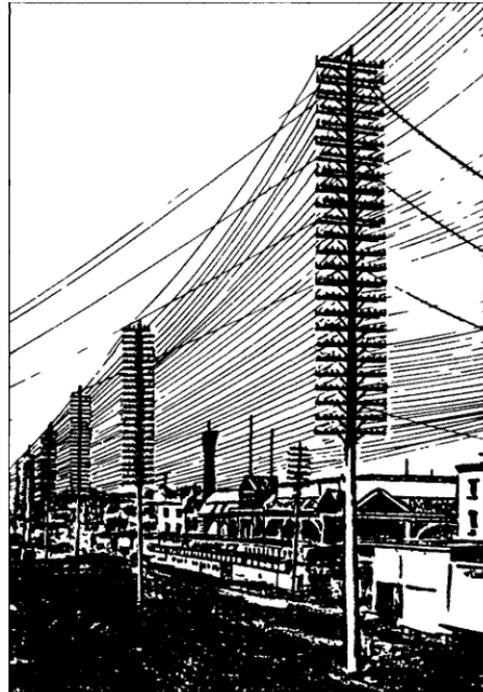


ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ



ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МСП

Многоканальной системой передачи (МСП) называется совокупность технических средств, обеспечивающих одновременную и независимую передачу однотипных или разнотипных сообщений от N источников к N получателям по одной линии связи (физической среде распространения сигналов электросвязи).

ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МСП

Задачи МСП -обеспечить заданное число каналов, требуемое качество передачи, надежность, эффективность и дальность связи.

Разделительными признаками (или параметрами) называется совокупностью физических признаков, позволяющих отличить один канальный сигнал от других

Система передачи называется системой передачи с **линейным разделением сигналов**, если развязывающие устройства являются линейными четырехполюсниками с постоянными или переменными параметрами.

Мультиплексирование (в связи - уплотнение) - объединение нескольких меньших по емкости входных каналов связи в один канал большей емкости для передачи по одному выходному каналу связи

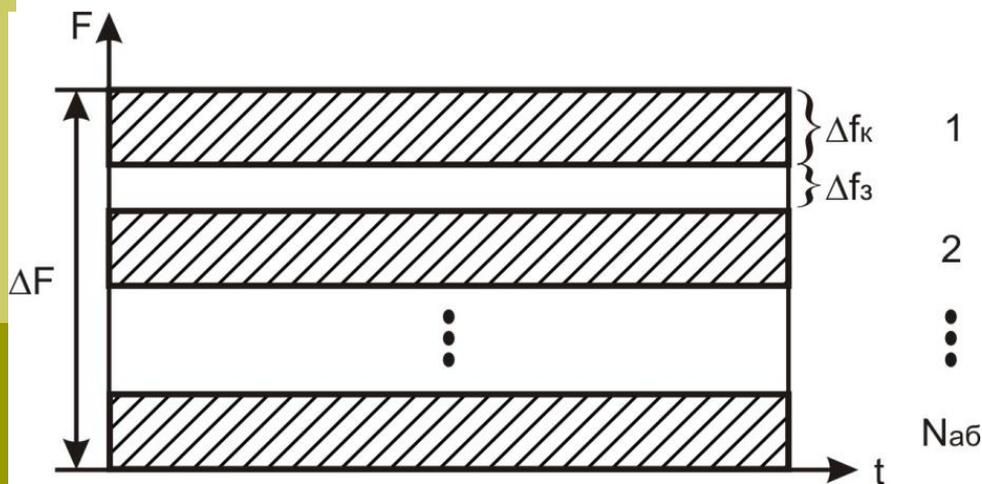
СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (FDM)



МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Многоканальные системы с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiplexing - FDM)

– пользователям выделяются определенные поддиапазоны используемой полосы частоты

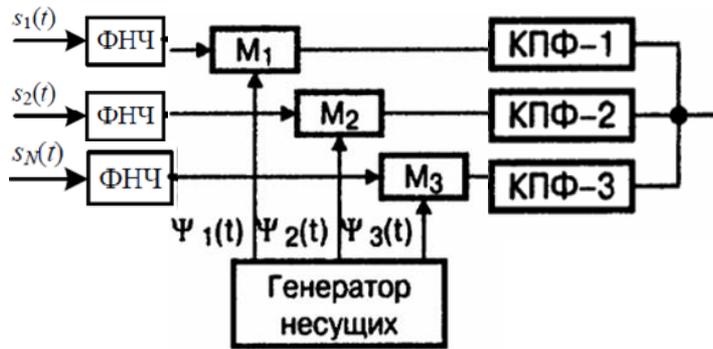


Используется в системах радио и телевидения

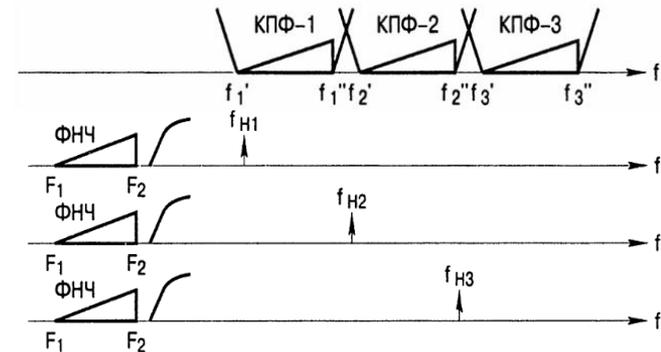
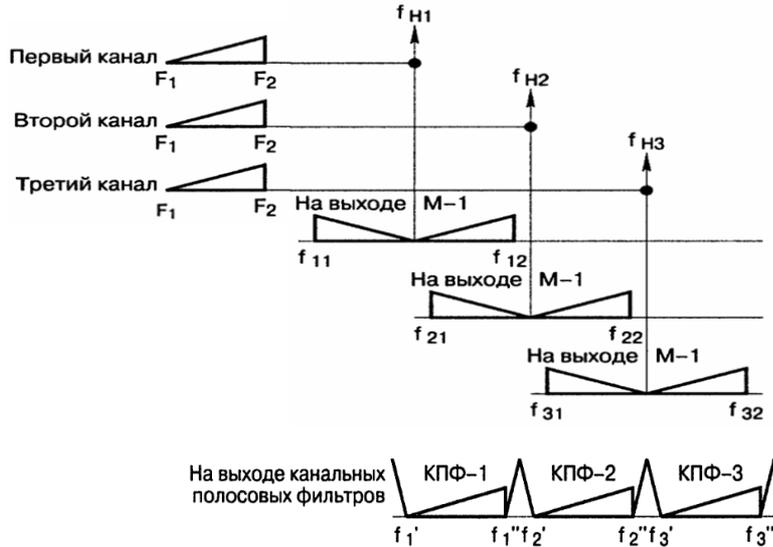
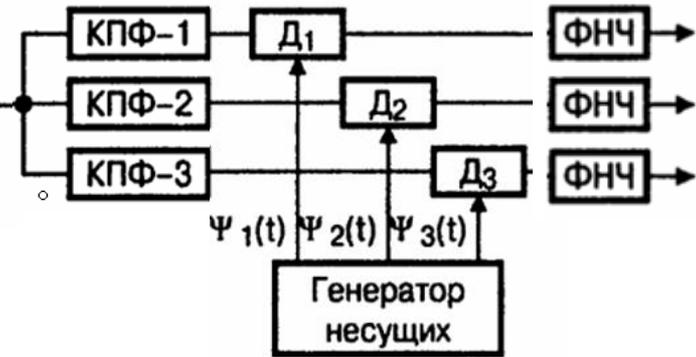
Недостаток-неэффективное использование полосы частот.

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

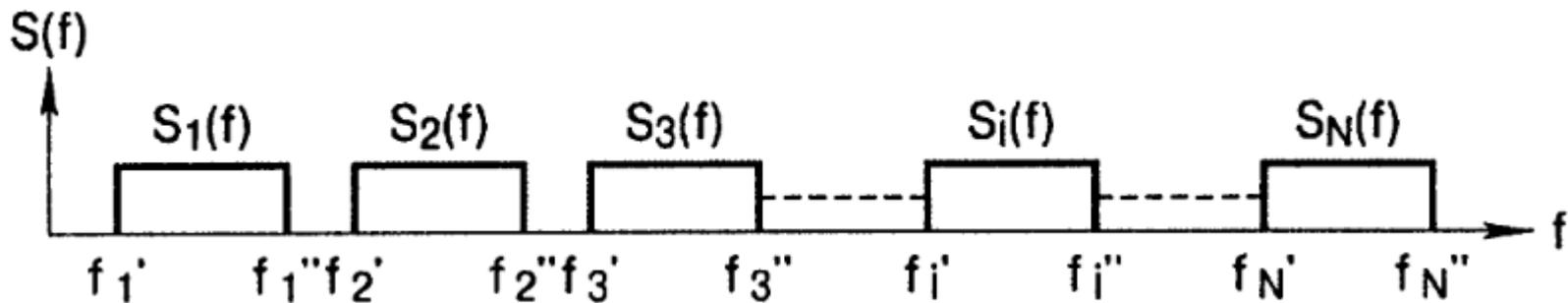
Тракт передачи



Тракт приема



ОРТОГОНАЛЬНОСТЬ СИГНАЛОВ НА ВЫХОДЕ КПФ



$$S_1(f) \begin{cases} \neq 0 & \text{при } f_1' \leq f \leq f_1'' \\ = 0 & \text{при } f_1' > f > f_1'', \end{cases}$$

$$S_2(f) \begin{cases} \neq 0 & \text{при } f_2' \leq f \leq f_2'' \\ = 0 & \text{при } f_2' > f > f_2'', \end{cases}$$

.....

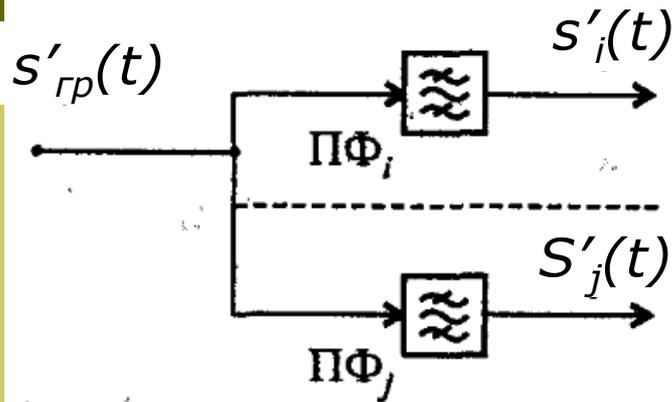
$$\int_{f_1'}^{f_N''} S_i(f) S_n(f) df = \begin{cases} A_i & \text{при } i = n, \\ 0 & \text{при } i \neq n, \end{cases}$$

Общая полоса частот группового сигнала:

$$\begin{aligned} \Delta f_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^N (\Delta f_i + \Delta f_{3,i}) \\ &= N(\Delta f_i + \Delta f_{3,i}) \end{aligned}$$

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНО-НЕЗАВИСИМЫХ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Идеальный раздельный каналный фильтр



$$K_i(f) = \begin{cases} 1 & \text{при } f'_i \leq f \leq f''_i \\ 0 & \text{при } f'_i > f > f''_i \end{cases}$$

Сигнал на выходе i -го ПФ:

$$S_{\text{вых},i}(f) = S_{\text{Гр}}(f)K_i(f) = S_i(f)$$

ЗАЩИТНЫЙ ЧАСТОТНЫЙ ИНТЕРВАЛ

Необходимость защитного интервал в FDM обусловлена:

- непрямоугольностью АЧХ канальных полосовых фильтров;
- нелинейными искажениями в канале, приводящими к расширению полосы сигнала;
- нестабильностью генераторов несущих;
- частотным доплеровским сдвигом при взаимном перемещении приемника и передатчика и т.п.

ВЫВОДЫ

1. Канальные полосовые сигналы (КПС) являются ортогональными при неперекрывающихся полосах частот
2. КПС остаются ортогональными при произвольных взаимных временных сдвигах
3. С помощью КПС можно организовать асинхронную многоканальную систему
4. FDM обеспечивает непрерывный доступ к каналу связи

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С
ВРЕМЕННЫМ
РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ
(TDM)

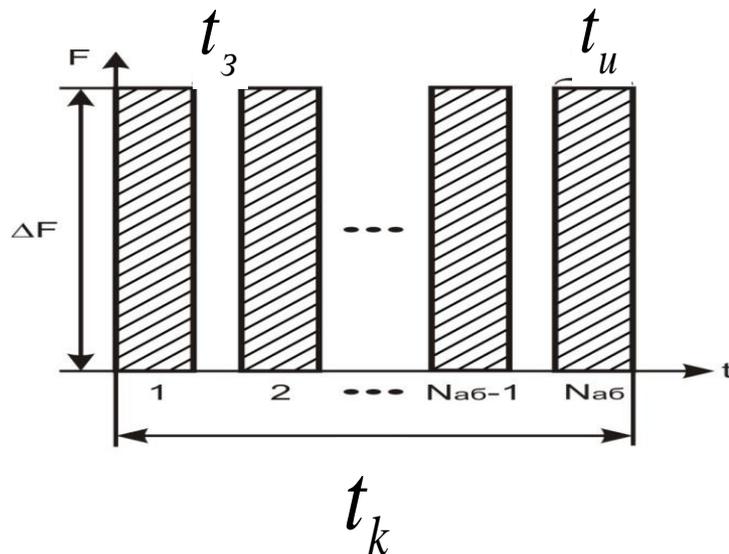


МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Многоканальные системы с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing - TDM) -

пользователям выделяются периодические временные интервалы;

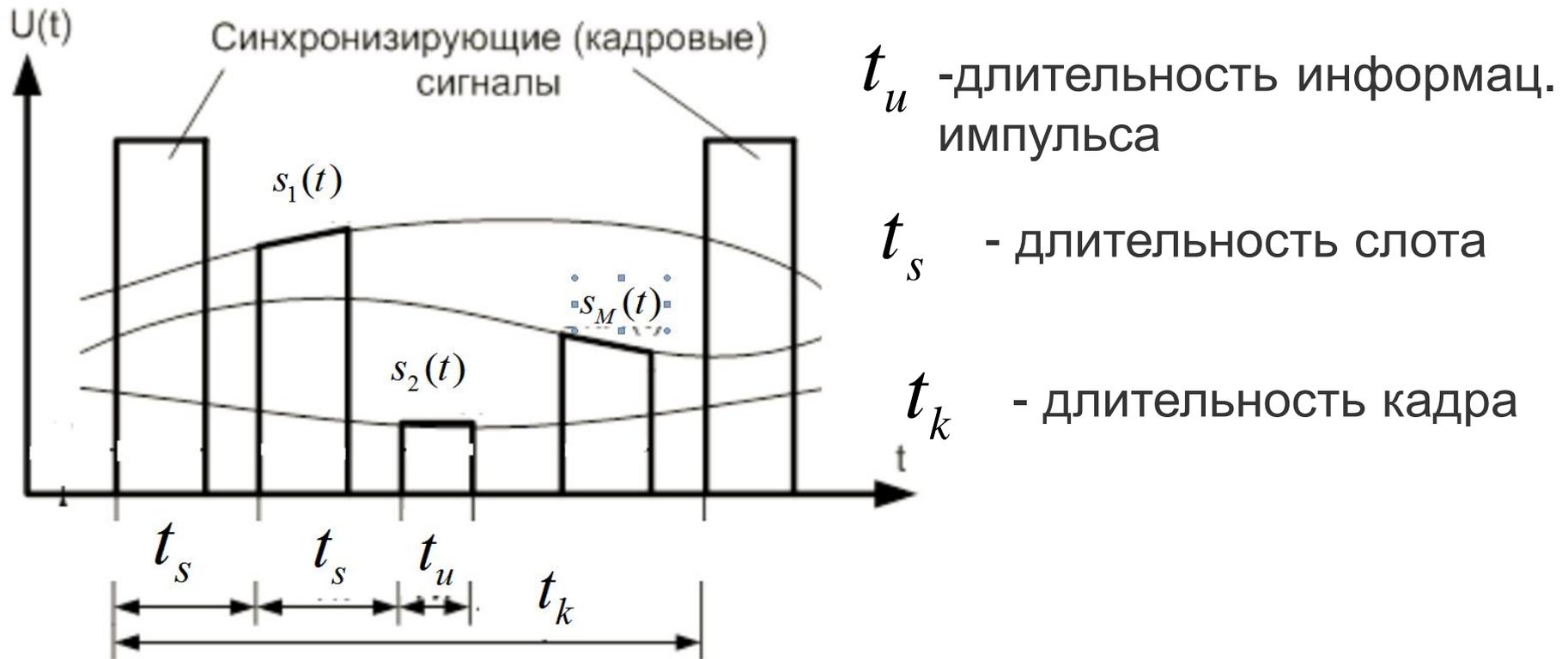
- пользователям предоставляется ограниченное время для СВЯЗИ;



может быть реализован
только в цифровой форме

наиболее широко используется
в компьютерных сетях

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (TDM)



Длительность кадра: $t_k = (M + 1)t_s$; $t_s > t_u$

СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ С ВРЕМЕННОМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (TDM)

Каждый из сигналов сдвинут по времени относительно предшествующего на интервал, равный индивидуальной длительности сигнала

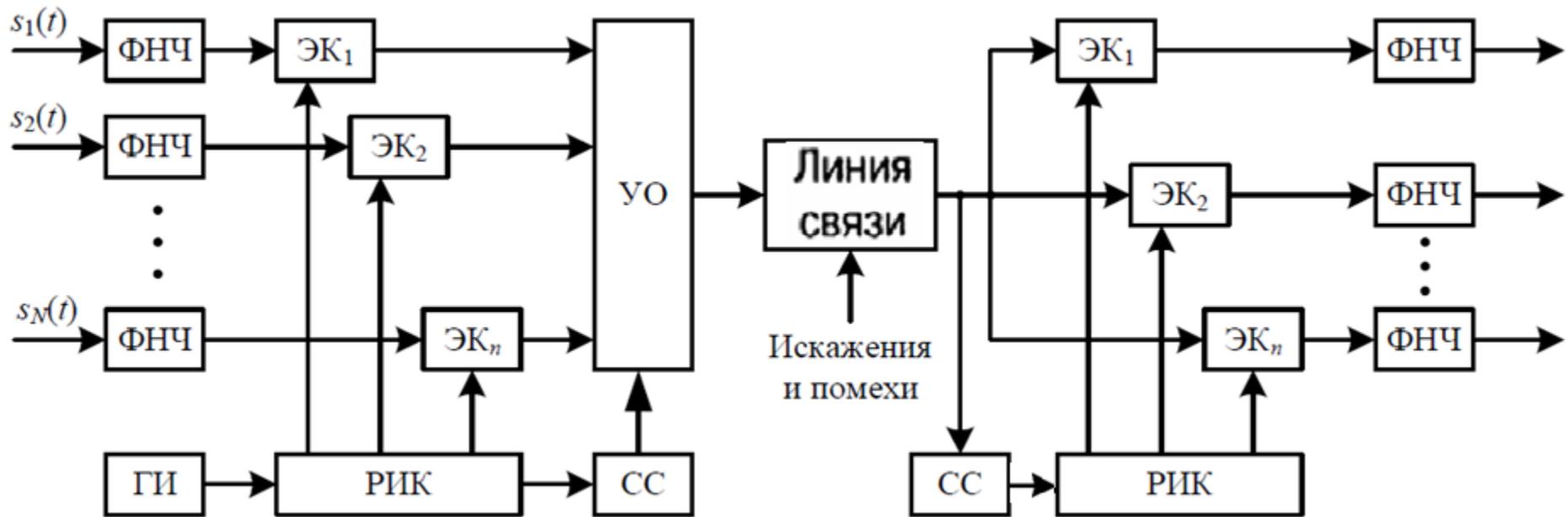
Не перекрывающиеся во временной области сигналы являются ортогональными



$$\int_{-\infty}^{\infty} s_i(t) s_j(t) dt = 0, \quad i \neq j$$

Взаимные временные сдвиги сигналов приведут к потере ортогональности и межканальным (переходным) помехам

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (TDM)



ключи ЭК₁ ,..., ЭК_N,
осуществляют дискретизацию
этих сигналов

ключи ЭК₁ ,..., ЭК_N,
осуществляют разделение
канальных сигналов

РИК - *распределитель импульсов каналов*

ЗАЩИТНЫЙ ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ

Необходимость защитного интервал в TDM обусловлена

- переходными процессами в канале;
- переходными процессами при включении/выключении передатчика;
- взаимным перемещении приемника и передатчика
- нестабильностью системных часов и т.п.

ВЫВОДЫ (TDM)

1. Канальные сигналы являются ортогональными при неперекрывающихся временных интервалах
2. Канальные сигналы не остаются ортогональными при взаимных временных сдвигах
3. В системах с временным разделением необходима синхронизация
4. TDM не обеспечивает непрерывный доступ к каналу связи. Время доступа равно длительности интервала слота

МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Многоканальные системы с кодовым разделением каналов (Code Division Multiplexing - CDM)

- выделяются определенные элементы набора ортогональных кодов, каждый из которых использует весь диапазон частот.

Достоинства:

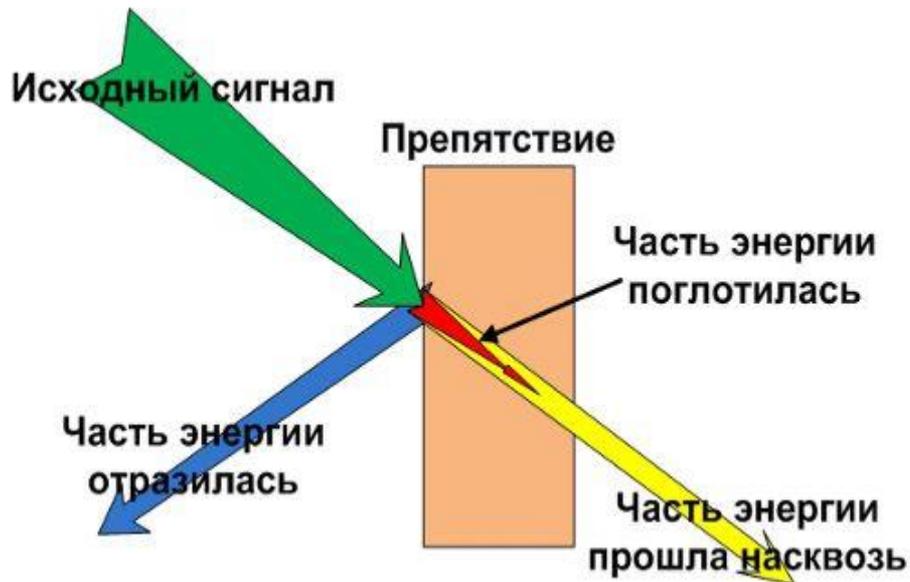
- повышенная защищенности и скрытности передачи данных

- более эффективное использование диапазона частот (каждому передатчику присваивается свой индивидуальный код).

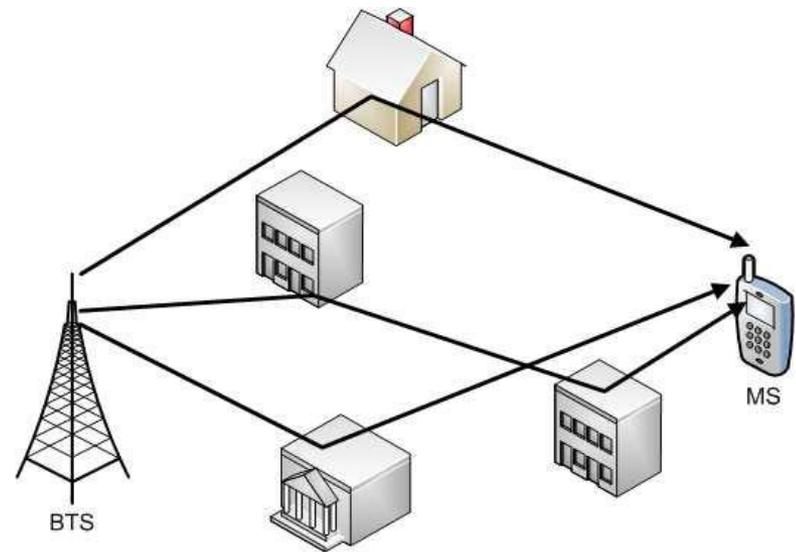
Недостаток - сложность технической реализации приемников и необходимость обеспечения точной синхронизации передатчика и приемника для гарантированного получения пакета.

МНОГОЛУЧЕВОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ

$f > 100$ МГц



Распределение энергии сигнала при взаимодействии с препятствием



Пример многолучевого распространения сигнала

МНОГОЛУЧЕВОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Пример.

Пусть используется одна несущая. Скорость передачи $V = 100$ Мбит/с.

Длительность импульса (исходя из скорости) $T_i = 10^{-8}$ с.

Если время задержки прихода второго луча равно длительности импульса, то этот луч накладывается на следующий импульс.

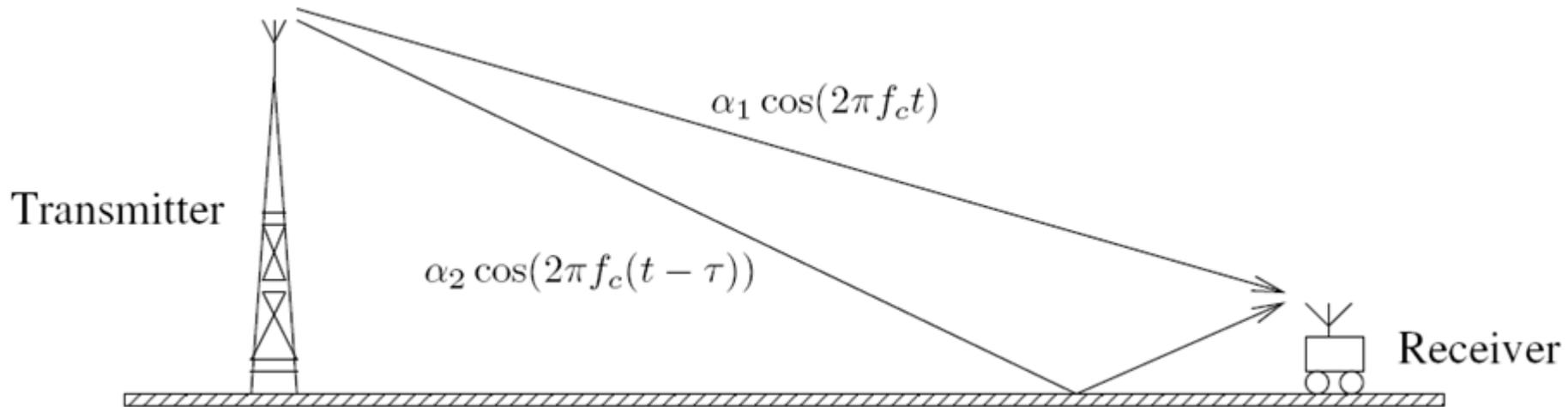
Разность хода лучей равна

$$S = C * T_i = 3 * 10^8 (\text{м/с}) * 10^{-8} \text{ с} = 3 \text{ м.}$$

Если $T_i = 10^{-6}$ с, то $S = 300$ м.

Если $T_i = 10^{-5}$ с, то $S = 3000$ м.

МОДЕЛЬ КАНАЛА С ДВУМЯ ПУТЯМИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ



МОДЕЛЬ КАНАЛА С ДВУМЯ ПУТЯМИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

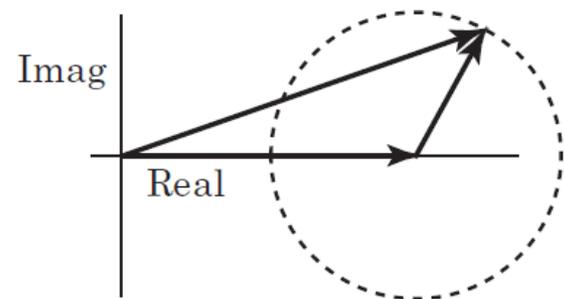
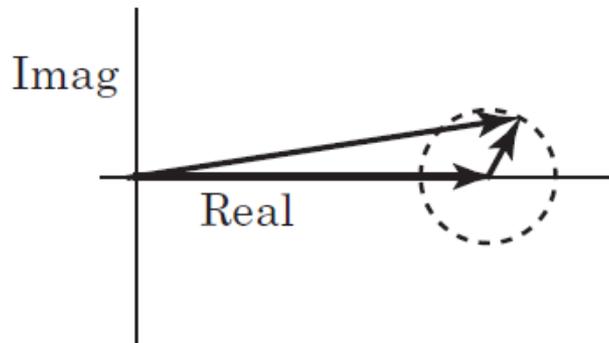
Сигнал на входе приемника при отсутствии шума

$$r(t) = \alpha_1 \cos(2\pi f_c t) + \alpha_2 \cos(2\pi f_c(t - \tau)),$$

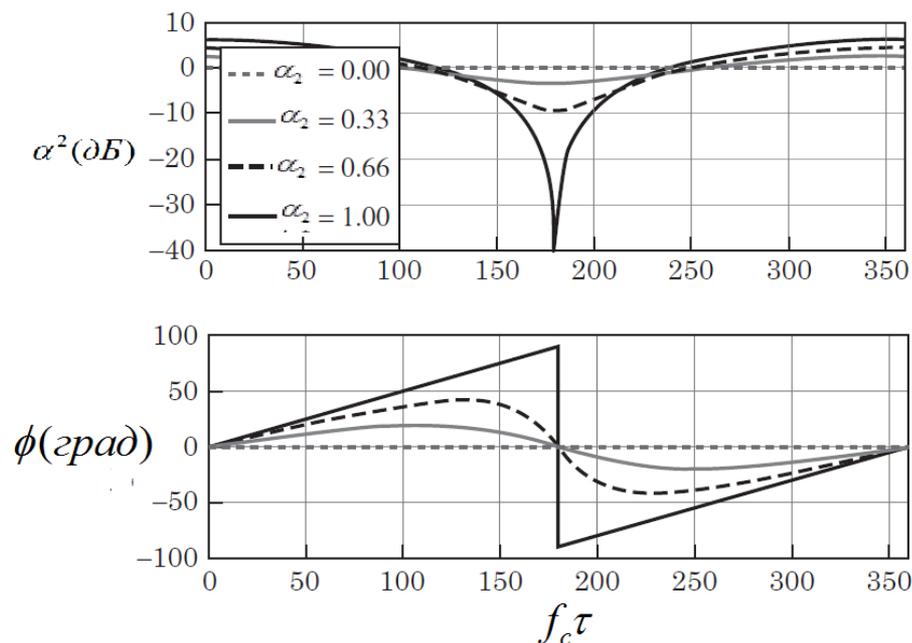
$$r(t) = \alpha \cos(2\pi f_c t + \phi),$$

$$\alpha = \sqrt{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + 2\alpha_1\alpha_2 \cos(2\pi f_c \tau)}$$

$$\phi = -\tan^{-1} \left[\frac{\alpha_2 \sin(2\pi f_c \tau)}{\alpha_1 + \alpha_2 \cos(2\pi f_c \tau)} \right]$$



АМПЛИТУДА И ФАЗА СИГНАЛА НА ВХОДЕ ПРИЕМНИКА



Энергетический проигрыш, вызванный замираниями, измеряется десятками децибел.

1. Для сохранения ОСШ необходимо повышать мощность передатчика - увеличиваются размеры антенн и т. д., т.е. это требует больших дополнительных затрат.

2. Для борьбы с замираниями вместо увеличения мощности передатчика и т. п. можно воспользоваться более сложными методами модуляции и приема.

МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ НЕСУЩИХ ЧАСТОТ

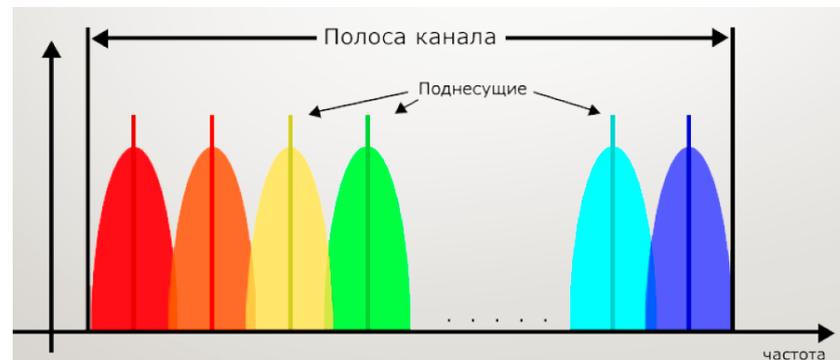
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) -

весь доступный частотный диапазон разбивается на достаточно много поднесущих (от нескольких сот до тысяч).

- Одному каналу связи (приемнику и передатчику) назначают для передачи несколько таких несущих, выбранных из множества по определенному закону.

- Передача ведется одновременно по всем поднесущим, т. е. в каждом передатчике исходящий поток данных разбивается на N субпоток, где N - число поднесущих, назначенных данному передатчику.

СПЕКТР OFDM СИГНАЛА



ДОСТОИНСТВА OFDM

- селективному замиранию будут подвержены только некоторые подканалы, а не весь сигнал;
- позволяет подавить межсимвольную интерференцию за счет снижения скорости передачи на поднесущей в N раз, что приводит к увеличению времени передачи символа в N раз;
(При проектировании системы N выбирается таким образом, чтобы величина NT_s значительно превышала среднеквадратичный разброс задержек канала)
- простая реализация методами цифровой обработки;
- возможность использования различных схем модуляции для разных поднесущих, что позволяет адаптироваться к условиям распространения сигнала и к различным требованиям к качеству принимаемого сигнала.

НЕДОСТАТКИ OFDM

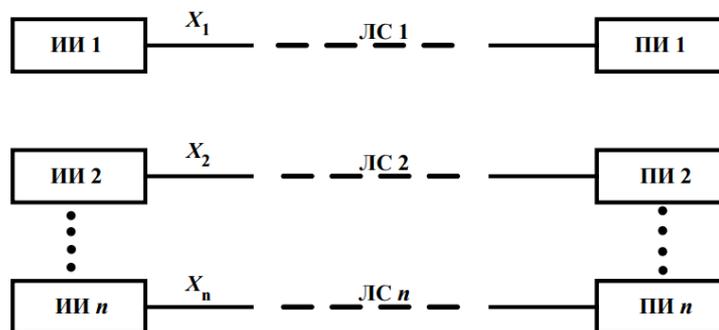
- необходима высокоточная синхронизация по времени и по частоте;
- использование защитных интервалов снижает эффективность метода.

Метод **OFDM** используется в Wi-Fi, цифровом телевизионном вещании DVB (*Digital Video Broadcasting*) и в звуковом вещании DRM (*Digital Radio Mondiale*).

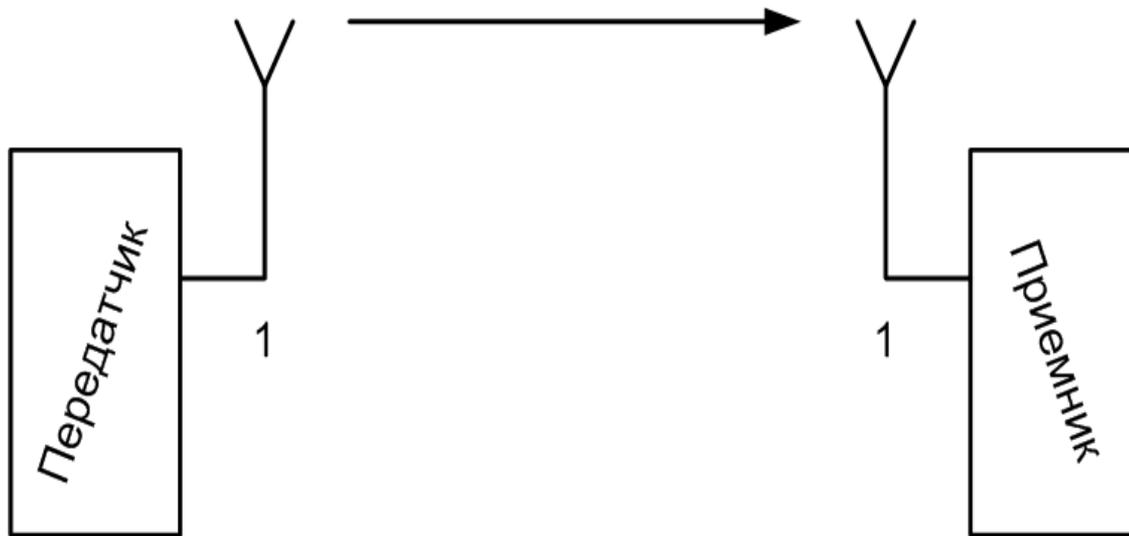
МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Space Division Multiple Access (SDMA):

- с помощью точечных лучевых антенн радиосигналы разделяются и направляются в разные стороны;
(возможно многократное использование одного частотного диапазона)
- адаптивные антенные системы (Adaptive Antenna System (AAS)) в соответствии с заложенным алгоритмом формируют требуемые диаграммы направленности, как на прием, так и на передачу (например, сформировать максимум ДНА в направлении на источник передачи информации и минимум на источник помех)



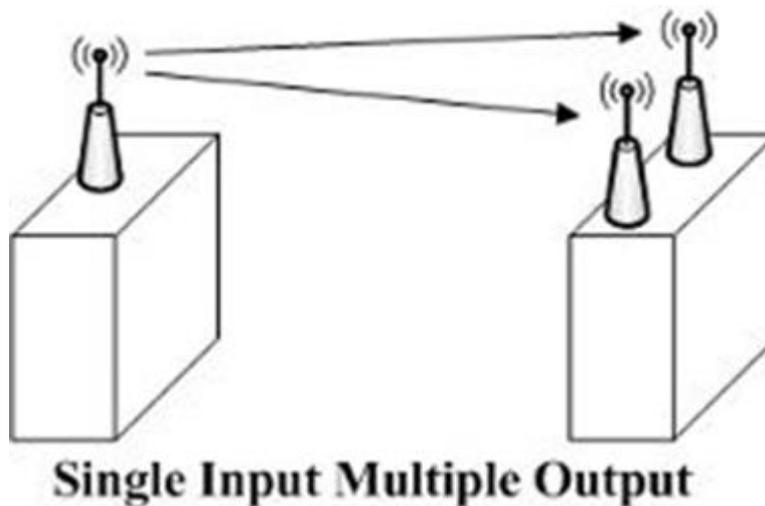
КЛАССИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (SISO - SINGLE INPUT SINGLE OUTPUT)



Пропускную способность SISO можно рассчитать, используя формулу Шеннона

РАЗНЕСЕННЫЙ ПРИЕМ. ТЕХНОЛОГИЯ SIMO 1*2

Смысл разнесенного приема состоит в том, что он сокращает динамический диапазон флуктуаций ОСШ (особенно снижает вероятность «глубоких замираний», когда уровень принимаемого сигнала мал).



- Не происходит увеличение пропускной способности.
- Не требует специальной подготовки сигнала при передаче.
- Повышается надежность передачи за счет разных способов обработки сигналов.

ТЕХНОЛОГИЯ SIMO. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЗА СЧЕТ НАКОПЛЕНИЯ

Переданный символ x принимается на две антенны:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = x + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix}$$

Простейший способ оценить переданный символ

$$\hat{x} = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

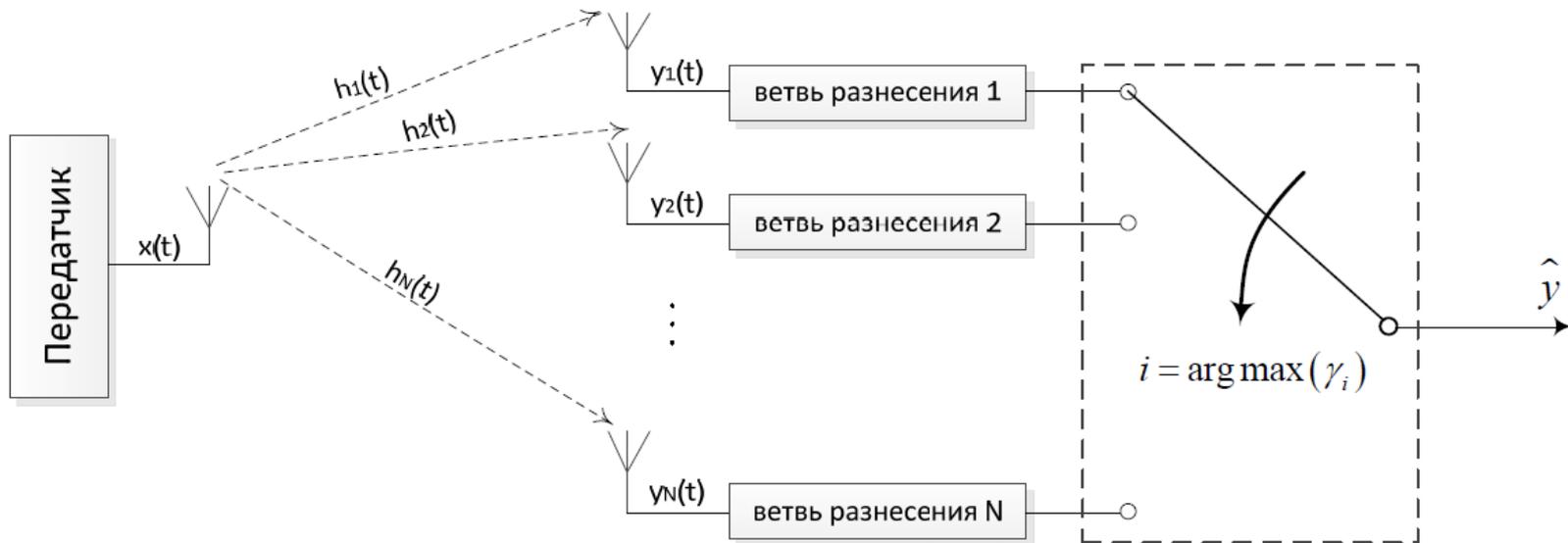
Дисперсия суммы двух независимых СВ

$$D[n_\Sigma] = \sum_{i=1}^N c_i^2 D[n_i] \qquad D\left(\frac{n_1 + n_2}{2}\right) = \frac{D_1}{2}$$

Дисперсия шума в случае двух приемных антенн (SIMO 1*2) оказывается в два раза меньше, чем в случае одной приемной антенны (SISO)

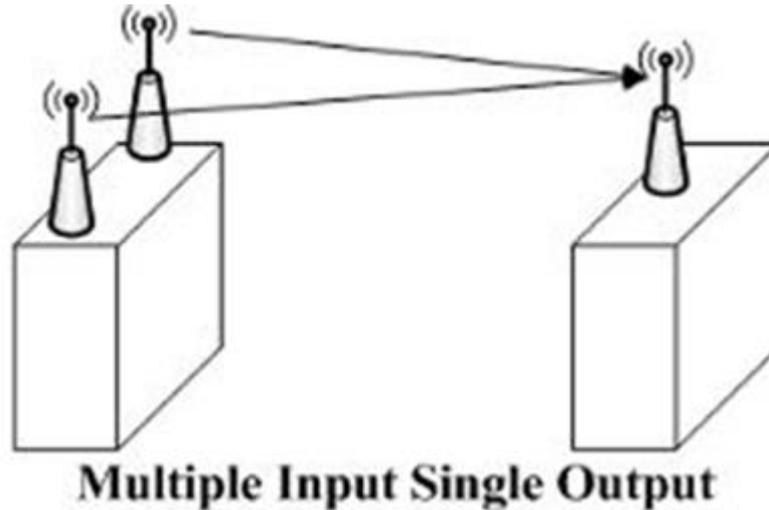
ТЕХНОЛОГИЯ SIMO. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЗА СЧЕТ АВТОВЫБОРА

Метод «переключения» (автовывбор) - каждый момент времени на выход системы подается наиболее сильный из принятых сигналов.



Автовывбор позволяет существенно снизить глубину замираний по сравнению с той, которая наблюдается по каждому отдельному сигналу

РАЗНЕСЕННАЯ ПЕРЕДАЧА. ТЕХНОЛОГИЯ MISO



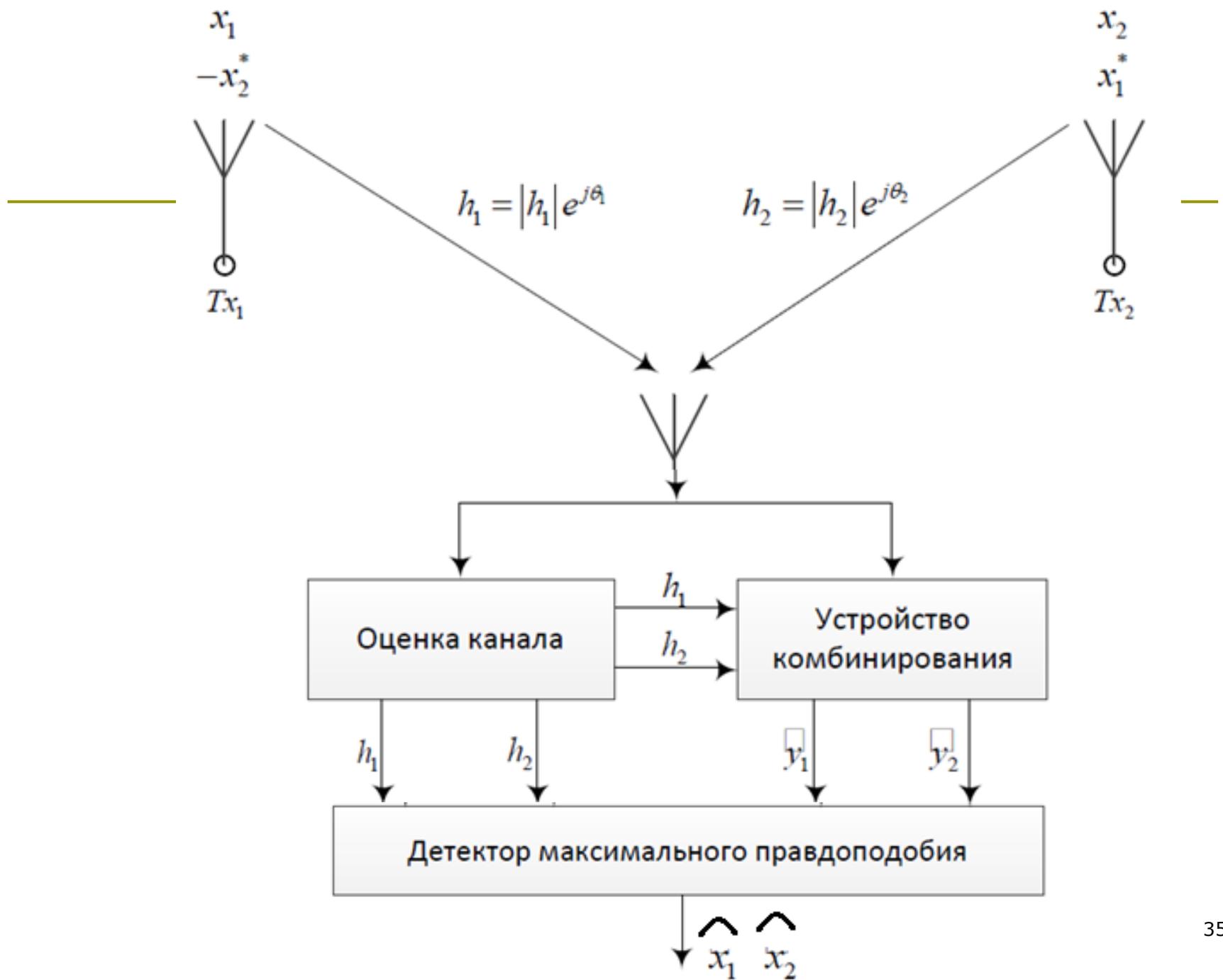
- Не происходит увеличение пропускной способности.
- Позволяет перенести необходимую дополнительную обработку сигнала с приемной стороны (мобильной станции) на передающую (базовую станцию).
- Используется пространственно-временное кодирование.

ТЕХНОЛОГИЯ MISO 2*1

Пространственно-временное кодирование (ПВК) передаваемых символов x_i осуществляется на передающей стороне, а комбинирование принимаемых сигналов y_i осуществляется на приемной стороне.

Копия сигнала передается не только с другой антенны, но и в другое время.

Время	ПВК передаваемых символов x_i	
	Передающая антенна 1 (Tx1)	Передающая антенна 2 (Tx2)
$t_1 = t$	x_1	x_2
$t_2 = t + T$	$-x_2^*$	x_1^*
$t_3 = t + 2T$	x_3	x_4
$t_4 = t + 3T$	$-x_4^*$	x_3^*



ТЕХНОЛОГИЯ MISO 2*1

ПХ канала связи:

$$H = [h_1 \quad h_2]$$

Передаваемый сигнал:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{bmatrix}$$

Сигнал на выходе УК:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = HS + N = \begin{bmatrix} h_1 x_1 + h_2 x_2 + n_1 \\ -h_1 x_1^* + h_2 x_2^* + n_2 \end{bmatrix}$$

Первичная оценка:

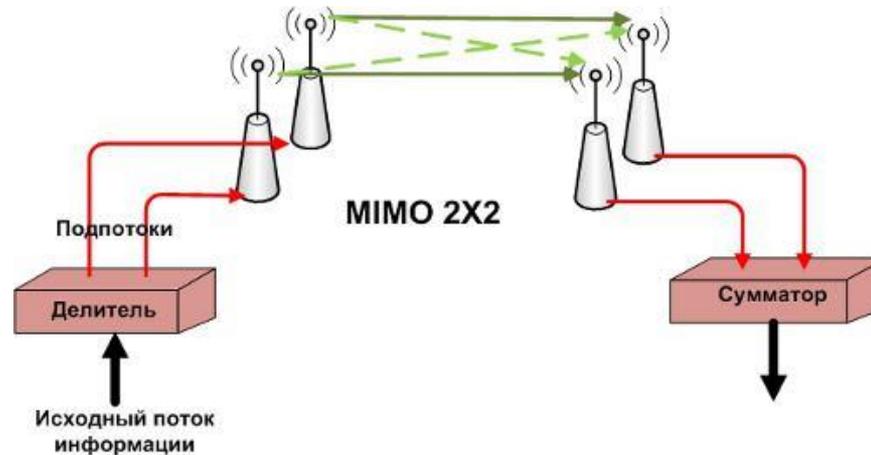
$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_1 h_1^* + y_2 h_2}{|h_1|^2 + |h_2|^2} \\ \frac{y_1 h_2^* - y_2 h_1}{|h_1|^2 + |h_2|^2} \end{bmatrix}$$

Итоговая оценка:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \min_{x \in \{0,1\}} d(x, x_1) \\ \min_{x \in \{0,1\}} d(x, x_2) \end{bmatrix}$$

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ. ТЕХНОЛОГИЯ MIMO

MIMO (Multiple Input Multiple Output) – многоэлементные антенные системы на прием/передачу



- На передающей стороне, и на приёмной стороне используются многоэлементные антенны или антенные решетки.
- Многоэлементные антенны могут быть использованы для адаптивного формирования луча диаграммы направленности таким образом, чтобы сосредоточить энергию в направлении определенного абонента.
- Многоэлементные антенны могут быть использованы для формирования нескольких параллельных потоков данных.

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ. ТЕХНОЛОГИЯ МІМО

Совместное использование эффектов пространственного разнесения, пространственного мультиплексирования и формирования луча диаграммы направленности позволяет:

- повысить помехоустойчивость системы (уменьшить вероятность ошибки) за счет эффективной борьбы с многолучевым распространением сигналов
- повысить скорость передачи информации в системе;
- увеличить зону покрытия;
- уменьшить требуемую мощность передатчика

Эти свойства систем МІМО не могут быть реализованы одновременно.

При разработке конкретной системы связи необходимо находить компромисс.

МНОГОКАНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ. ТЕХНОЛОГИЯ MIMO

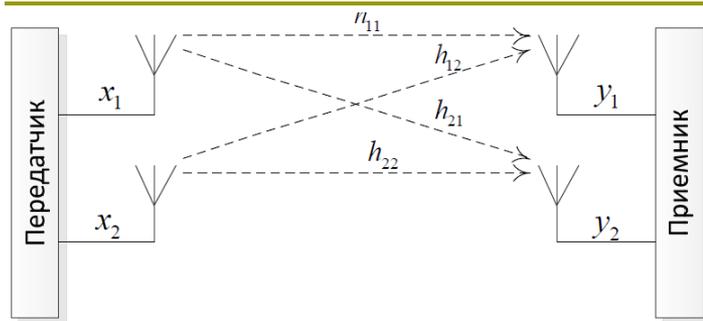
Например, увеличение скорости передачи информации:

- входной поток данных разбивают на несколько потоков, каждый из которых независимо передается с отдельной антенны
- приводит к увеличению вероятности ошибки или к увеличению излучаемой мощности передатчика.

4G предусматривают использование MIMO до 8x8 - передача данных от базовой станции к абоненту свыше 300 Мбит/сек

Разрабатываются новые варианты конфигурации антенн - вплоть до 64x64 MIMO

ТЕХНОЛОГИЯ МІМО 2*2



$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix}$$

h_{ij} – ИХ радиоканала между i -й приемной и j -й передающей антеннами

Сигналы, принятые на 1-ю и 2-ю приемные антенны:

$$y_1 = h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_1 = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + n_1$$

$$y_2 = h_{21}x_1 + h_{22}x_2 + n_2 = \begin{bmatrix} h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + n_2$$

→ $\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n}$

Необходимо решить систему линейных уравнений, например, методом минимизации среднего квадрата ошибки