

Широкополосные системы СВЯЗИ

Лекция 10

К определению

- В широкополосных системах связи в отличие от (узкополосных) систем связи, использующих простые сигналы, элемент сигнала не является отрезком гармонического колебания, а имеет более сложную форму
- Иногда такие сигналы называют псевдошумовыми, или шумо-подобными

Схожие обозначения

- ШПС – широкополосная связь
- ШПС – шумоподобные сигналы

К понятию широкополосности

- В основе лежит использование в канале связи для переноса информации нескольких различных реализаций этих сигналов, разделение которых на приеме осуществляется путем селекции по форме (коду)
- Уверенное разделение может быть получено при введении частотной избыточности, т.е. использование для передачи сообщений полосы частот, существенно более широкой, чем занимает передаваемое сообщение

Пример

- Для локальных беспроводных сетей передачи данных (WLAN) по стандарту IEEE 802.11b, работающих в диапазоне частот 2,4 ГГц, для одного канала (абонента) выделяется полоса 22(20) МГц

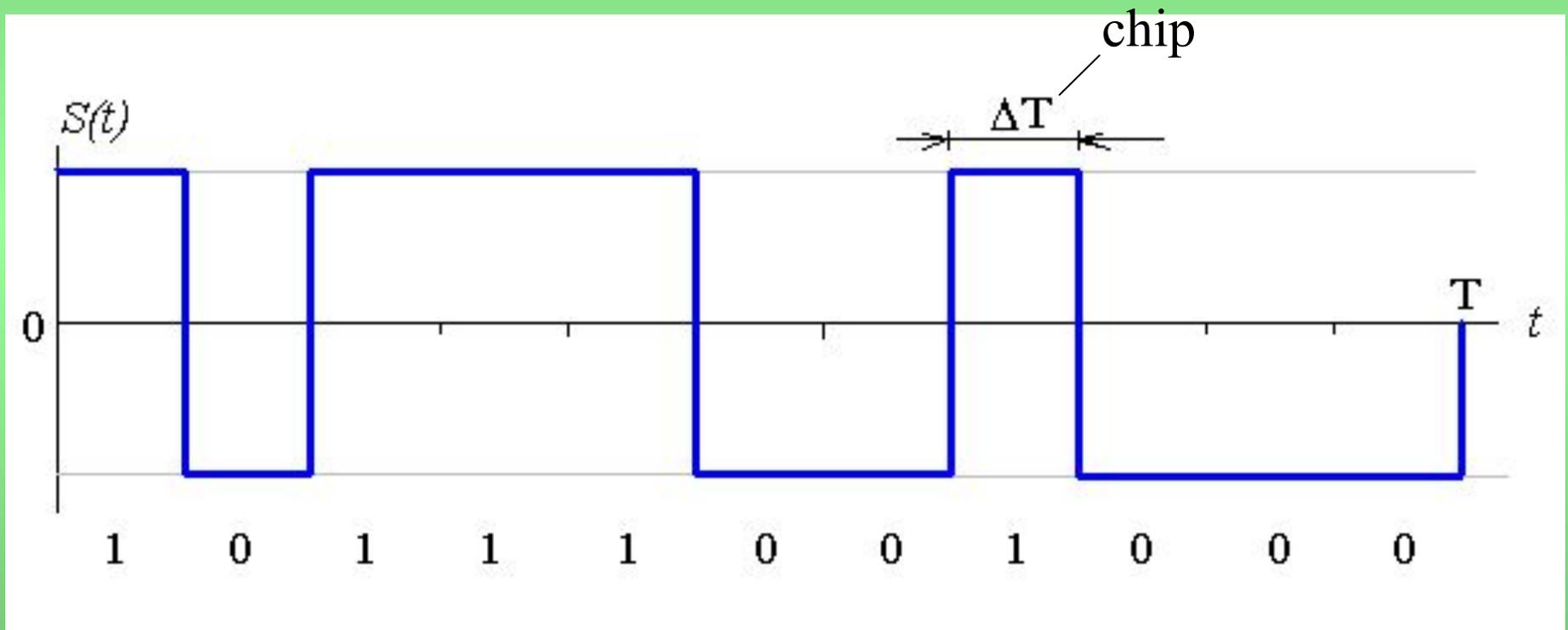
Преимущества

- Можно отказаться от разделения рабочих частот, и все передатчики **могут работать одновременно** (их разделения осуществляется по кодам – форме сигнала)
- С уменьшением числа работающих станций **помехоустойчивость** действующих автоматически возрастает

Возможность «свертки»

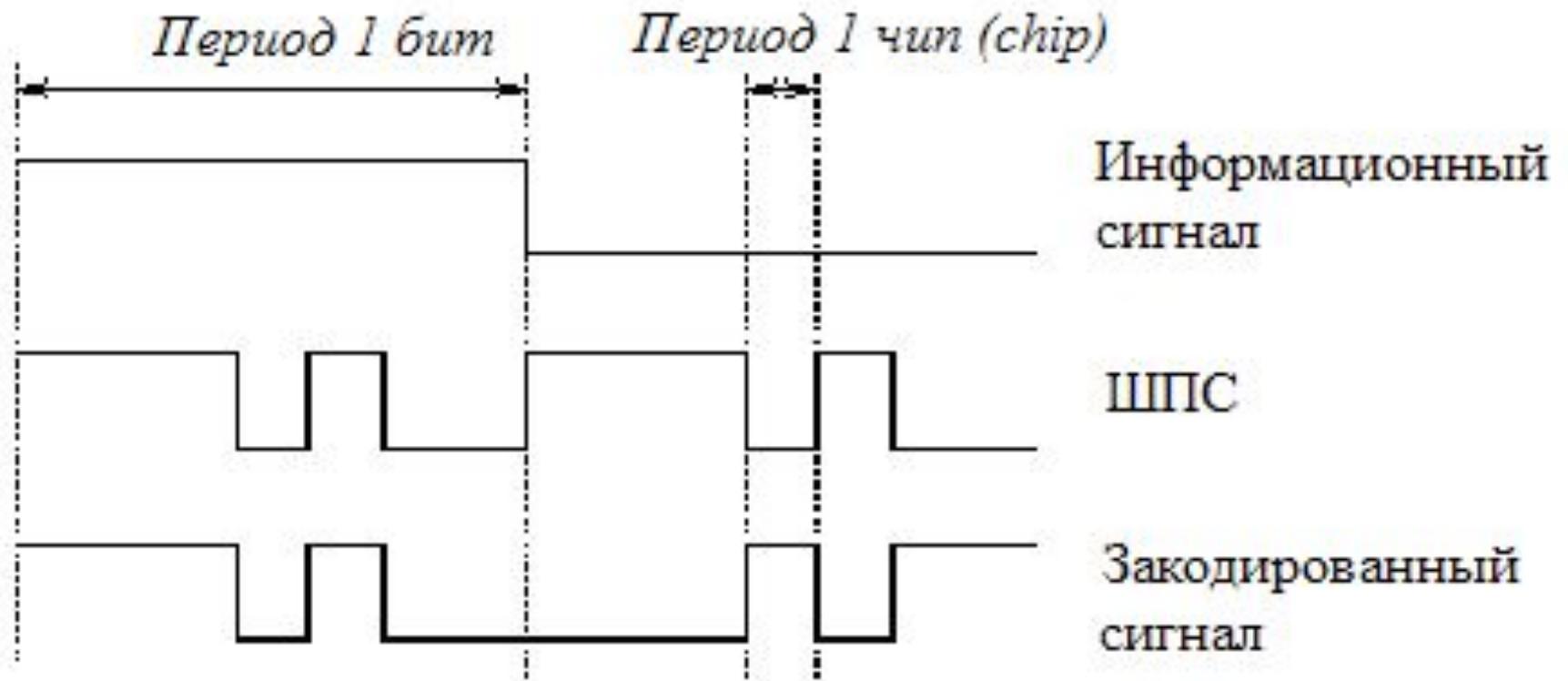
- Широкополосный шумоподобный сигнал благодаря своим хорошим корреляционным свойствам может быть «свернут» в узкий импульс, длительность которого обратно пропорциональна используемой ширине полосы частот

Широкополосный сигнал из 11 элементарных импульсов



Общая длительность импульса T

Расширение спектра



Кодирование псевдослучайной последовательностью

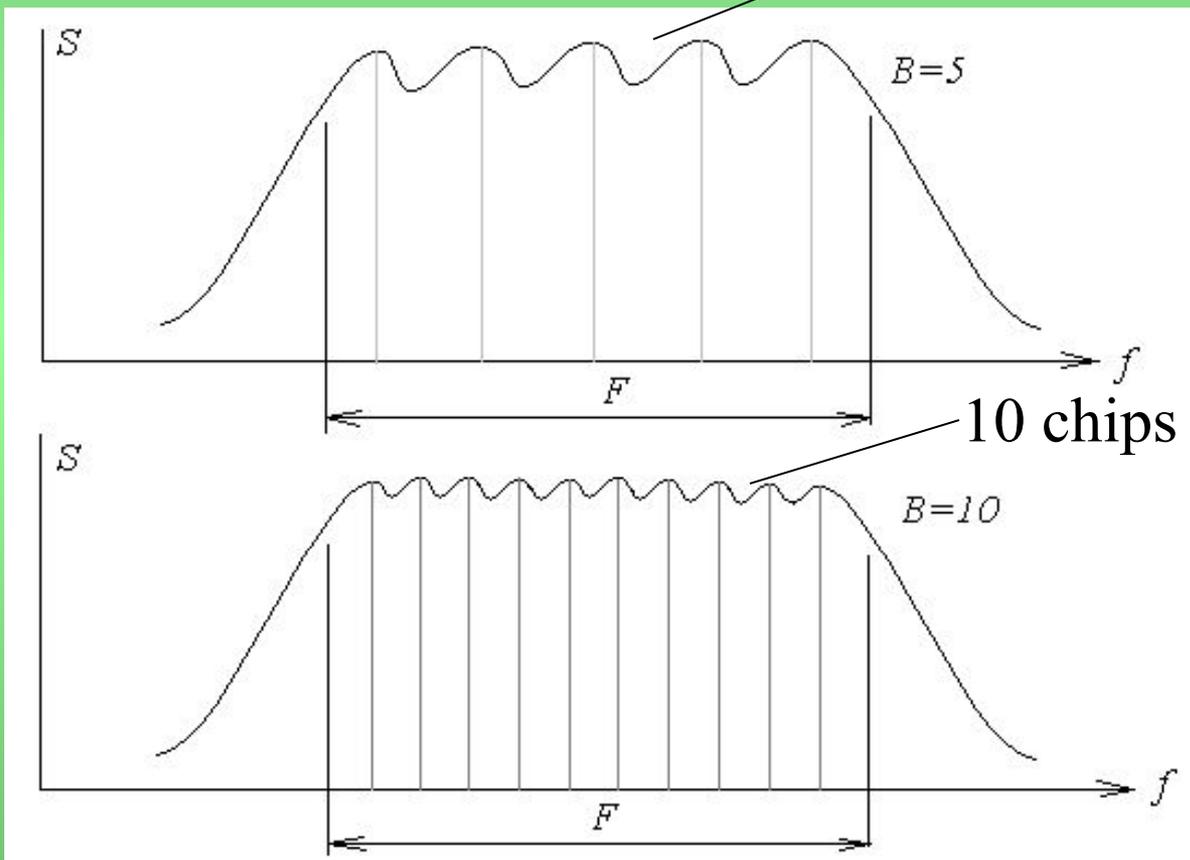
Исходная информация	100101101000110
Шифрующая ПСП	010010110011100
Зашифрованная информация	110111011011010
Дешифрующая ПСП	010010110011100
Расшифрованная информация	100101101000110

Определение базы сигнала, B

- Произведение полосы частот, в которой содержатся дискретные составляющие сигнала и основная часть его энергетического спектра, на длительность дискретного элемента, $B=FT$
- Величина базы сигнала характеризует отношение ширины спектра сигнала (F), зависящей от способа кодирования сигнала, к ширине спектра сообщения, определяемого скоростью передачи ($1/T$)

К определению базы сигнала

5 chips - база



10 chips - база

Чем сложнее кодировка, тем шире база

Доступ с кодовым разделением

- Максимальное число каналов при кодовом разделении в полосе Δf есть $n = B/h^2$, где h^2 – отношение мощностей сигнал-шум для достижения заданной помехоустойчивости ($h^2 = 4-6$ дБ при помехоустойчивости кодирования со скоростью кодирования $r_k = 1/2$)

При разделении по времени или частоте

- Для систем с МДРЧ (и МДВР) число каналов связи в полосе F есть $n = F / \Delta f_k$, где Δf_k – полоса частот, занимаемая одним каналом
- Для четырехфазной модуляции сигналов (при $r_k = 1/2$) получим $n \approx FT = B$, где T – длительность информационного импульса

Увеличение базы

- Наиболее эффективным **способом построения сигналов** с большой базой является **расширение полосы** частот F Общая полоса
- Увеличение длительности T влечет за собой **уменьшение скорости передачи**
- Сигналы, база которых имеет порядок единицы $FT \sim 1$, называют узкополосными или элементарными сигналами

$$B = FT - \text{база сигнала}$$

$$n = B/h^2$$

CDMA

- МДКР – множественный доступ с кодовым разделением.
- МДЧР - ... с частотным ...
- МДВР - ... с временным ...

Сравнение методов разделения каналов

- Таким образом, при МДКР число возможных каналов связи в четыре раза меньше по сравнению с системами с МДРЧ и МДВР
- Требуемая величина h^2 для МДКР больше требуемой величины $h^2 = P_c \tau / N_0$ для МДЧР или МДВР

Преимущества

- Главным преимуществом использования широкополосных сигналов является то, что они дают возможность разделить пришедший к приемнику суммарный многолучевой сигнал на отдельные сигналы, пришедшие по разным путям
- Получение широкополосного сигнала может быть осуществлено с помощью специальных видов модуляции или манипуляции

Помехоустойчивость

- Помехоустойчивость широкополосных систем при флуктуационном шуме не ниже помехоустойчивости узкополосных систем с равной энергией используемых сигналов
- В многолучевых каналах надежность и эффективность широкополосных систем может значительно превышать характеристики узкополосных систем

Широкополосные системы обеспечивают скрытность:

- Факта работы передатчика
- Факта наличия в передаваемом сигнале информации
- Самой информации

Узкополосный и широкополосный сигналы



Скрытие с очень хорошими корреляционными характеристиками.

Кодовое разделение сигналов

- Для переноса широкополосных сигналов по каналам связи предложено использовать шумоподобные несущие
- Используется кодовая модуляция (модуляция по форме) сигнала, когда сигналы, представленные разными функциями времени, могут занимать одну и ту же полосу частот и передаваться одновременно

Специальный подбор сигналов

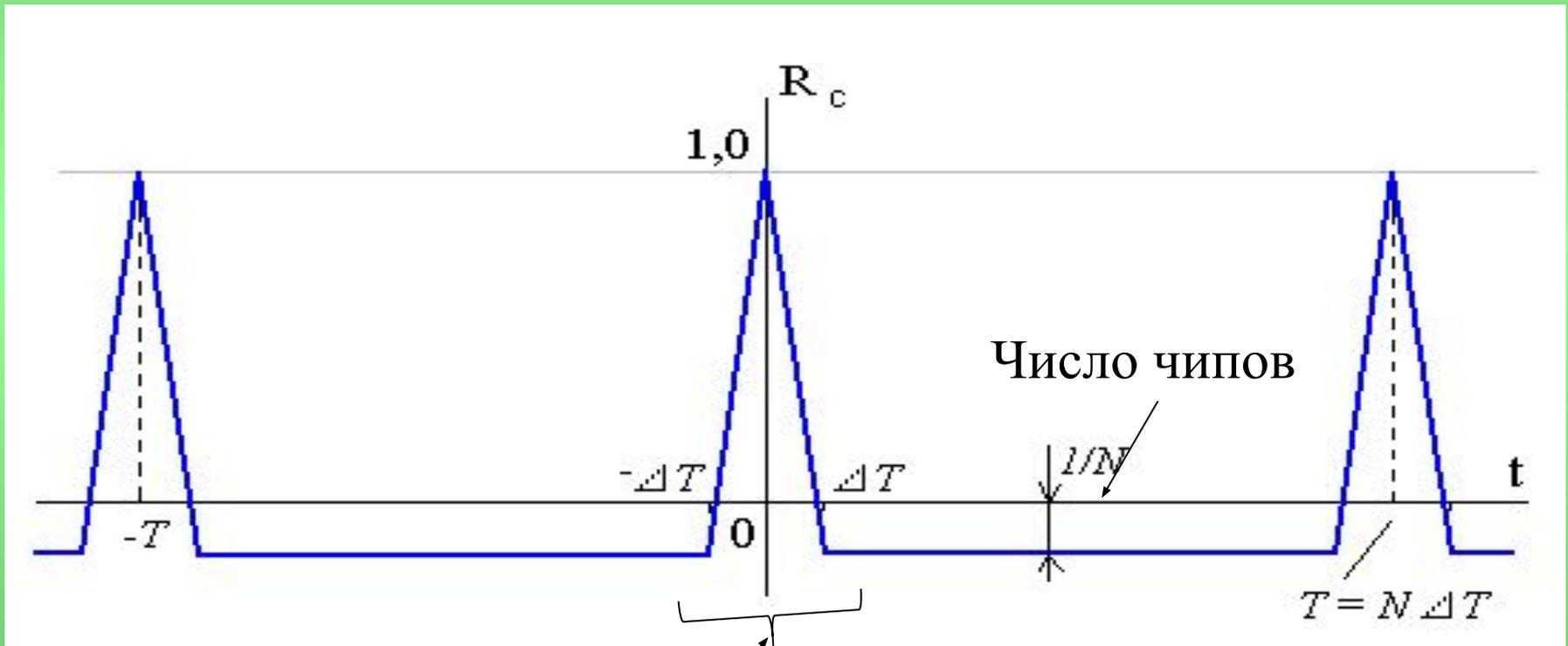
- Прием и обнаружение разделенных кодами сигналов осуществляется с помощью корреляторов или согласованных фильтров
- Сигналы, позволяющие осуществлять модуляцию и секцию таким образом, должны обладать хорошими корреляционными свойствами

Некоторые термины

- ШПС(pseudo-noise, PN) шумоподобный сигнал – сигнал с шумоподобными характеристиками
- Коррелятор (correlator) – приемник сигнала, анализирующий и обрабатывающий широкополосный шумоподобный сигнал
- Свертывание, сжатие спектра (de-spreading) – преобразование широкополосного сигнала в информационный узкополосный

Вид автокорреляционной функции

функции

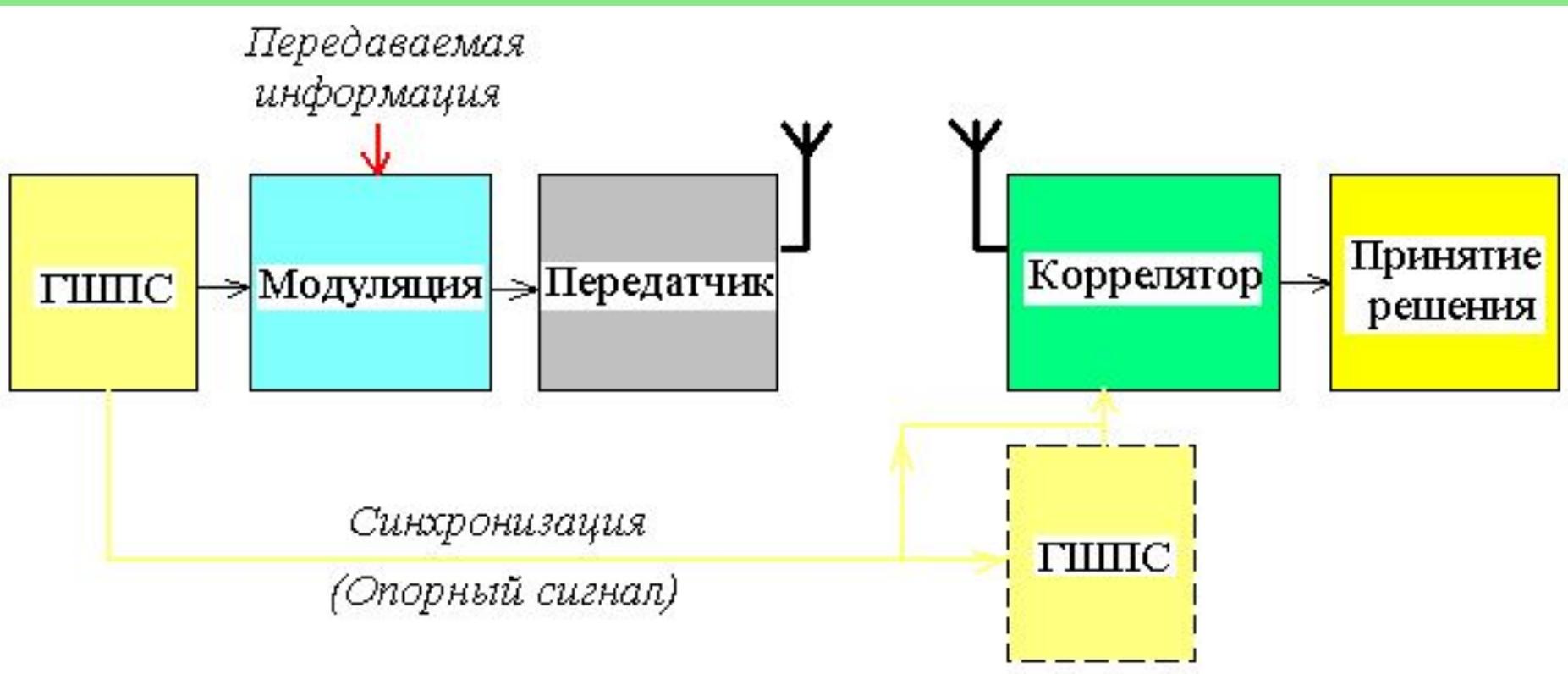


Длительность пика пропорциональна
длительности чипа

Выигрыш корреляторной обработки

- Это коэффициент, показывающий во сколько раз отношение сигнал/шум на выходе увеличивается по сравнению с аналогичным соотношением на входе
$$G_p = (S/N)_{out} / (S/N)_{in}$$
- Иногда используют другой параметр, определяющий отношение РЧ полосы (ШПС) к ширине полосы модулирующего сигнала
$$G = BW_{PN} / BW_M$$

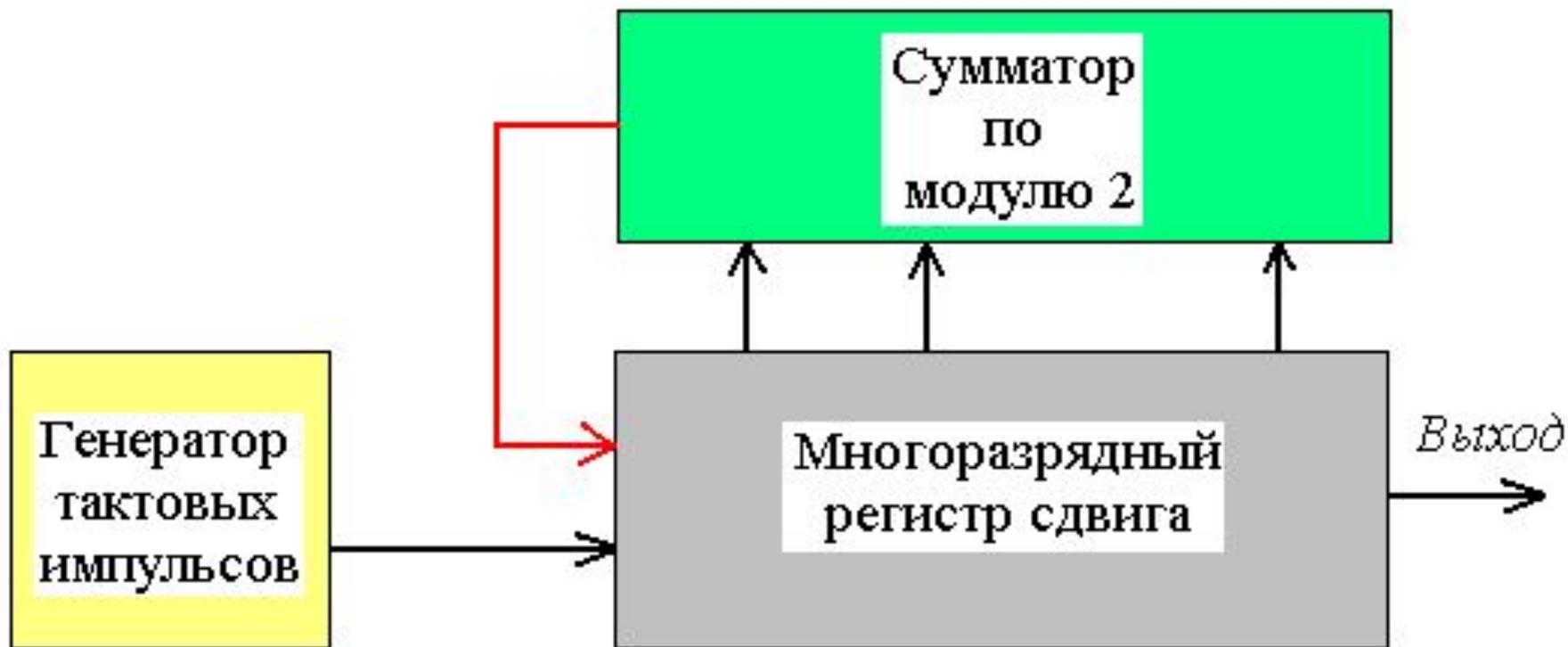
Система связи с ШПС



Периодическая шумоподобная несущая

- Опорный сигнал от генератора ШПС в точку приема можно передавать **по отдельному тракту**, но такой вариант сложен
- Чаще используют **два идентичных генератора ШПС**, генерирующие одинаковые детерминированные сигналы, длительность которых значительно превышает длительность информационного сообщения
- В этом случае необходима **жесткая синхронизация** генераторов

Формирование псевдослучайной последовательности



Сигналы в системе

- Информационный $S(t)$
- С расширенным спектром $S(t)PN(t)$
- Сигнал в свободном пространстве

psevdo noise

$$S(t)PN(t) + NBI(r) + WBI(r) + MP(r) + n(t)$$

Сигнал приходит (все умножается на

$$\begin{aligned} & \text{псевдошум) } S(t)PN(t)*PN(t) + \\ & NBI(r)*PN(t) + WBI(r)*PN(t) + \\ & MP(r)*PN(t) + n(t)*PN(t) \end{aligned}$$

$NBI(R)$ – узкополосная интерференция, $WBI(r)$ – широкополосная интерференция, $MP(r)$ – многолучевость, $N(t)$ – шум, $n(t)$ -

Расшифрованный сигнал

- Последовательность действий

$$u(t) = S(t)PN(t)PN(t) + NBI(t)PN(t) + WBI(t)PN(t) + MP(t)PN(t) + n(t)PN(t)$$

- $u(t) = S(t) + NBI(t)PN(t) + WBI(t)PN(t) + MP(t)PN(t) + n(t)PN(t)$
- $u(t) = S(t) + N(t)$
- С учетом корреляции $PN(t)PN(t)=1$

Схема преобразований

Мощность



Генерация последовательностей

Регистр сдвига, бит	Обратные связи от разрядов
4	[4, 1]
6	[6, 1], [6, 5, 3, 2], [6, 5, 2, 1]
8	[8, 4, 3, 2], [8, 6, 5, 3], ... [8, 7, 6, 5, 2, 1], [8, 6, 4, 3, 2, 1]

- Много разрядов увеличивается величина рандомизации.

Свойства

- Для регистра длиной n разрядов число символов (длина кода) до повторения $L=2^n-1$ бит.

Пример полиномиального представления кода $p(x)=1+x+x^3$

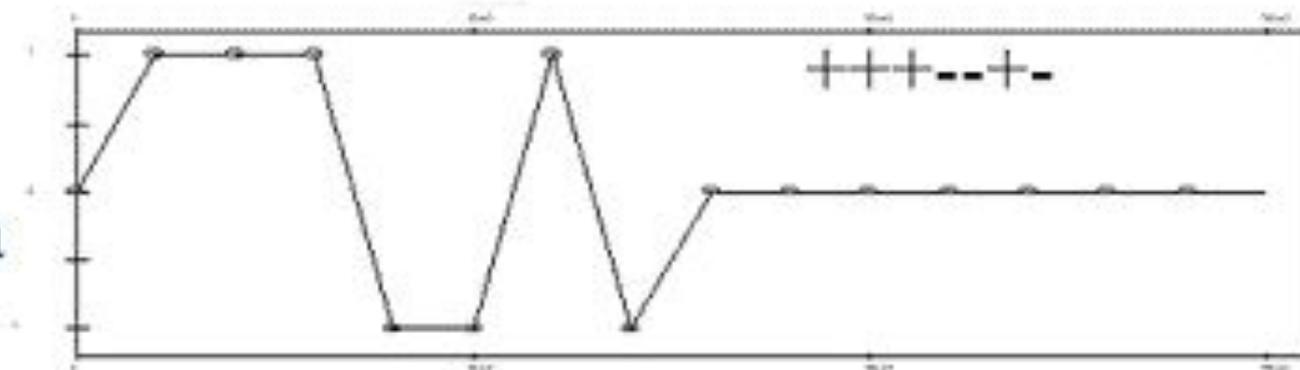
В GPS системах используют коды Голда генерируемые 10-разрядными кодами.

Коды Баркера (до 13 разрядов)

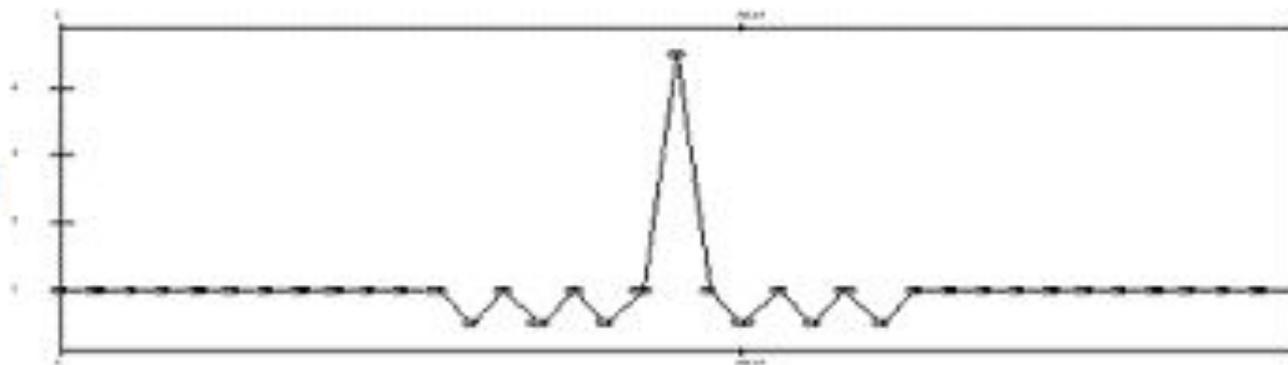
- 2 +- или ++
- 3 ++--

Пример

Код
Баркера



Авто-
корреляция



АКФ

- Максимальное значение автокорреляционной ...

Коды Уолша (CDMA)

- Матрица представлений

- $H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} H_2 & H_2 \\ H_2 & H_2 \end{bmatrix}$

Ортогональность $\langle H_m(k) H_m(p) \rangle = 0 \quad k \neq p$

M – последовательности

- Линейные кадры макс. длинны, или последовательности с макс. длиной регистра сдвига N.
- Верхняя граница для кол-ва различных M-последовательностей определяется выражением $S \leq (L-1)/n$
- В одном периоде M-последовательности содержится $2^{n-1}-1$ нулей и 2^{n-1} единиц.

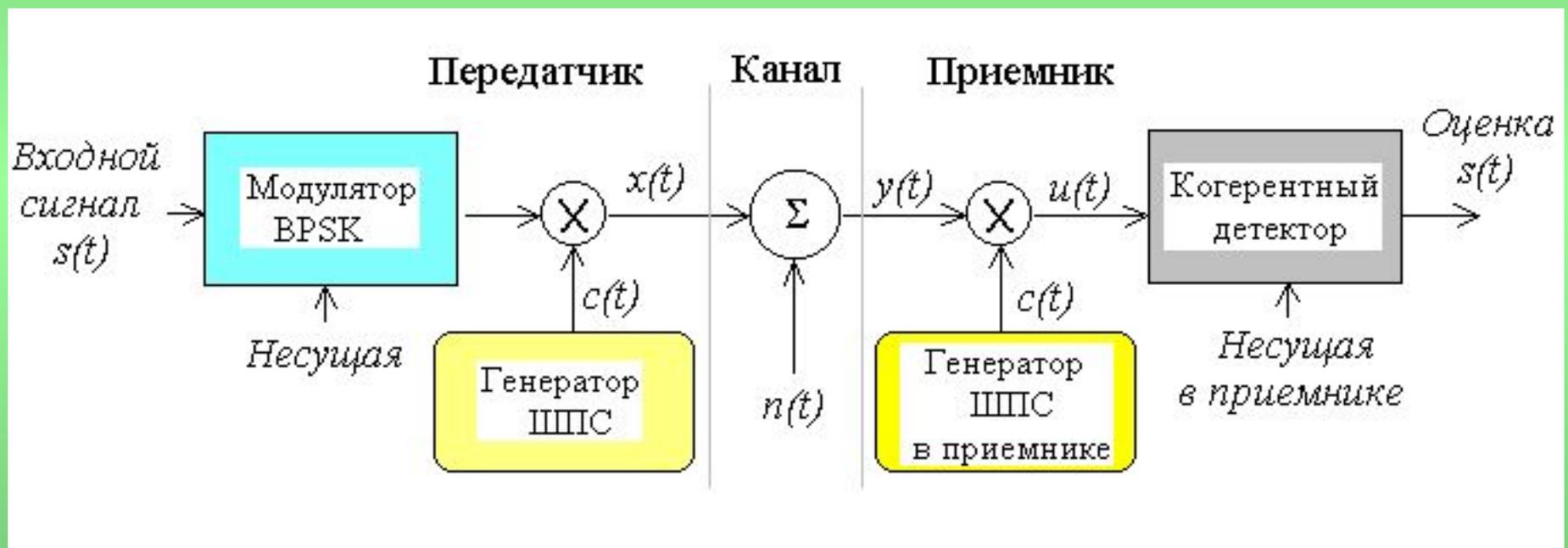
Успех обеспечен

- Два или более независимых сигнала могут быть переданы одновременно в одной и той-же полосе.

Два метода модуляции

- Прямое расширение спектра – DSSS – расширение за счет умножения на псевдослучайную последовательность.
- Скачкообразное расширение спектра.

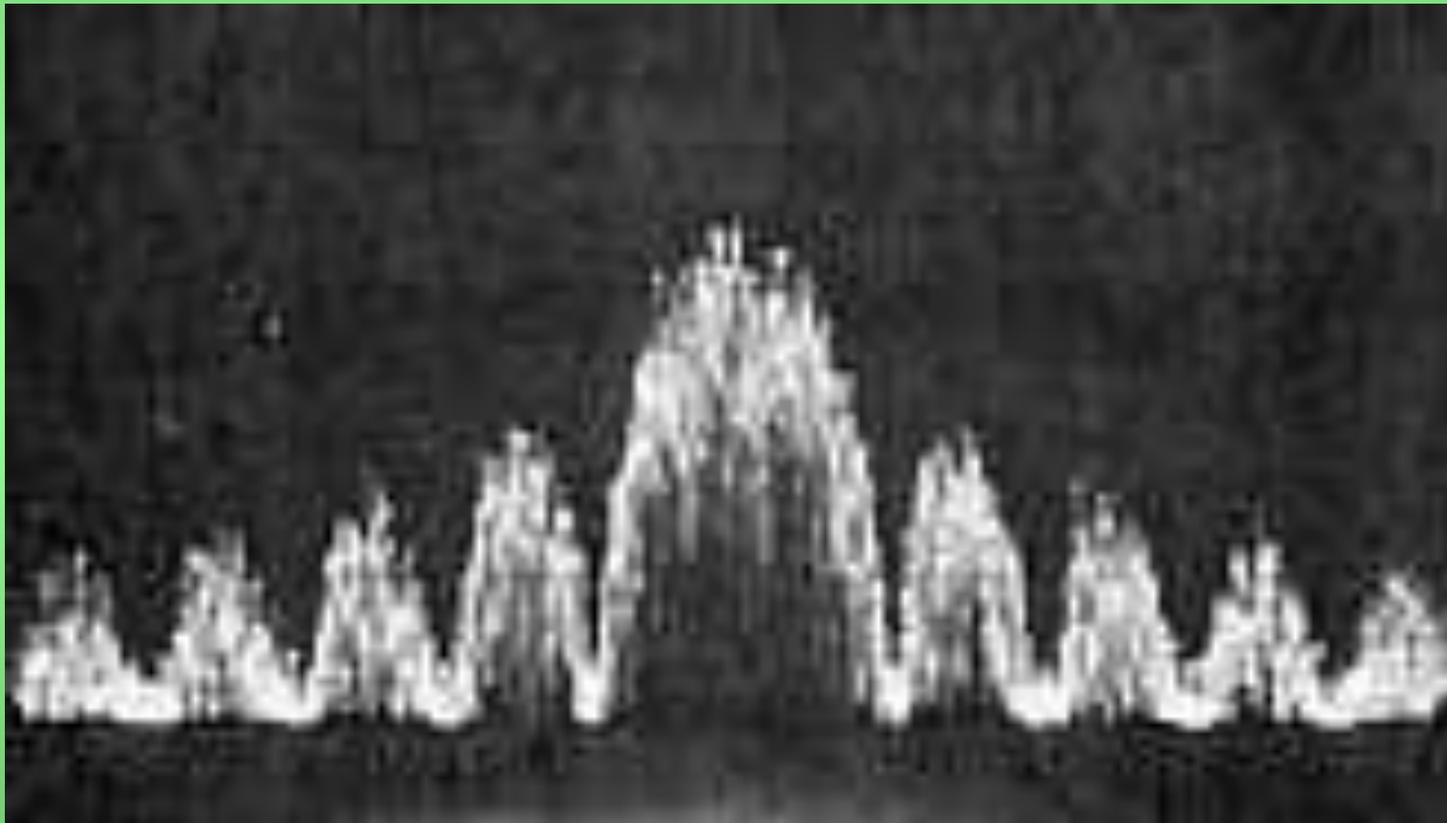
Модель системы ПРС (*DSSS*) на основе ФМ



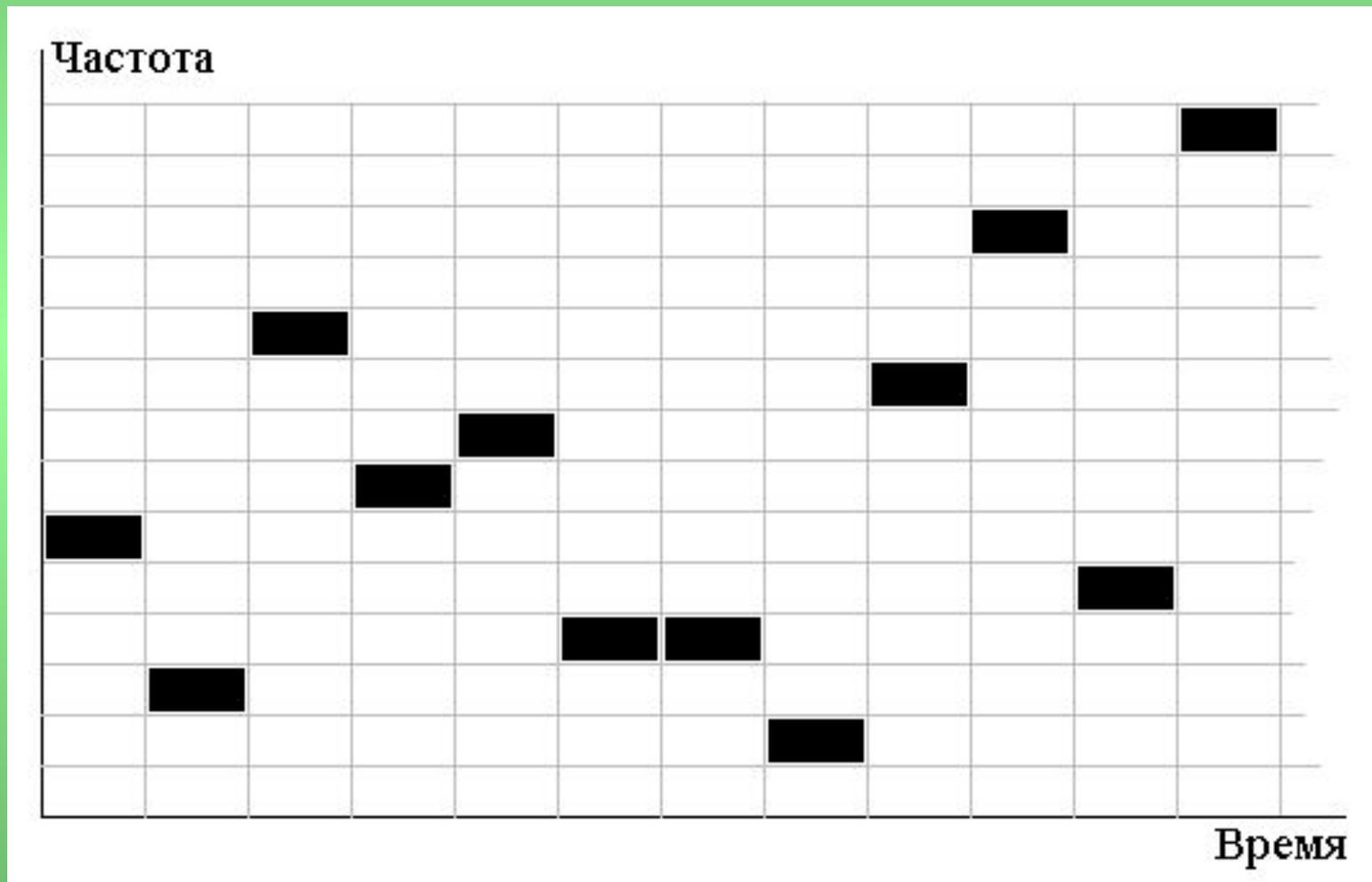
Прямое расширение

- Для прямого расширения спектра используются коды с хорошей корреляцией.
- Коды Паркера, Уолша-Адамара, коды Голда.
- Скор. в кодовом слове в 10-10000 (а в военных до миллиона) раз превышает скорость исходной информации.

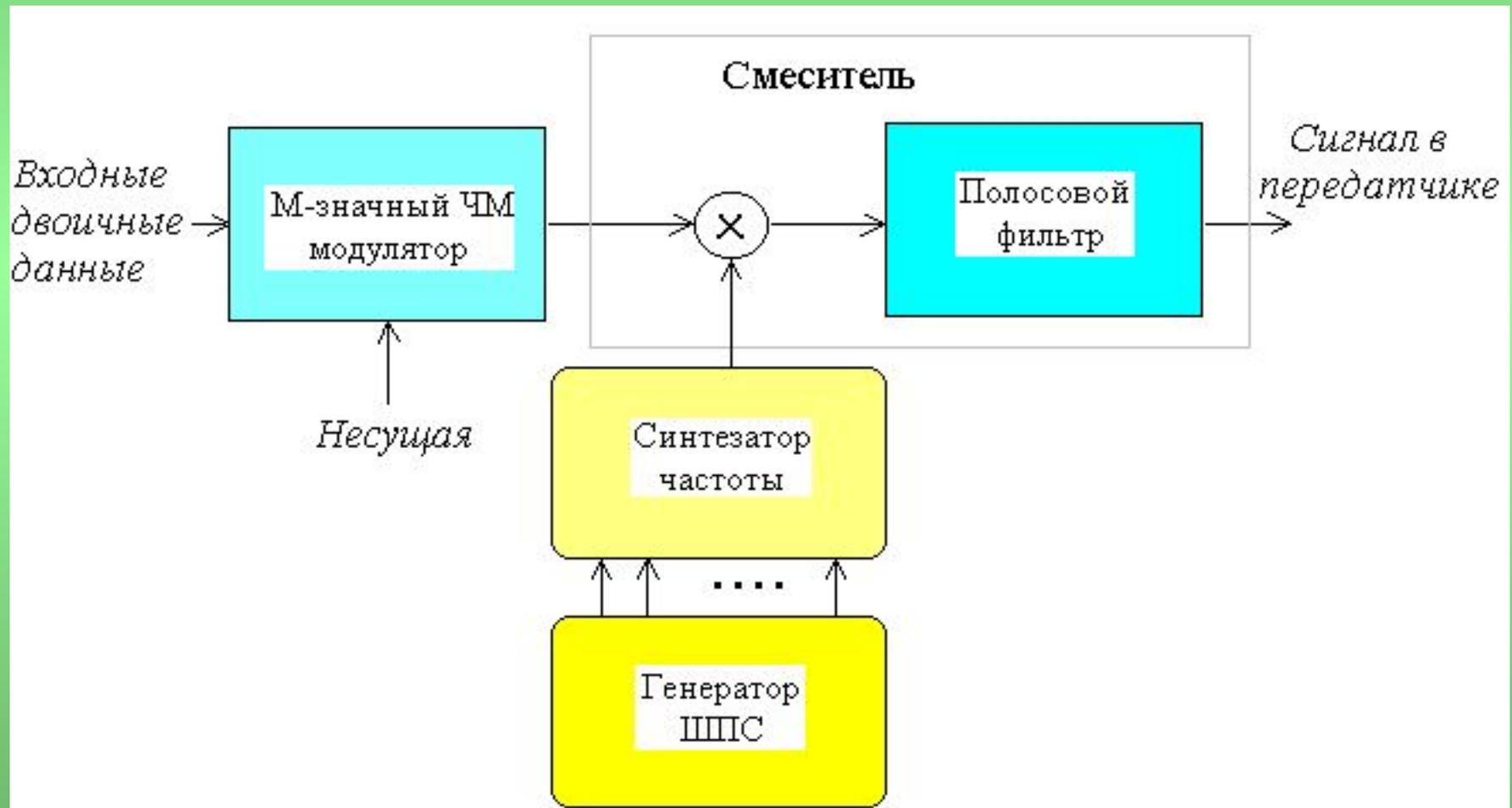
Прямое расширение



Принцип скачкообразного изменения частоты



Скачкообразное преобразование на основе ЧМ



Скачкообразное расширение



Типичные скачки

- Скачкообразные изменения частоты, например, требуют изменение частоты на 1 МГц 2,5 раза в сек. Другими словами, за мин. происходит изменение на 150 МГц.

- Выбор зависит от характера преобладающей интерференции, используемой модели канала и др.

Таблица «Что лучше»

Смешанный подход

- Объединяются методы прямого и скачкообразного расширения спектра.
- Для каждого частотного канала используется своя кодовая расширяющая последовательность.