
Введение.

Общие сведения о РСПИ.

Информация. Сообщение. Сигнал.

- **Информация** – совокупность сведений о каком-либо событии, объекте.
- **Сообщение** – информация, предназначенная для передачи и представленная в соответствующей форме.

Для хранения, обработки и преобразования информации используются условные **символы** (буквы, математические знаки, сигналы и т.п.), позволяющие отобразить информацию в той или иной форме.

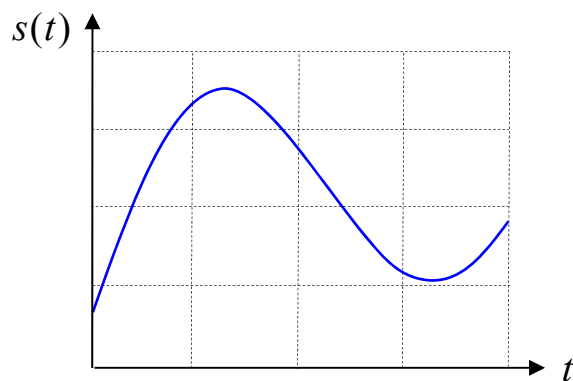
Для передачи сообщений (информации) от источника к получателю используются материальные **носители информации** (бумага, экран, дискета, физические процессы – звуковые и электромагнитные волны и т.п.)

- **Сигнал** – физический процесс, отображающий сообщение.

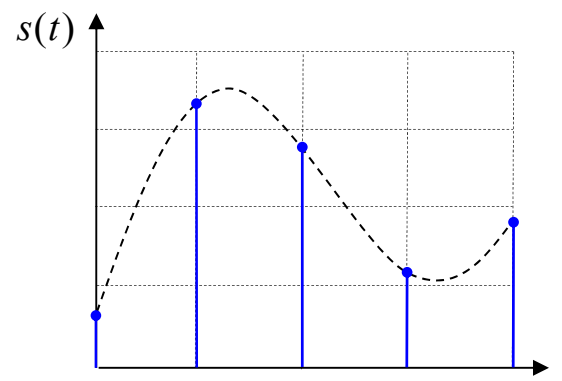
Сигналы могут иметь различную физическую природу, т.е. быть электрическими, звуковыми, световыми и т.д.

Сигналы неэлектрической природы перед передачей обычно преобразуют в электрические сигналы, которые обычно называют **первичными сигналами**.

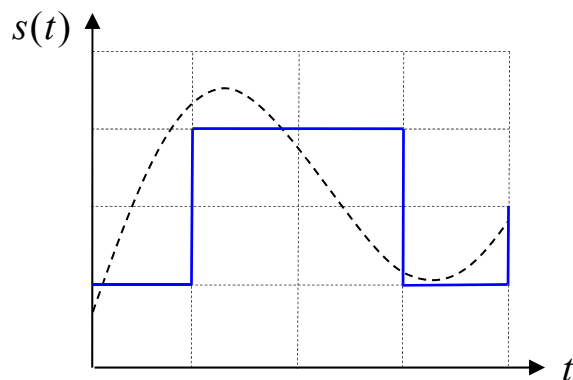
Виды первичных сигналов



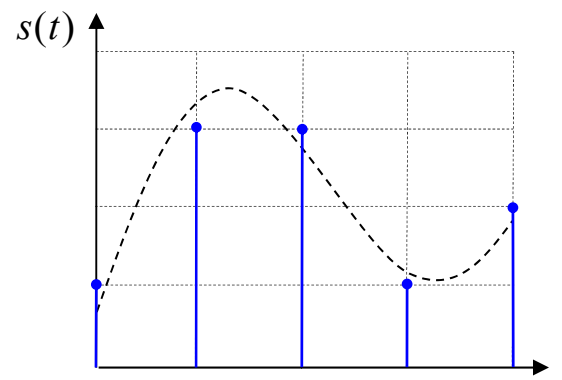
Сигналы непрерывные по уровню и по времени (аналоговые)



Сигналы непрерывные по уровню и дискретные по времени



Сигналы дискретные по уровню и непрерывные по времени



Сигналы дискретные по уровню и по времени (цифровые)

Сообщение, подлежащее передаче, всегда является или случайной величиной, или случайной функцией.

Соответственно информационные сигналы всегда являются случайными процессами.

Детерминированные сообщения и сигналы не содержат информации.

Сообщение, сигнал, канал и система связи

Сообщением называют совокупность знаков (символов), содержащих те или иные сведения (информацию).

Сообщения дискретного источника (текста телеграммы, данные с выхода ЭВМ и другие) образуют счетные множества (эти символы можно пронумеровать), в то время как сообщения непрерывного источника (речь, музыка, телевизионное изображение) образуют несчетные (континуальные) множества.

Физический процесс, отображающий (несущий) передаваемое сообщение по времени, называют сигналом.

Если сигнал представляет собой функцию $u(t)$, принимающую только дискретные значения u_k , его называют дискретным (точнее дискретным по состояниям). Если сигнал может принимать любые значения в некотором интервале, его называют непрерывным (по состояниям) или аналоговым.

Иногда сообщение (сигнал) задается не на всей оси времени, а только в определенные моменты t_k . Такие сообщения (сигналы) называют дискретными по времени.

Совокупность технических средств, служащих для передачи сообщений от источника к потребителю, называют системой связи.

Канал связи — это совокупность технических средств, обеспечивающих передачу сигнала от одной точки системы до другой. Точки входа и выхода канала определяются решаемой (исследуемой) задачей.

Канал является дискретным, если на его входе и выходе — дискретные (по состояниям) сигналы, и непрерывным, если эти сигналы непрерывные. У дискретно-непрерывного и непрерывно-дискретного канала на входе действуют дискретные сигналы, а на выходе непрерывные и наоборот.

Емкостью (объемом) сигнала V_c называют произведение трех его физических характеристик: длительности сигнала T_c , ширины спектра F_c и динамического диапазона уровней сигнала (по мощности) D_c :

$$V_c = T_c F_c D_c, \quad (1.1)$$

$$D_c = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}}. \quad (1.2)$$

В этом выражении P_{\max} — максимальное (пиковое) значение мощности сигнала; P_{\min} — минимальное значение мощности сигнала.

Сообщение, сигнал, канал и система связи

Величина V_c чаще всего характеризует весь ансамбль используемых в данной системе связи сигналов. Иными словами, эта характеристика описывает сигнал как случайный процесс. В этом случае T_c — это средняя длительность сигнала; F_c — ширина энергетического спектра, а P_{\max} и P_{\min} при определении D_c для ансамбля с неограниченным числом реализаций представляют собой уровни мощности, которые соответственно превышаются и не превышаются с какой-либо заданной малой вероятностью. Емкость сигнала — весьма важная характеристика, позволяющая оценивать трудности, связанные с его передачей.

При наличии шумов в канале допустимый минимальный уровень мощности P_{\min} обычно определяется средней мощностью шумов в канале. Поэтому можно записать

$$D_c = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{ш}}} . \quad (1.3)$$

Максимальную мощность P_{\max} иногда выражают через усредненную за достаточно большой интервал времени мощность сигнала P_c . В этом случае

$$D_c = 10 \lg \frac{\Pi^2 P_c}{P_{\text{ш}}} , \quad (1.4)$$

где $\Pi^2 = P_{\max}/P_c$ — пик-фактор сигнала по мощности. Эта величина зависит от статистики сигнала. Отношение средних мощностей сигнала и шума $P_c/P_{\text{ш}}$ часто называют просто отношением сигнал-шум.

Аналогично емкости сигнала можно ввести характеристику, называемую емкостью (объемом) канала,

$$V_k = T_k F_k D_k , \quad (1.5)$$

где T_k — время использования канала; F_k — полоса пропускаемых каналом частот; D_k — динамический диапазон уровней, пропускаемых каналом с допустимыми искажениями.

Для передачи сигнала, имеющего объем V_c , с достаточно высоким качеством должно выполняться неравенство

$$V_c \leq V_k . \quad (1.6)$$

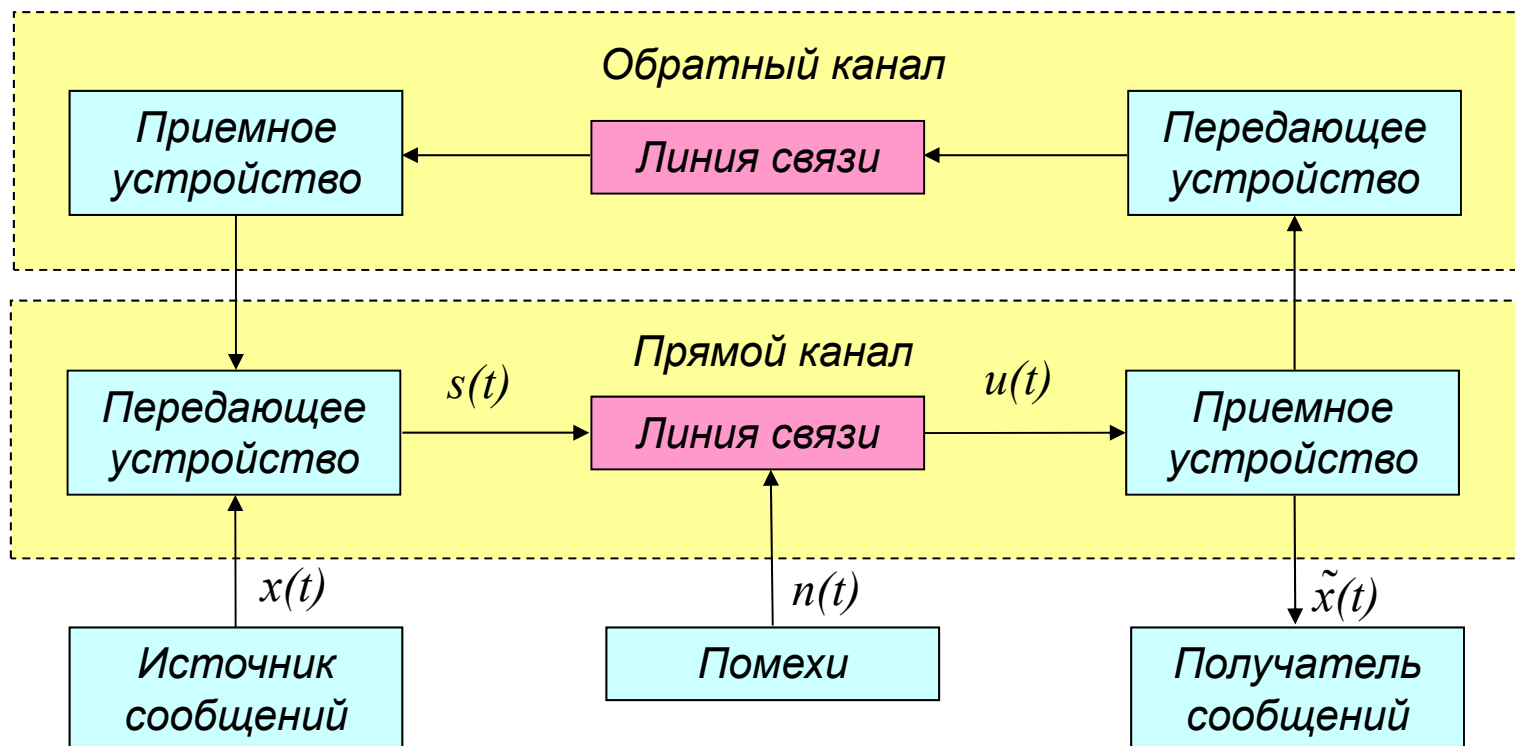
При этом необходимо согласование сигнала и канала по всем трем параметрам, т. е.

$$T_c \leq T_k, \quad F_c \leq F_k, \quad D_c \leq D_k . \quad (1.7)$$

Выполнение этих условий означает, что для обеспечения удовлетворительного качества при передаче сигналов требуется, чтобы объем сигнала «вписывался» в объем канала.

Естественно, что необходимо также согласование сигнала и канала в пределах общих интервалов времени, частот и уровней.

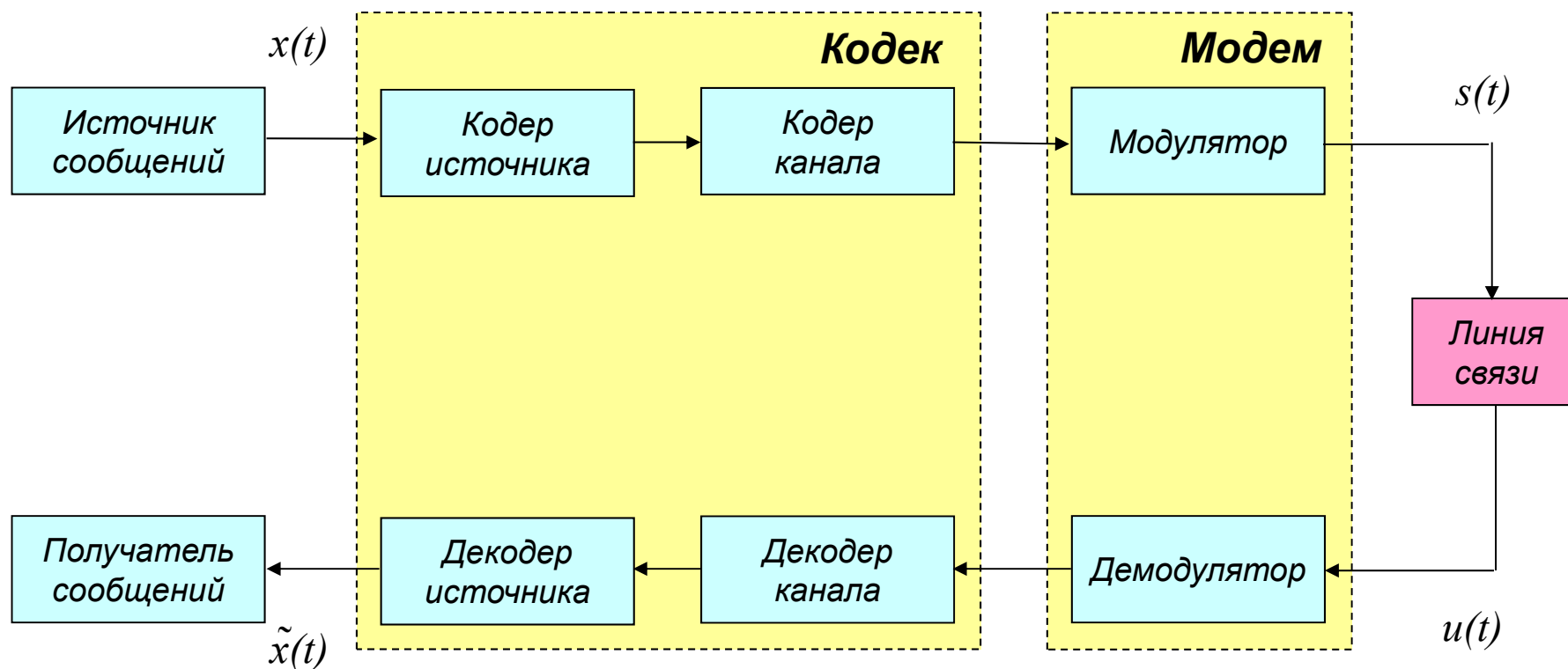
Обобщенная структурная схема РСПИ



Линия (канал) связи – среда, используемая для передачи сигналов.

Помехи – любые случайные воздействия, накладывающиеся на сигнал и затрудняющие его правильный прием.

Структурная схема цифровой РСПИ



Система связи называется многоканальной, если она обеспечивает передачу нескольких сообщений по одной общей линии связи. Структурная схема простейшей многоканальной системы связи изображена на рис. 1.4. Здесь первичные сигналы $b_1(t), b_2(t), \dots, b_n(t)$, подлежащие передаче, преобразуются посредством модуляторов M_1, M_2, \dots, M_n в электрические сигналы $u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t)$, а затем смешиваются в аппаратуре уплотнения. Полученный таким образом групповой сигнал $u(t)$ передаётся по линии связи. Приёмник из принятого кодабания $z(t) = s(t) + n(t)$ с помощью устройства разделения (фильтров Φ_i) выделяет индивидуальные сигналы $\hat{s}_i(t)$, преобразуемые посредством демодуляторов (детекторов) D_i в соответствующие первичные сигналы $\hat{b}_1(t), \hat{b}_2(t), \dots, \hat{b}_n(t)$. Для разделения сигналов на приёмном конце, очевидно, необходимо, чтобы они различались между собой по некоторому признаку. В практике многоканальной связи преимущественно применяют частотный и временной способы разделения.

Для обмена сообщениями между многими территориально разнесёнными пользователями (абонентами) создаются сети связи, обеспечивающие передачу и распределение сообщений по заданным адресам (в заданное время и с установленным качеством). Распределение потоков сообщений по заданным адресам осуществляется на узлах связи с помощью коммутационных устройств. По

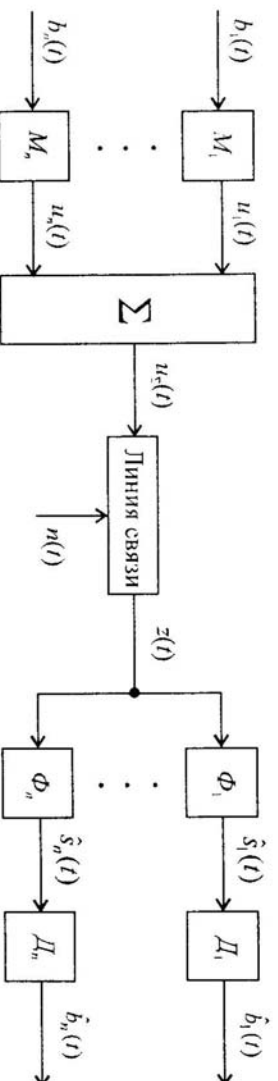
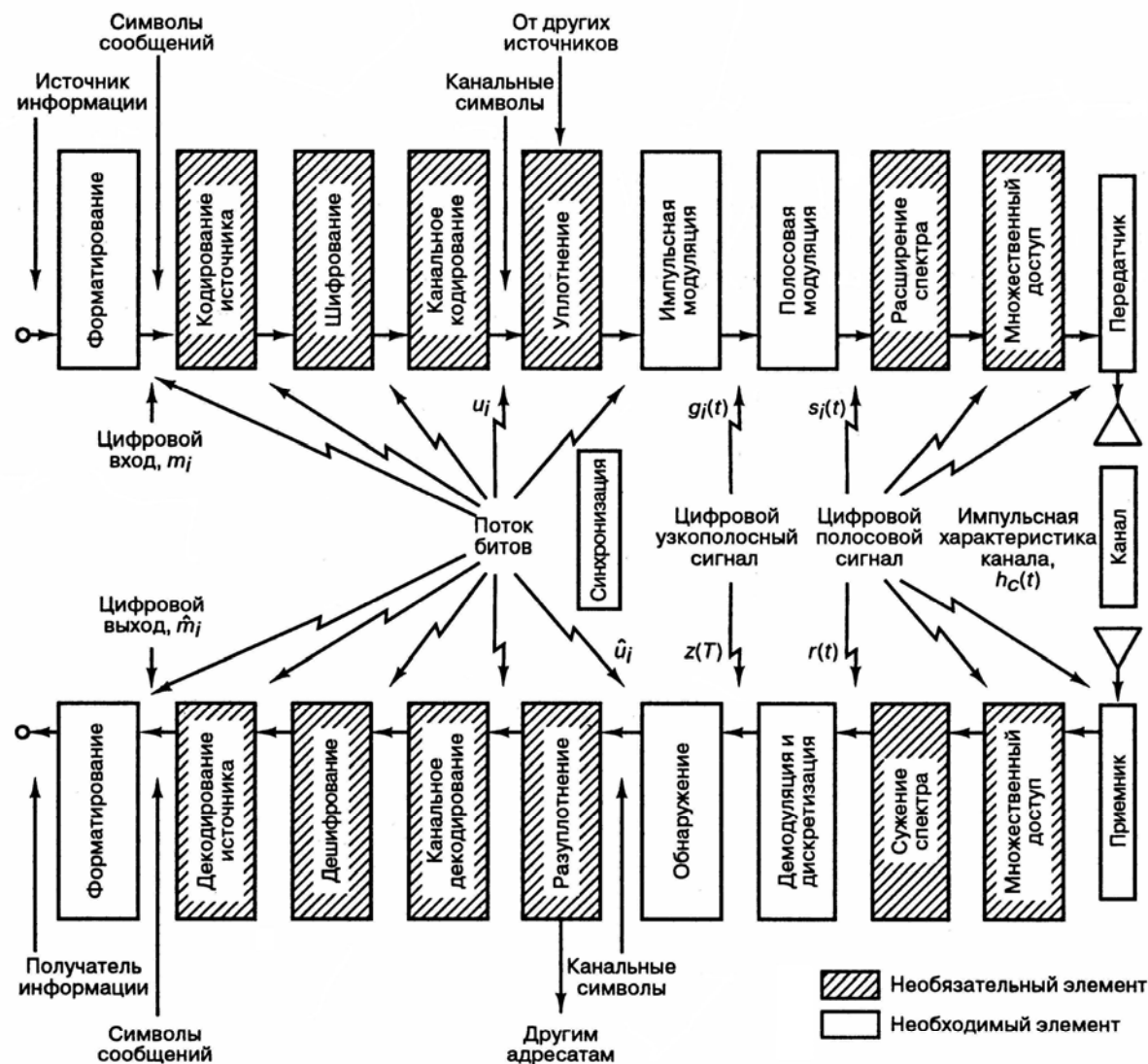


Рис. 1.4. Структурная схема простейшей многоканальной системы передачи

способу распределения сообщений сети делятся на некоммутируемые и коммутируемые. В первом случае связь между абонентами осуществляется по постоянно закреплённым каналам по принципу "каждый с каждым". Во втором случае абоненты связываются между собой не непосредственно, а через узлы коммутации. Сеть связи представляет собой совокупность оконечных (абонентских устройств), каналов связи (соединительных линий) и узлов коммутации. В зависимости от числа абонентов и размеров обслуживаемой территории сети могут иметь различную структуру: линейную, радиальную, кольцевую, радиально-узловую и т.п. Задача оптимального построения сетей связи является одной из важнейших задач теории и техники связи. Решается эта задача с помощью теории графов и теории массового обслуживания.

Блок-схема типовой цифровой РСПИ



Основные понятия РСПИ

Кодирование – преобразование по определенному правилу дискретного сообщения в последовательность кодовых символов.

Множество всех кодовых последовательностей (*кодовых комбинаций, кодовых слов*), возможных при заданном правиле кодирования, образует **код**.

Совокупность символов, из которых составляются кодовые последовательности, называются **кодовым алфавитом**, а их число (объем кодового алфавита) – **основанием кода**.

Число символов в кодовой комбинации называется **длиной кодового слова**.

Код, для которого возможно восстановление исходного сообщения по кодовой комбинации, называется **обратимым кодом**.

Код, который для представления одного сообщения в среднем требует минимального количества символов, называется **экономным**.

Все коды делятся на **простые**, использующие все возможные кодовые комбинации, и **помехоустойчивые** (избыточные), использующие только часть из всех возможных кодовых комбинаций и позволяющие обнаруживать или исправлять ошибки в принятых кодовых комбинациях.

Основные понятия РСПИ

Основная задача **кодирующего устройства (кодера) источника** – экономное кодирование сообщений (сжатие данных).

Задача **кодера канала** – обеспечение достоверной передачи информации.

Модулятор – устройство, обеспечивающее изменение одного или нескольких параметров сигнала-переносчика в соответствии с передаваемым сообщением.

В РСПИ в качестве сигнала-переносчика используются радиосигналы.

В общем случае $s(t) = U[x(t), f(t)]$, где $f(t)$ – сигнал-переносчик.

Действие помех в общем случае может быть описано как $u(t) = V[s(t), n(t)]$, где $u(t)$ – сигнал на входе приемника.

$$u(t) = s(t) + n(t) \quad - \text{ аддитивная помеха.}$$

$$u(t) = \mu(t) \cdot s(t) \quad - \text{ мультипликативная помеха.}$$

$$u(t) = \mu(t) \cdot s(t) + n(t) \quad - \text{ комбинированная помеха.}$$

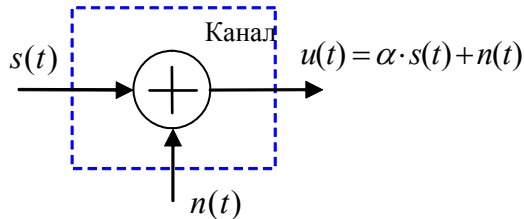
Кодек – совокупность кодирующего и декодирующего устройств.

Модем – совокупность модулятора и демодулятора.

Заданная совокупность технических средств, включающая среду распространения, называется **канал**. Например модулятор+линия связи+демодулятор, или линия связи.

Модели каналов связи

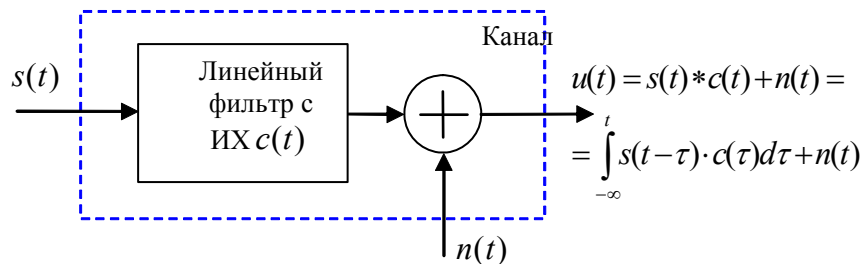
Канал с аддитивным шумом.



Здесь α - коэффициент затухания в канале.

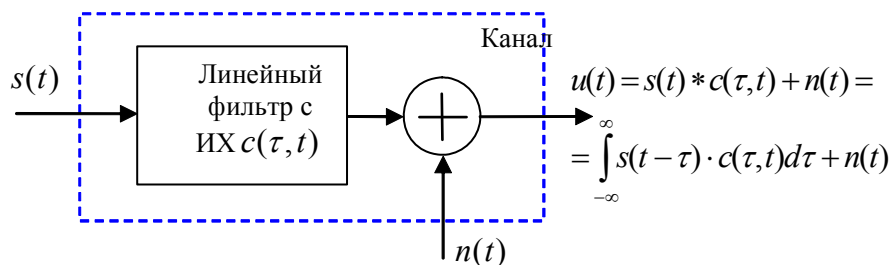
Если аддитивный шум $n(t)$ является белым гауссовым, то говорят о канале с АБГШ (AWGN).

Канал с ограниченной полосой и аддитивным шумом.



$$u(t) = s(t) * c(t) + n(t) = \int_{-\infty}^t s(t-\tau) \cdot c(\tau) d\tau + n(t)$$

Канал с ограниченной полосой и переменными параметрами.



$$u(t) = s(t) * c(\tau, t) + n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t-\tau) \cdot c(\tau, t) d\tau + n(t)$$

В случае многопутевого распространения ЭМВ ИХ имеет вид:

$$c(\tau, t) = \sum_{k=1}^L a_k(t) \cdot \delta(\tau - \tau_k)$$

где $\{a_k(t)\}$ - меняющиеся во времени коэффициенты затухания для L путей распространения, $\{\tau_k\}$ - соответствующие им времена задержки сигнала. Соответственно принимаемый сигнал будет

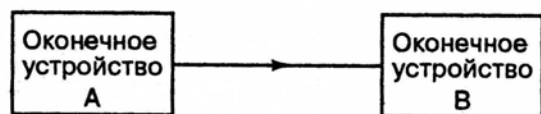
$$u(t) = \sum_{k=1}^L a_k(t) \cdot s(t - \tau_k) + n(t).$$

Классификация РСПИ

По числу каналов различают **одноканальные** и **многоканальные** РСПИ.

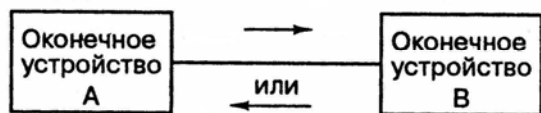
По наличию обратного канала различают системы **без обратной связи** и **с обратной связью**. Обратная связь бывает **информационная** и **решающая** (управляющая).

По виду передаваемых сообщений различают системы передачи **дискретных и непрерывных** сообщений.



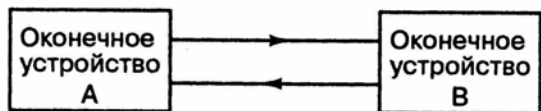
Передача только в одном направлении

а)



Передача в обоих направлениях, но не одновременно

б)



Одновременная передача в обоих направлениях

в)

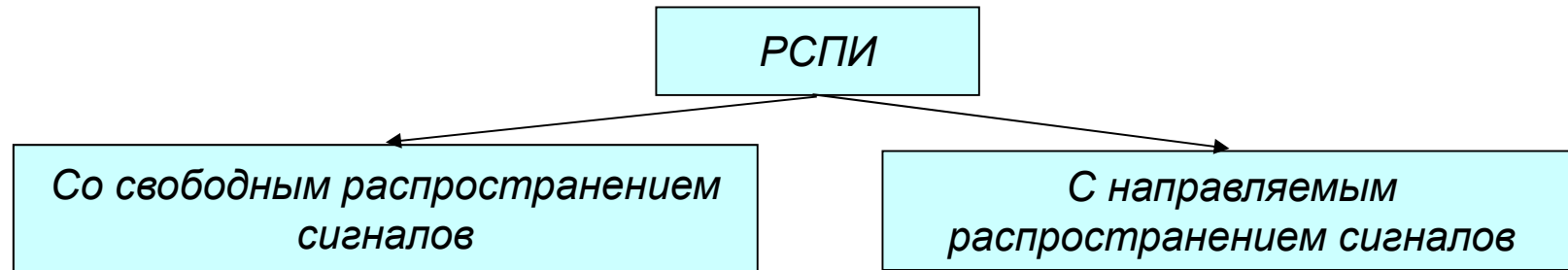
Классификация связности
оконечных устройств: а) симплексная;
б) полудуплексная; в) полнодуплексная

По режиму использования канала различают системы односторонней связи или **симплексные**, системы двухсторонней связи или **дуплексные**, осуществляющие одновременную передачу информации в обоих направлениях, и **полудуплексные**, осуществляющие поочередную передачу информации в каждом из направлений.

По назначению передаваемых сообщений различают: телефонные, телеграфные, телевизионные, телеметрические, командные и т.п. РСПИ.

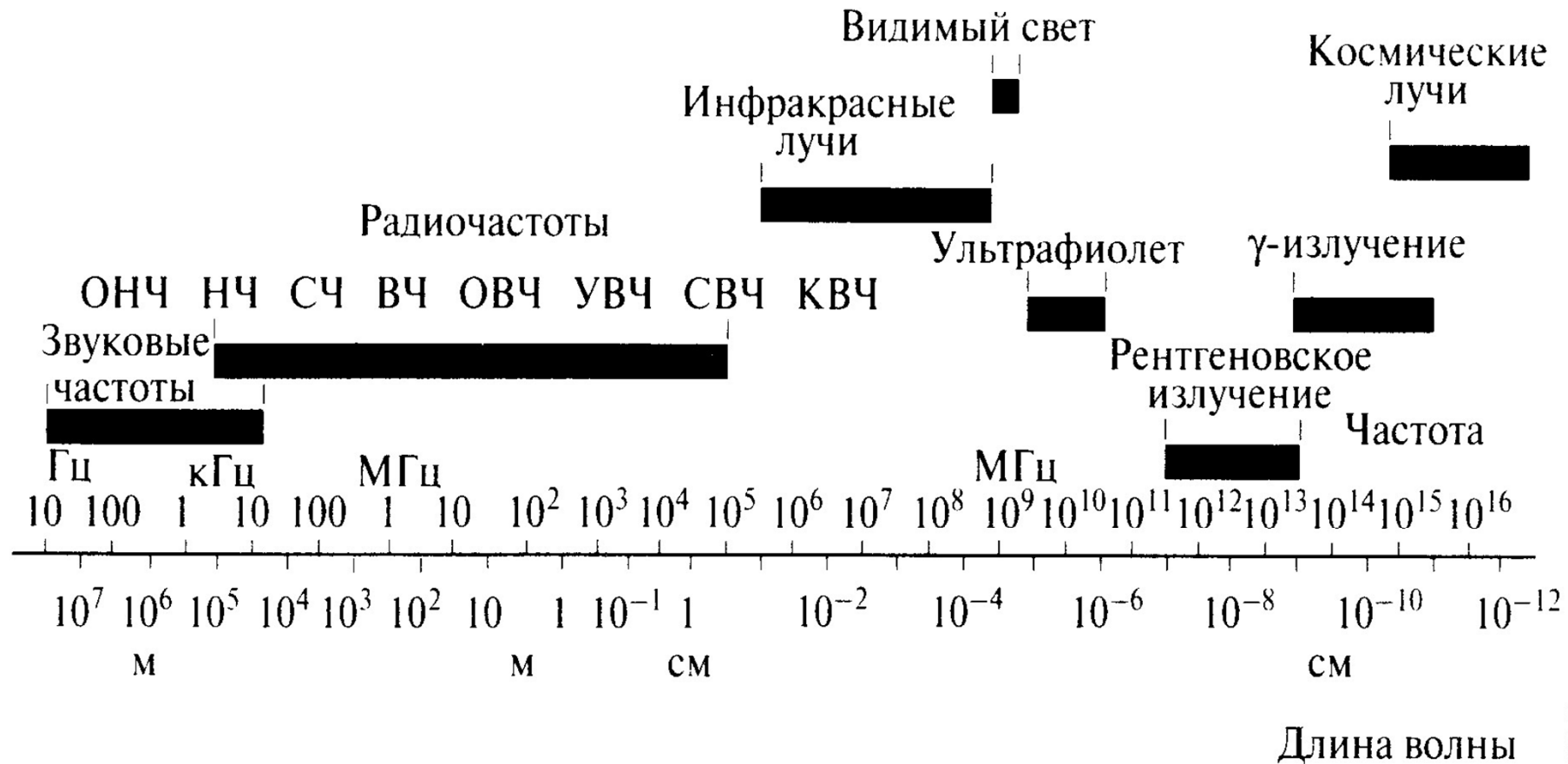
В зависимости от используемого механизма распространения радиоволн различают ионосферные, тропосферные, метеорные и т.п. системы.

Классификация РСПИ



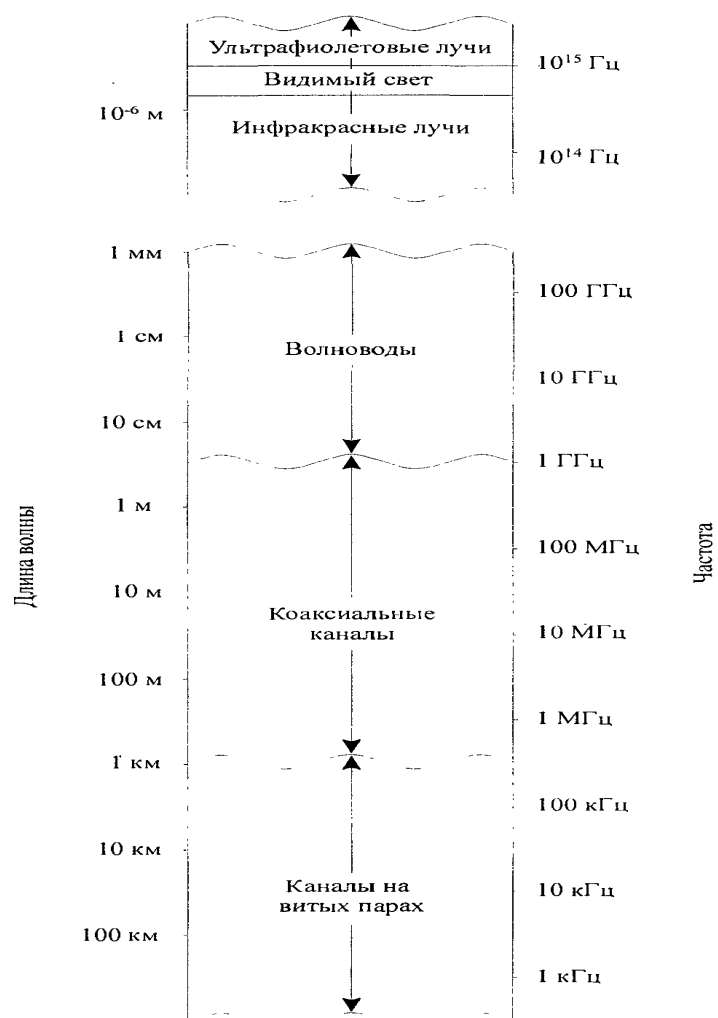
Сигналы распространяются в свободном пространстве.	Используется принудительная канализация сигналов с помощью направляющих устройств – проводов, коаксиальных кабелей, волноводов, световодов и т.п.
Имеет место рассеяние энергии пропорциональное квадрату расстояния и поглощение (затухание) в среде распространения.	Имеет место только поглощение (затухание) в направляющих устройствах.
Достоинства: <ul style="list-style-type: none"> ➤ большая дальность связи; ➤ связь с мобильными объектами; ➤ экономичность; Недостатки: <ul style="list-style-type: none"> ➤ значительное влияние внешних помех и характеристик канала связи. 	Достоинства: <ul style="list-style-type: none"> ➤ высокая стабильность параметров среды распространения; ➤ отсутствие внешних помех; Недостаток – высокая стоимость.

Спектр электромагнитных волн

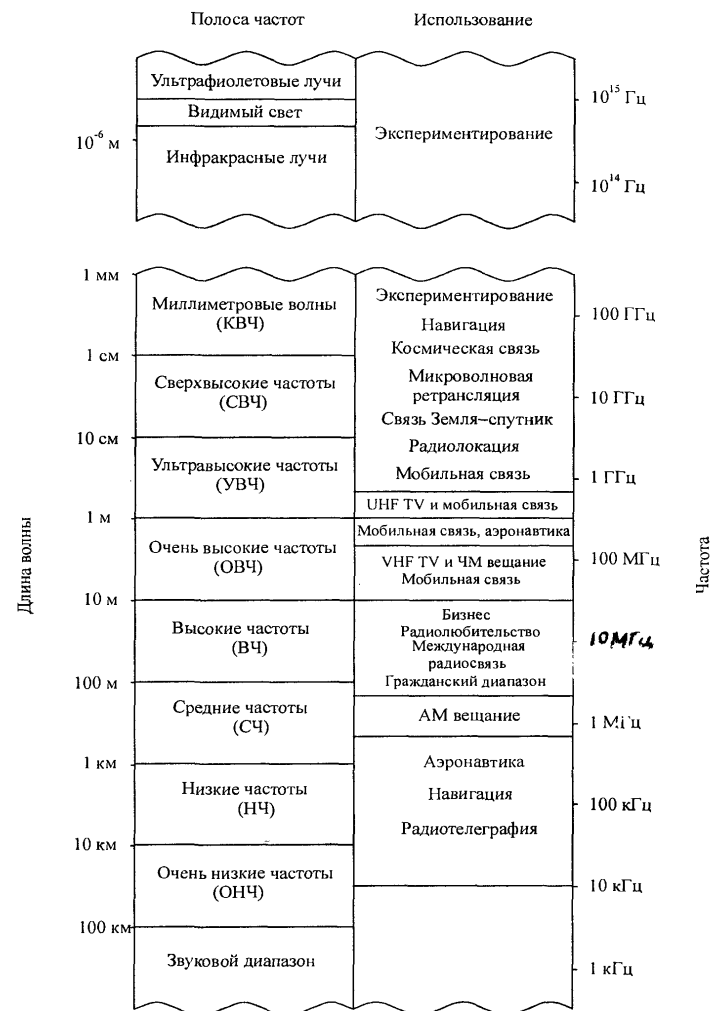


РБ2 002+*

Используемые диапазоны частот



Частотные диапазоны для каналов связи с направляющими системами



Частотные диапазоны для беспроводных каналов связи

Используемые диапазоны частот

Диапазон частот	Диапазон волн	Название частот	Название волн
30...300 Гц	1000...10 000 км	Сверхнизкие (СНЧ)	—
300...3000 Гц	100...1000 км	Инфранизкие (ИНЧ)	—
3...30 кГц	10...100 км	Очень низкие (ОНЧ)	Мириаметровые
30...300 кГц	1...10 км	Низкие (НЧ)	Километровые
300...3000 кГц	100...1000 м	Средние (СЧ)	Гектометровые
3...30 МГц	10...100 м	Высокие (ВЧ)	Декаметровые
30...300 МГц	1...10 м	Очень высокие (ОВЧ)	Метровые
300...3000 МГц	10...100 см	Ультравысокие (УВЧ)	Дециметровые
3...30 ГГц	1...10 см	Сверхвысокие (СВЧ)	Сантиметровые
30...300 ГГц	1...10 мм	Крайне высокие (КВЧ)	Миллиметровые
300...3000 ГГц	0,1...1 мм	Гипервысокие (ГВЧ)	Децимиллиметровые

Обозначения диапазонов частот USA

FCC	IEEE	Диапазон частот (ГГц)
P	HF VHF UHF	0.225...1 0.003...0.03 0.03...0.3 0.3...1.0
L	L	1...2
S	S	2...4
C	C	4...8
X	X	8...12.5
Ku	Ku	12.5...18
K	K	18...26.5
Ka	Ka	26.5...40
	MM	40...300
	SubMM	>300

Распределение частот для ССС

