Лекция № 5

Часть 1. Условная энтропия и взаимная информация

1.1. Условная энтропия

1.2. Взаимная информация

1.3. Пример с троичным каналом

Часть 2. Каналы передачи информации

2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Часть 3. Каналы передачи информации с помехами

3.1. Вероятностные модели каналов передачи информации:

- **двоичный канал**
- **троичный канал**

3.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

Информационная мера Шеннона

1. **Информационная мера Хартли. Аддитивность информационной меры Хартли**

2. **Информационная мера Шеннона. Связи с мерой Хартли**

3. **Количество информации и энтропия**

4. **Свойства энтропии дискретного источника сообщений**

5. **Количество информации и избыточность**

Let ξ – a discrete random variable with a probability distribution:

X	x_1	x_2	…	x_N
P	p_1	p_2	…	p_N

and $H(\xi)$ is information quantity.

Shannon formula:

$$H(\xi) = -\sum_{i=1}^{N} p_i \cdot \log_2 p_i$$

Hartly formula (for equidistributed random variable):

$$H(\xi) = \log_2 N$$

5. Количество информации и избыточность

По определению **избыточности**

$$\rho = 1 - H(A) / \max H(A) = 1 - H(A) / \log_2 N$$

Пусть $I = kH(A),\ I = lH(B)$

$$H(B) \geq H(A),\ \max\ H(B) = log_2 N$$

поэтому $k \geq 1$

$$\delta_k = \frac{k-1}{k} = 1 - \frac{1}{k}$$

$$\frac{l}{k} = \frac{IH(A)}{IH(B)} = \frac{H(A)}{log_2 N}$$

$$\boxed{\rho = 1 - \frac{H(A)}{log_2 N} = \delta_k}$$

Заключение!!!

Лекция № 3, 4

Информационная мера Шеннона

1. Информационная мера Хартли. Аддитивность информационной меры Хартли
2. Информационная мера Шеннона. Связи с мерой Хартли
3. Количество информации и энтропия
4. Свойства энтропии дискретного источника сообщений
5. Количество информации и избыточность

$$I = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{N} \log_2 N = \log_2 N$$

$$H(\xi) = \sum_{i=l}^{n} p_i \log_2 l / p_i$$

$$\boxed{\rho = 1 - \frac{H(A)}{log_2 N} = \delta_k}$$

Лекция № 5

Часть 1. Условная энтропия и взаимная информация

1.1. Условная энтропия

1.2. Взаимная информация

1.3. Пример с троичным каналом

Часть 2. Каналы передачи информации

2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Часть 3. Каналы передачи информации с помехами

3.1. Вероятностные модели каналов передачи информации:

- **двоичный канал**
- **троичный канал**

3.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

Часть 1. Условная энтропия и взаимная информация

1. Условная энтропия

2. Взаимная информация

$$I(\xi,\eta) = H(\xi) - H_{\eta}(\xi).$$

3. Пример с троичным каналом

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(x_i y_j)\log_2 \frac{1}{p(y_j/x_i)}.$$

1. Условная энтропия

Пусть ξ и η – случайные величины с множествами возможных значений $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$

Количество информации $H(\xi)$ при наблюдении случайной величины $\xi \in X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ с распределением вероятностей $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_n\}$ задается формулой Шеннона:

$$H(\xi) = \sum_{i=l}^{n} p_i \log_2 l / p_i$$

Количество информации $H(\eta)$ при наблюдении случайной величины $\eta \in Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$ с распределением вероятностей $Q = \{q_1, q_2, \ldots, q_m\}$ задается формулой Шеннона:

$$H(\eta) = \sum_{i=l}^{m} q_i \log_2 l / q_i$$

1. Условная энтропия

Условной энтропией величины η при наблюдении величины ξ называется

$$H(\eta) = H(\eta / \xi) = H(Y / X) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(x_i y_j)\log_2 \frac{1}{p(y_j / x_i)}.$$

Справедливы соотношения:

$$H(\xi, \eta) = H(\xi) + H_{\xi}(\eta),$$

$$H(\eta, \xi) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(x_i y_j)\log_2 \frac{1}{p(y_j x_i)}.$$

Часть 1. Условная энтропия и взаимная информация

1. Условная энтропия

2. Взаимная информация $I(\xi,\eta) = H(\xi) - H_{\eta}(\xi).$

3. Пример с троичным каналом

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} p(x_i y_j)\log_2 \frac{1}{p(y_j/x_i)}.$$

2. Взаимная информация

Взаимной информацией величин ξ и η называется $I(\xi,\eta)=H(\xi)-H_{\eta}(\xi)$.

Справедливы следующие соотношения:

$$I(\xi,\eta)=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}p(x_i y_j)\log_2\frac{p(x_i y_j)}{p(x_i)p(y_j)},$$

$$I(\xi,\eta)=I(\eta,\xi)=H(\eta)-H_{\xi}(\eta),$$

$$I(\xi,\eta)=H(\xi)+H(\eta)-H(\xi,\eta),$$

Закон аддитивности в общем случае:

$$H(\xi,\eta)=H(\xi)+H(\eta)-I(\xi,\eta),$$

$$0\le I(\xi,\eta)\le H(\xi),\quad 0\le I(\xi,\eta)\le H(\eta).$$

Если ξ и η – независимы, то $I(\xi,\eta)=0$.

2. Взаимная информация

При расчетах условной энтропии и взаимной информации удобно пользоваться следующими соотношениями теории вероятностей:

1) теорема умножения вероятностей

$$p(x_i y_j) = p(x_i)p(y_j / x_i) = p(y_j)p(x_i / y_j)$$

2) формула полной вероятности

$$p(x_i) = \sum_{j=1}^{M} p(x_i, y_j);$$

3) формула Байеса

$$p(x_i / y_j) = \frac{p(x_i)p(y_j / x_i)}{p(y_j)} = \frac{p(x_i)p(y_j / x_i)}{\sum_{i=1}^{N} p(x_i)p(y_j / x_i)}.$$

Часть 1. Условная энтропия и взаимная информация

1. Условная энтропия

2. Взаимная информация $I(\xi, \eta) = H(\xi) - H_{\eta}(\xi).$

3. Пример с троичным каналом

$$H(Y/X) = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M} p(x_i y_j) \log_2 \frac{1}{p(y_j / x_i)}.$$

3. Пример с троичным каналом (с матрицей)

Пример 1. Дана матрица

$$P(X,Y)=\begin{Vmatrix} \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & 0 & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \end{Vmatrix} \quad \xi\in X,\ \eta\in Y$$

Определить: $H(\xi), H(\eta), H_{\eta}(\xi), H_{\xi}(\eta), H(\xi,\eta), I(\xi,\eta).$

Решение. По формуле полной вероятности имеем:

$$P(x_1)=\sum_{j=1}^{3} p(x_1,y_j)=\frac{3}{8},\ P(x_2)=\frac{1}{4},\quad P(x_3)=\frac{3}{8},\ P(y_1)=\sum_{i=1}^{3} p(x_i,y_1)=\frac{3}{8},\ P(y_2)=\frac{1}{4},\ P(y_3)=\frac{3}{8}.$$

Следовательно, $H(\xi)=\sum_{i=1}^{3} p(x_i)\log_2\frac{1}{p(x_i)}=1{,}57;\quad H(\eta)=\sum_{i=1}^{3} p(y_i)\log_2\frac{1}{p(y_i)}=1{,}57.$

3. Пример с троичным каналом (с матрицей)

По теореме умножения

$$p(x_1 / y_1) = p(x_1 y_1) / p(y_1) = \frac{1}{3}, \quad p(x_1 / y_2) = \frac{1}{2}, \quad p(x_1 / y_3) = \frac{1}{3},$$

$$p(x_2 / y_1) = \frac{1}{3}, \quad p(x_2 / y_2) = 0, \quad p(x_2 / y_3) = \frac{1}{3},$$

$$p(x_3 / y_1) = \frac{1}{3}, \quad p(x_3 / y_2) = \frac{1}{2}, \quad p(x_3 / y_3) = \frac{1}{2}.$$

Следовательно,

$$H_\eta(\xi) = \sum_{I=1}^{3} \sum_{J=1}^{3} p(x_i y_j) \log_2 \frac{1}{p(x_i / y_j)} = 1{,}43.$$

Аналогично

$$H_\xi(\eta) = 1{,}43; \;\; H(\xi, \eta) = H(\xi) + H_\xi(\eta) = 3; \;\; I(\xi, \eta) = H(\xi) - H_\eta(\xi) = 0{,}14.$$

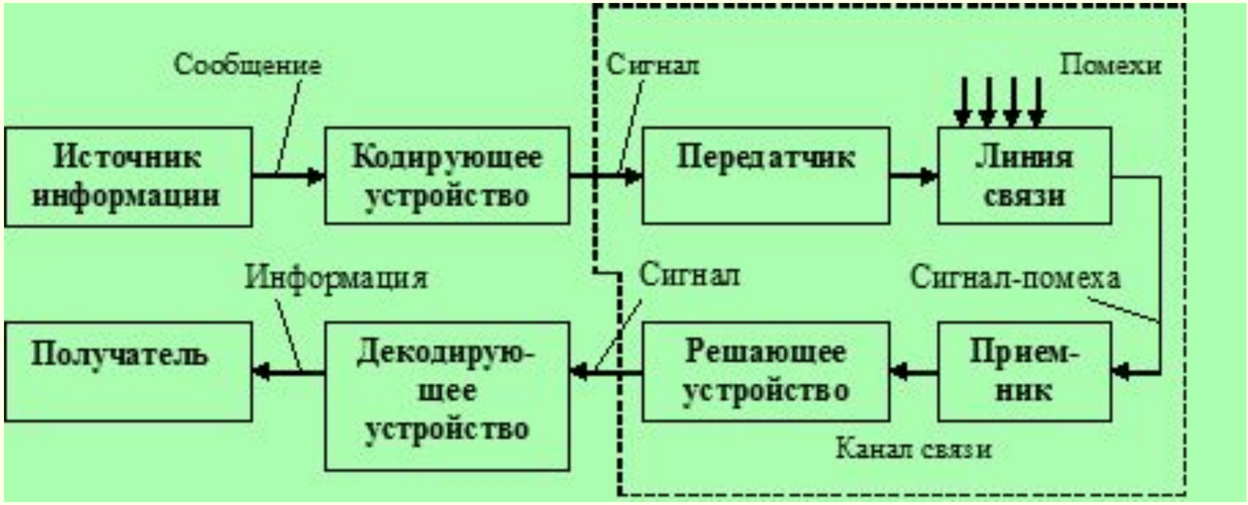
Лекция № 5

Часть 2. Каналы передачи информации

2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

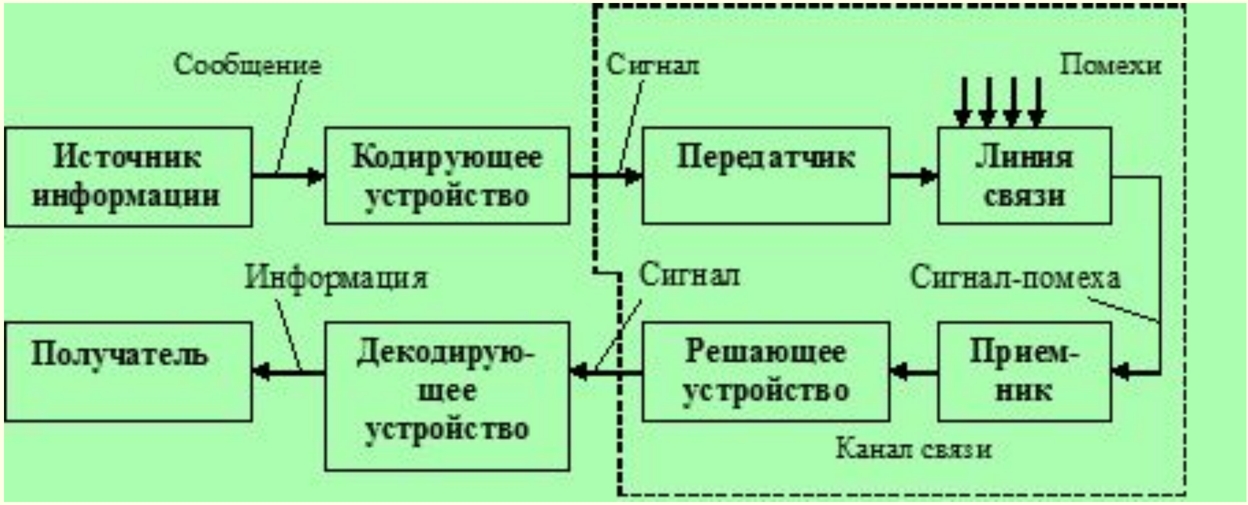


Часть 2. Каналы передачи информации

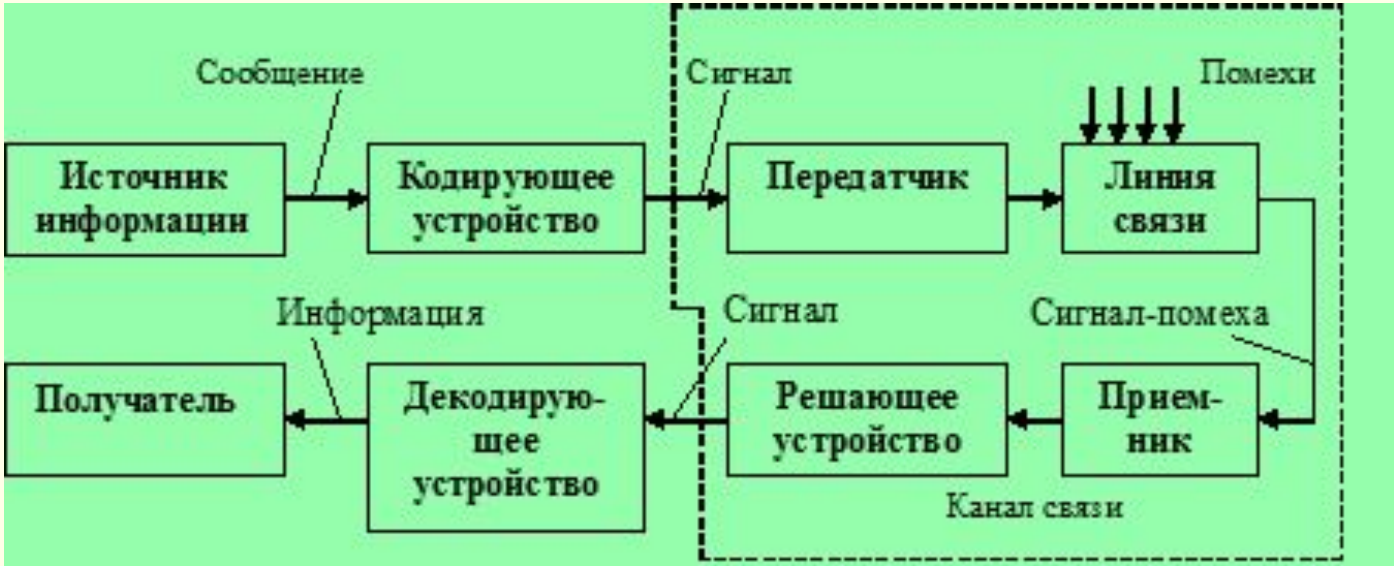
2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов



2.3. Структурная схема информационной системы



Примеры:

электрические,

электромагнитные,

механические,

ультразвуковые,

звуковые,

световые.

Проводная линия связи → постоянный ток и переменные токи сравнительно невысоких частот

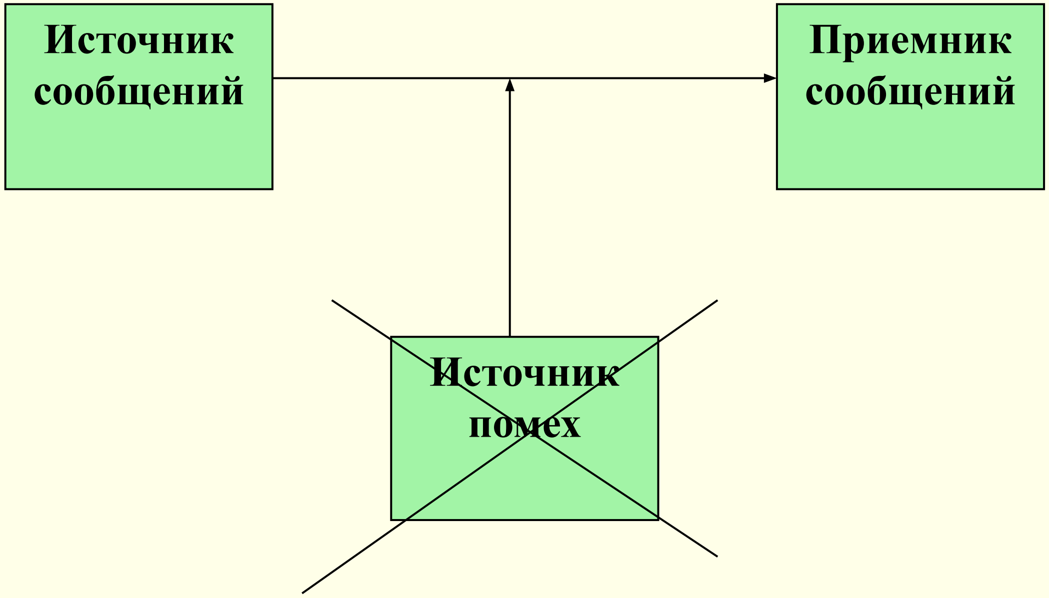
Радиолиния → электромагнитные колебания высоких частот

Часть 2. Каналы передачи информации

2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

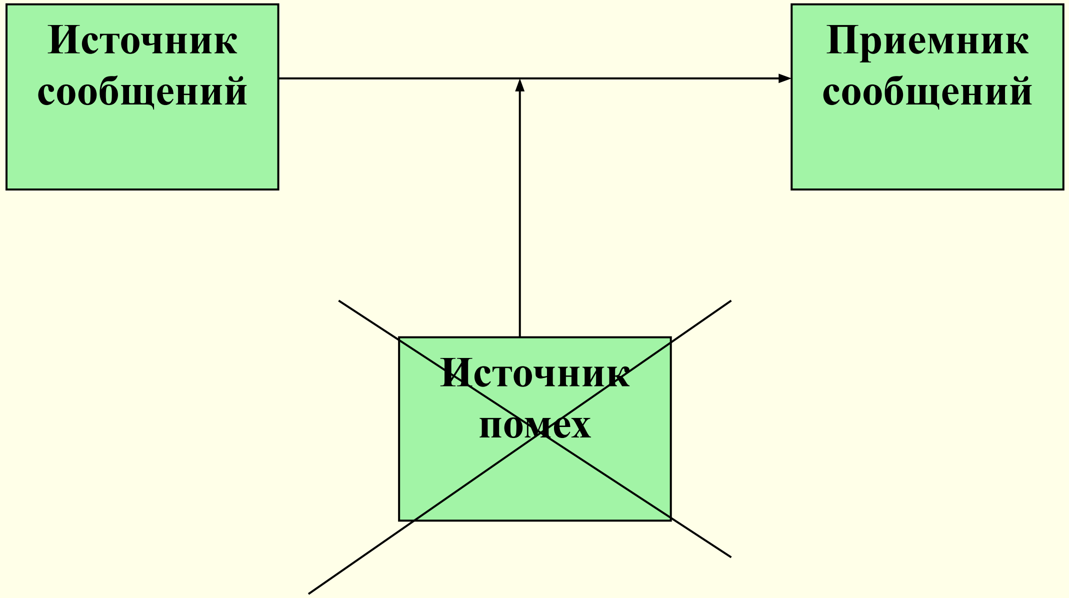
2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов



$$T_c \le T_k$$
$$F_c \le F_k$$
$$D_c \le D_k$$

2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех



Выходной алфавит символов источника сообщений: $A = \{a_i\}, A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$

Количество информации, приходящееся в среднем на один символ источника:

$H(A) = \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 1/p_i$, где p_i – вероятность появления символа a_i на выходе источника.

Алфавит символов канала связи: $B = \{b_1, b_2, ..., b_m\}$

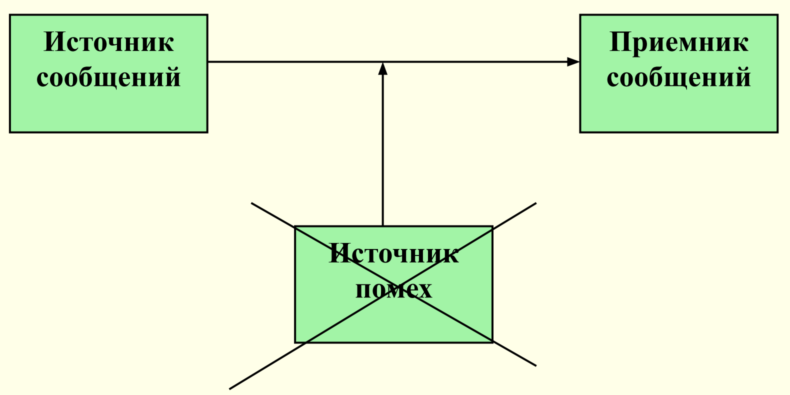
2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

Среднее количество информации, выдаваемое источником в единицу времени – информационная производительность:

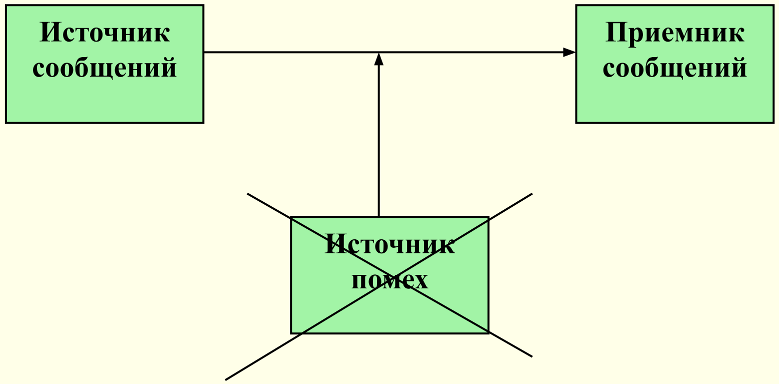
$dI(A)/dt = \upsilon_A H(A)$, где υ_A – среднее число символов, выдаваемое источником в единицу времени.

Скорость передачи информации по каналу:

$dI(B)/dt = \upsilon_B H(B)$, где υ_B – среднее число символов, выдаваемое по каналу в единицу времени.



2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех



Пропускная способность канала:

$C_k = \max\limits_{\{p\}} dI(B)/dt,\ \ где\ \ \{p\}-$ множество всех возможных распределений вероятностей символов алфавита B канала.

Пропускная способность канала (с учетом свойств энтропии):

$C_k = \upsilon_B \log_2 m$ – где $n, m, \upsilon_A, \upsilon_B$ – технические характеристики канала связи.

Часть 2. Каналы передачи информации

2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Сигнал может быть охарактеризован различными параметрами. Таких параметров, вообще говоря, очень много, но для задач, которые приходится решать на практике, существенно лишь небольшое их число. Например, при выборе прибора для контроля технологического процесса может потребоваться знание дисперсии сигнала; если сигнал используется для управления, существенным является его мощность и так далее.

Рассматривают три основных параметра сигнала, существенных для передачи информации по каналу.

- время передачи сигнала T_c
- мощность P_c сигнала, передаваемого по каналу с определенным уровнем помех P_z
- спектр частот F_c

Чем больше значение P_c по сравнению с P_z, тем меньше вероятность ошибочного приема. Таким образом, представляет интерес отношение P_c/P_z. Удобно пользоваться логарифмом этого отношения, называемым превышением сигнала над помехой:

$$L_c = \log a\left(\frac{Pc}{Pz}\right)$$

3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Эти три параметра позволяют представить любой сигнал в трехмерном пространстве с координатами *L, T, F* в виде параллелепипеда с объемом $T_c F_c L_c$

Объем сигнала V_c

$$\boxed{V_c = T_c F_c D_c}$$

Информационный канал характеризуется:

- *временем использования канала* $T_к$
- *шириной полосы частот, пропускаемых каналом* F_k
- *динамическим диапазоном канала* D_k *характеризующим его способность передавать различные уровни сигнала*

Емкость канала V_k

$$\boxed{T_k = T_k F_k D_k}$$

Неискаженная передача сигналов возможна только при условии, что сигнал по своему объему «вмещается» в емкость канала.

Согласование сигнала с каналом передачи информации определяется соотношением

$$\boxed{V_c \le V_k}$$

3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Однако соотношение выражает необходимое, но недостаточное условие согласования сигнала с каналом. Достаточным условием является согласование по всем параметрам:

$$T_c \le T_k$$
$$F_c \le F_k$$
$$D_c \le D_k$$

Для информационного канала пользуются понятиями:

скорость ввода информации

скорость передачи информации

пропускная способность канала

Скорость ввода информации (потоком информации) *V(A)* - среднее количество информации, вводимое от источника сообщений в информационный канал в единицу времени. Эта характеристика источника сообщений определяется только статистическими свойствами сообщений.

Скорость передачи информации V(X,Y) – среднее количество информации, передаваемое по каналу в единицу времени. Зависит от статистических свойств передаваемого сигнала и от свойств канала.

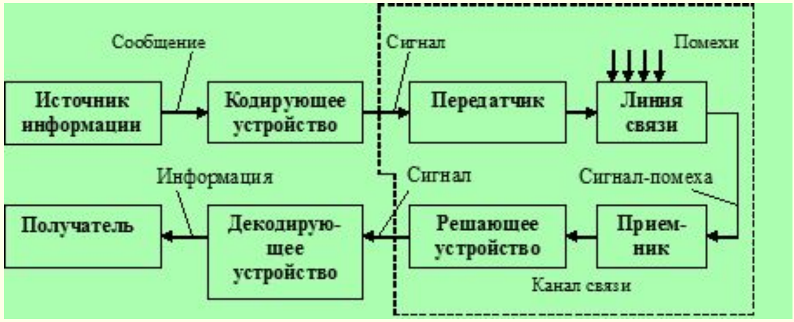
Пропускная способность C – наибольшая теоретически достижимая для данного канала скорость передачи информации. Характеристика канала не зависит от статистики сигнала.

3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

С целью наиболее эффективного использования информационного канала нужно, чтобы скорость передачи информации была как можно ближе к пропускной способности канала.

При этом скорость ввода информации не должна превышать пропускную способность канала, иначе не вся информация будет передана по каналу.

Основное условие согласования

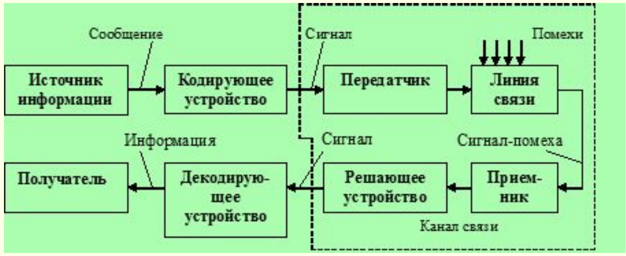


3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Одним из основных вопросов в теории передачи информации:

определение зависимости скорости передачи информации и пропускной способности от

параметров канала и
характеристик сигналов и помех.



Эти вопросы были впервые глубоко исследованы К. Шенноном.

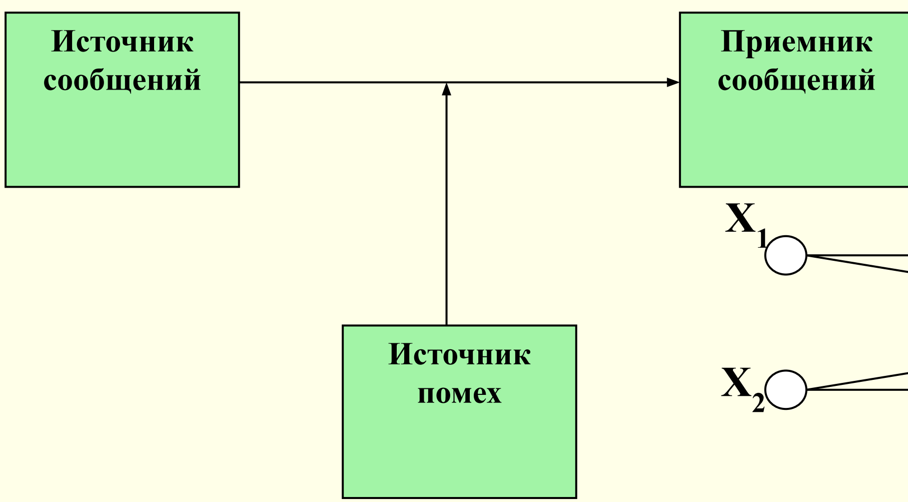
Лекция № 5

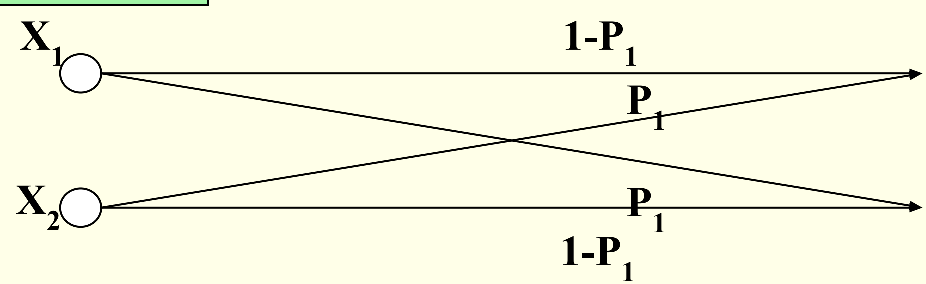
Часть 3. Каналы передачи информации с помехами

3.1. Вероятностные модели каналов передачи информации:

- двоичный канал
- троичный канал

3.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами





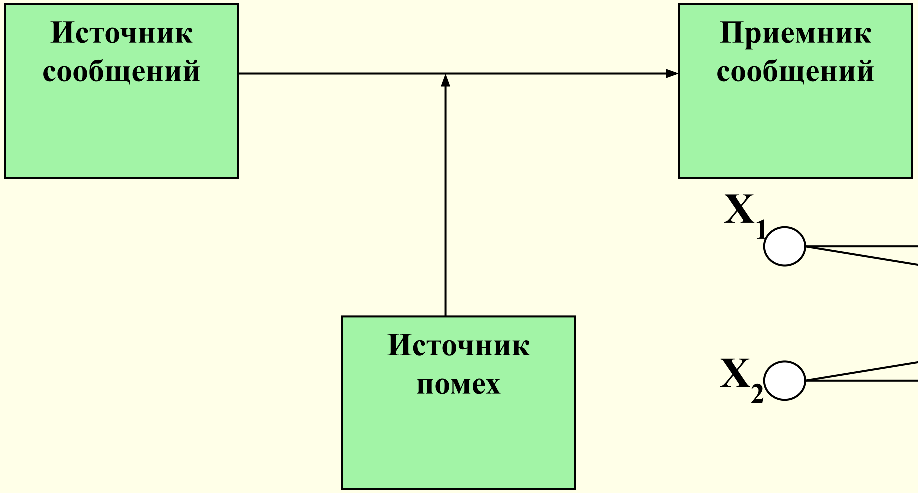
Часть 3. Каналы передачи информации с помехами

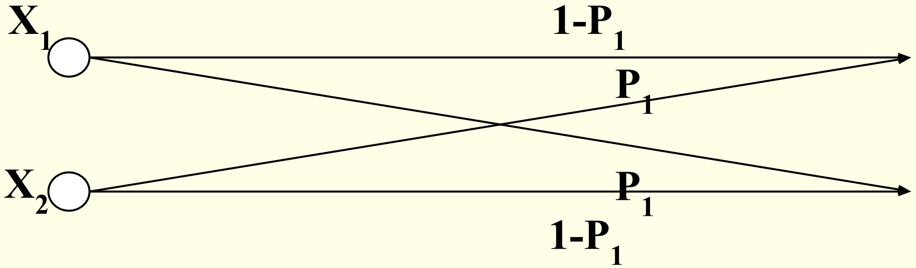
3.1. Вероятностные модели каналов передачи информации:

– двоичный канал

– троичный канал

3.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами





5.1 Вероятностные модели каналов передачи информации
Двоичный канал

Пример 1. По двоичному каналу связи с помехами передаются две цифры 1 и 0 с вероятностями $p_1 = p_2 = 0,5$. Вероятность перехода единицы в единицу и нуля в нуль соответственно равны $p(1/1) = \text{р}$, $p(0/0) = q$.

Определить закон распределения вероятностей случайной величины ξ – однозначного числа, получаемого на приемной стороне.

5.1 Вероятностные модели каналов передачи информации
Двоичный канал

Решение. $\xi \in X = \{0,\ 1\}$. Нуль ($\xi = 0$) на приемной стороне может быть получен в двух случаях: при передаче нуля или при передаче единицы. Следовательно, по формуле полной вероятности

$$P_{\xi}(0) = P(0,0) + P(1,0) = P(0) \cdot P(0/0) + P(1) \cdot P(0/1),$$

$$P(0/1) = 1 - P(1/1).$$

5.1 Вероятностные модели каналов передачи информации
Двоичный канал

Поэтому
$$P_\xi(0) = 0{,}5q + 0{,}5(1-p) = 0{,}5(1+q-p).$$

Аналогично
$$P_\xi(1) = P(0,1) + P(1,1) = 0{,}5(1-q+p).$$

Распределение вероятностей представлено в табл.

x_i	0	1
p_i	$0{,}5(10p + q)$	$0{,}5(1 - p + q)$

5.1 Вероятностные модели каналов передачи информации
Троичный канал

Пример 1. Дана матрица

$$P(X,Y)=\begin{Vmatrix} \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & 0 & \frac{1}{8} \\ \frac{1}{8} & \frac{1}{8} & \frac{1}{8} \end{Vmatrix}, \quad \xi \in X, \quad \eta \in Y$$

Определить: распределения вероятностей на входе и на выходе канала, условное распределение вероятностей появления сигналов на выходе канала при фиксированном входе и на входе канала при фиксированном выходе канала.

5.1 Вероятностные модели каналов передачи информации
Троичный канал

Решение. По формуле полной вероятности имеем:

$$P(x_1) = \sum_{j=1}^{3} p(x_1, y_j) = \frac{3}{8},$$

$$P(x_2) = \frac{1}{4},\quad P(x_3) = \frac{3}{8},\quad P(y_1) = \sum_{i=1}^{3} p(x_i, y_1) = \frac{3}{8},\quad P(y_2) = \frac{1}{4},\quad P(y_3) = \frac{3}{8}.$$

По теореме умножения

$$p(x_1 / y_1) = p(x_1 y_1) / p(y_1) = \frac{1}{3},\quad p(x_1 / y_2) = \frac{1}{2},\quad p(x_1 / y_3) = \frac{1}{3},$$

$$p(x_2 / y_1) = \frac{1}{3},\qquad p(x_2 / y_2) = 0,\qquad p(x_2 / y_3) = \frac{1}{3},$$

$$p(x_3 / y_1) = \frac{1}{3},\qquad p(x_3 / y_2) = \frac{1}{2},\qquad p(x_3 / y_3) = \frac{1}{2}.$$

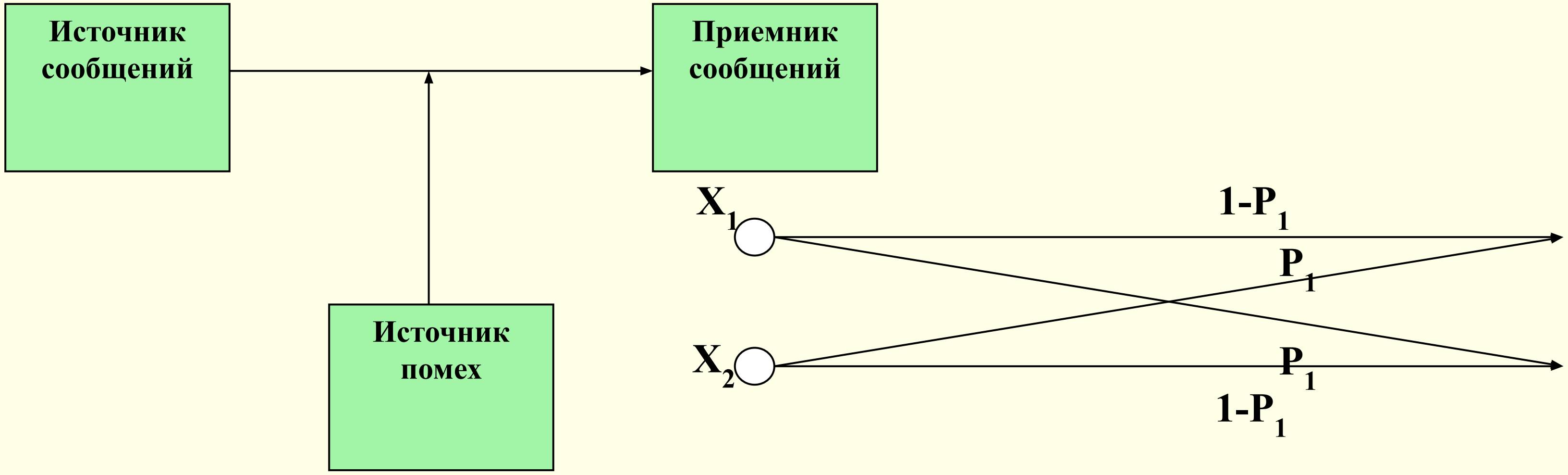
Часть 3. Каналы передачи информации с помехами

3.1. Вероятностные модели каналов передачи информации:

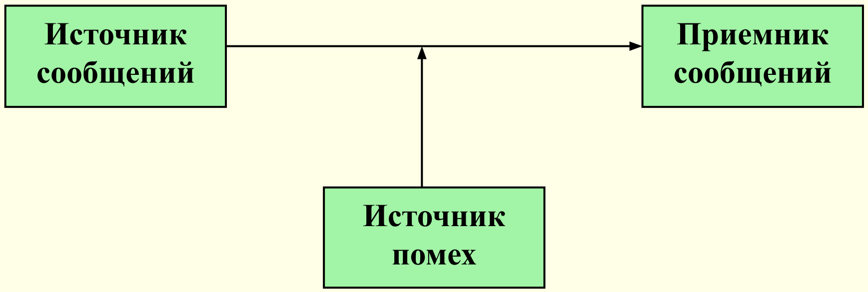
– двоичный канал

– троичный канал

3.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами



5.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами



Выходной алфавит символов источника сообщений: $A = \{a_i\}, A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$

Количество информации, приходящееся в среднем на один символ источника:

$H(A) = \sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 1/p_i$, где p_i – вероятность появления символа a_i на выходе источника.

Среднее количество информации, выдаваемое источником в единицу времени – информационная производительность:

$dI(A)/dt = \upsilon_A H(A)$, где υ_A – среднее число символов, выдаваемое источником в единицу времени.

5.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

Алфавиты символов канала связи:

$$B_{вх} = X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, B_{вых} = Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$$

Матрица переходных вероятностей:

$$\left\| p(y_i / x_k) \right\|, \quad где \quad k = 1 \dots m, i = 1 \dots l; \quad \sum_{i=1}^{l} p(y_i / x_k) = 1$$

Среднее количество информации на один входной и на один выходной символ канала:

$$H(X) = \sum_{i=1}^{m} p(x_i) \log_2 1 / p(x_i); H(Y) = \sum_{j=1}^{l} p(y_j) \log_2 1 / p(y_j)$$

5.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

Информация, которую несет выход канала о входе:

$$I(Y,X) = H(X) - H_y(X) = H(Y) - H_x(Y)$$

где $H_y(X)$ – ненадежность канала, $H_x(Y)$ – энтропия шума.

Скорость передачи информации по каналу:

$$dl(B)/dt = \upsilon_B I(X,Y),$$

где υ_B – среднее число символов, выдаваемое каналом в единицу времени.

Пропускная способность канала:

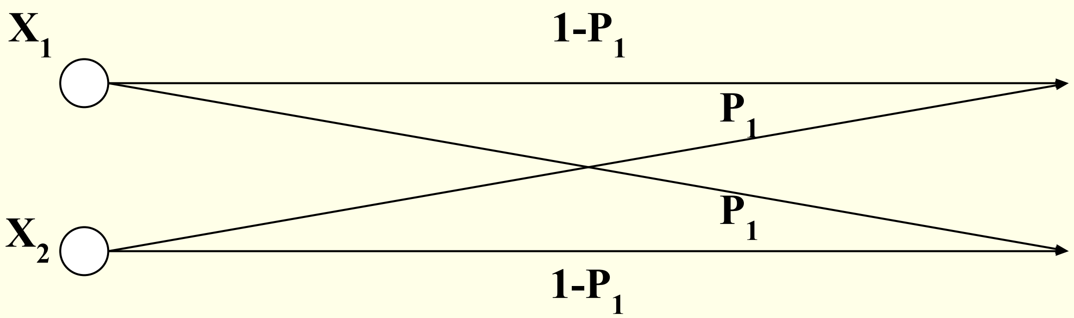
$C_k = \max\limits_{\{p\}}\{dI(B)/dt\},$ *где* $\{p\}$ – множество всех возможных распределений вероятностей входного алфавита символов канала

$C_k = \upsilon_B \max\{I(x,y)\}$ $n, m, l, \upsilon_A, \upsilon_B$ – $\{p\}$ характеристики канала.

5.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

ПРИМЕР

1. Найти пропускную способность двоичного симметричного канала – канала с двухсимвольными входными и выходными алфавитами и одинаковыми вероятностями ошибок (см. рисунок)



если априорные вероятности появления входных символов

$$p(x_1) = p_1 = p, p(x_2) = p_2 = 1 - p$$

5.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

РЕШЕНИЕ. В соответствии с моделью канала условные вероятности

$$p(\frac{y_1}{x_2}) = p(\frac{y_2}{x_1}) = p_l, p(\frac{y_1}{x_1}) = p(\frac{y_2}{x_2}) = 1 - p_l$$

Пропускная способность канала $C_k = \upsilon_B \max\limits_{\{p\}} \{H(Y) - H(Y/X)\}$

Найдем энтропию шума $H(X/Y) = \sum\limits_{i=1}^{2} \sum\limits_{j=1}^{2} p(x_i y_j) \log_2 1/p(y_j/x_i)$

По теореме умножения $p(y_j, x_i) = p(x_i) p(y_j / x_i)$

следовательно, $p(x_1 y_1) = p(1 - p_l)$ $p(x_2 y_1) = (1 - p) p_l$

$p(x_1 y_1) = p p_l$ $p(x_2 y_2) = (1 - p)(1 - p_l)$

Подставляя в формулу, получаем $H(Y/X) = p_l \log_2 1/p_l + (1 - p_l) \log_2 1/(1 - p_l)$

Таким образом, H(Y/X) не зависит от распределения входного алфавита, следовательно,

$$C_k = \upsilon_k \max_{\{p\}} [H(Y)] - \upsilon_н H(Y/X)$$

5.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами

Определим энтропию выхода

$$H(Y) = p(y_1 \log_2)1/p(y_1) + p(y_2)\log_2 1/p(y_2),$$

$$\text{где } \mathrm{p}(y_1) = p(y_1x_1) + p(y_1x_2) = p(1-p_l) + p_l(1-p);$$

$$\mathrm{p}(y_2) = p(y_2x_1) + p(y_2x_2) = pp_l + (1-p)(1-p_l)$$

Таким образом,

$$H(Y) = \left[p(1-p_l) + p_l(1-p)\right]\log_2 1/\left[p(1-p_l) + p_l(1-p)\right] + \left[pp_l + (1-p)(1-p_l)\right]$$
$$\log_2 1/\left[pp_l + (1-p)(1-p_l)\right]$$

Варьируя *p,* убеждаемся, что максимальное значение H/Y, равное *I,* получается при равновероятных входных символах $p(y_1)$ и $p(y_2)$.

Следовательно,

$$C_k = \upsilon_k\left[1 + p_l \log_2 1/p_l + (1-p_l)\log_2 1/(1-p_l)\right].$$

Заключение!!!

Лекция № 5

Часть 1. Условная энтропия и взаимная информация

1.1. Условная энтропия

1.2. Взаимная информация

1.3. Пример с троичным каналом

Часть 2. Каналы передачи информации

2.1. Структурная схема системы передачи информации (повторение)

2.2. Технические и информационные характеристики канала связи без помех

2.3. Обобщенные характеристики сигналов и каналов

Часть 3. Каналы передачи информации с помехами

3.1. Вероятностные модели каналов передачи информации:

– двоичный канал

– троичный канал

3.2. Характеристики каналов передачи информации с помехами