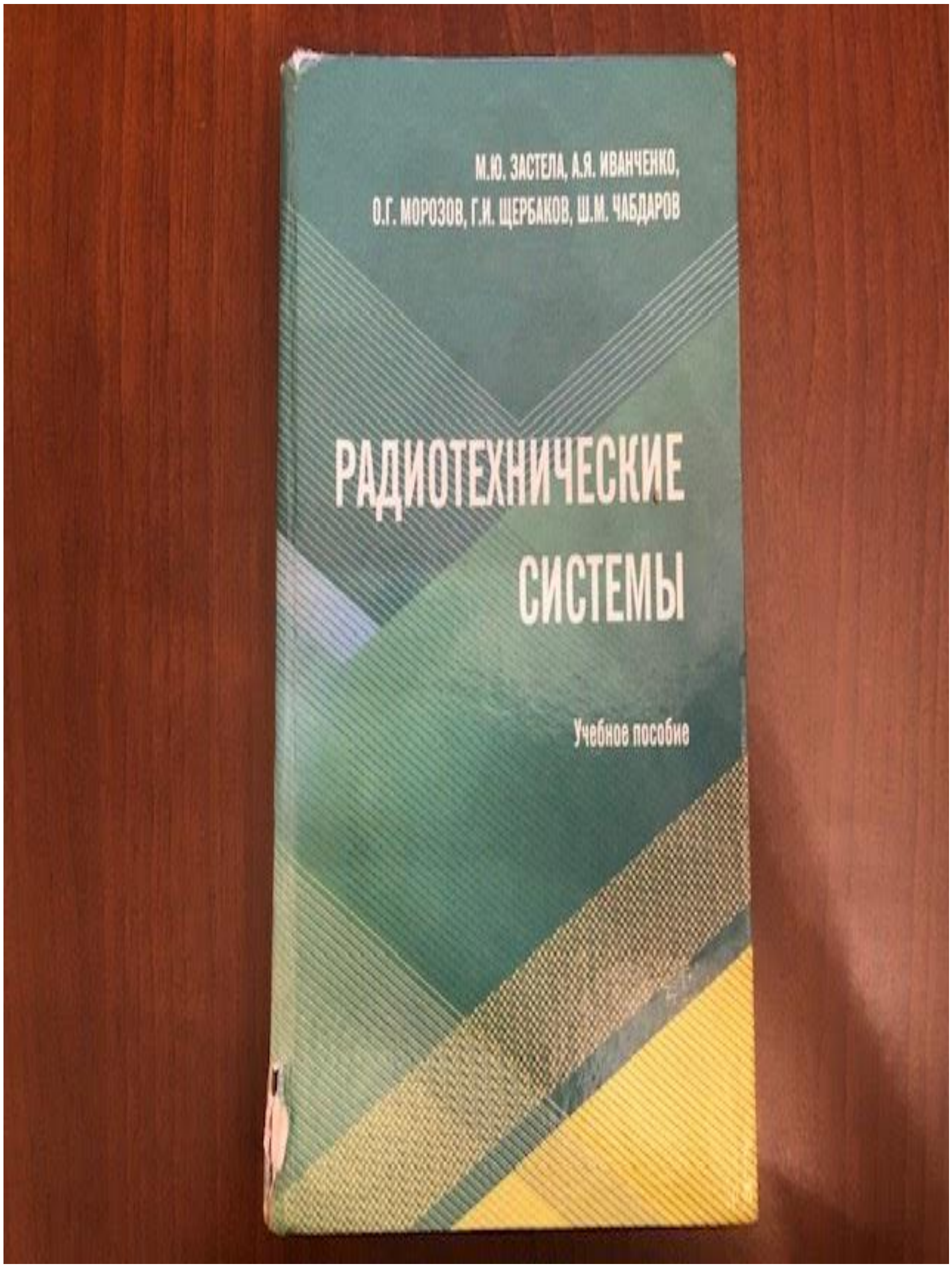

М.Ю. ЗАСТЕЛА, А.Я. ИВАНЧЕНКО,
О.Г. МОРОЗОВ, Г.И. ЩЕРБАКОВ, Ш.М. ЧАБДАРОВ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ
Учебное пособие

Потенциальная помехоустойчивость

Помехоустойчивость РТС - способность системы передавать и восстанавливать (обрабатывать) информацию, заключенную в радиосигналах, с заданной достоверностью при наличии помех.

Потенциальная помехоустойчивость - предельно достижимая помехоустойчивость при заданных сигналах и помехах

Реальная помехоустойчивость — это помехоустойчивость РТС или отдельных ее звеньев с учетом реального выполнения и настройки узлов канала связи (передающего и приемного трактов, радиоканала, кодека, модема и т. д.)

Потенциальная помехоустойчивость

Оптимальная РТС - система, реализующая потенциальную помехоустойчивость в заданном комплексе помех

Оптимальная РТС = оптимальный передатчик + оптимальный приемник

Задачи теории связи

Прямая задача:

по заданному комплексу помех при заданных ограничениях определить оптимальный сигнал и способ приема и синтезировать оптимальные передатчик и приемник;

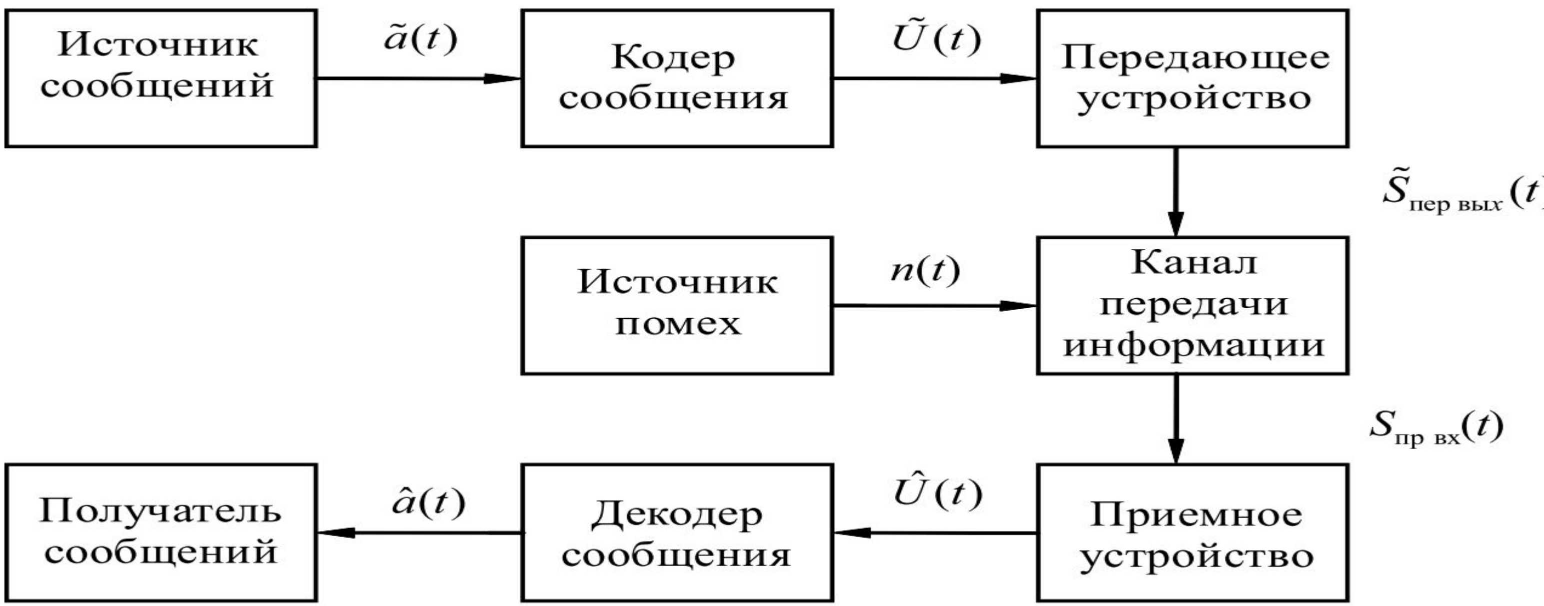
Обратная задача:

для заданной системы передачи, при заданных ограничениях определить эффективную помеху и синтезировать её генератор.

Задачи РТС

- Обнаружение сигнала и различение сигналов;
- Оценка параметров сигналов;
- Фильтрация сигналов;
- Разрешение и распознавание сигналов

Модель и статистические характеристики РТС



Модель и статистические характеристики РТС

Источник сообщений: $\tilde{a}(t)$, $w(\tilde{a})$,

Кодер: $u(t)=\mathbf{U}[\tilde{a}(t)]$, $w(u)$

Передатчик: $s(t)=\mathbf{V}[u(t),f(t)]$, $w(s)$, $f(t)$ – ВЧ сигнал

Радиоканал: $s_{вх.пр.}=\mathbf{K}[s(t), n(t)]$, $w(n)$, $w(s_{вх.пр})$, при известном $s(t)$

Приемник: $\hat{u}(t)=\mathbf{W}[s_{вх.пр}]$, $\hat{a}(t)=\mathbf{U}^{-1}[\hat{u}(t)]$

??$\hat{a}(t)-\tilde{a}(t)$??=min

Постановка задачи оптимизации

- Описать модель РТС
- Выбрать критерий оптимизации

Критерий среднего риска

P*(*S) - вероятности наличия сигнала обнаружение сигнала;

***P*(O)** – вероятность отсутствия сигнала;

P*(реш O|*S) – ошибочное решение при наличии сигнала;

***P*(реш *S*|O)** – ошибочное решение при отсутствии сигнала.

$$\rho = \text{Ц}_{s\to 0}\, P(\text{реш}\,\text{O}|S)P(S) + \text{Ц}_{s\to 0}\, P(\text{реш}\,S|\text{O})P(\text{O})$$

$$\rho \to \min$$

Критерий среднего риска

Сообщение с множеством состояний A = {a}

$$\rho = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} Ц\left(a_i, \hat{a}_j\right) P\left(a_i, \hat{a}_j\right) \quad .$$

$$P\left(a_i, a_j\right) = P\left(a_i\right) P\left(\hat{a}_j \middle| a_i\right)$$

$$\rho = \sum_{i=0}^{k-1} P\left(a_i\right) \sum_{j=0}^{k-1} Ц\left(a_i, \hat{a}_j\right) P\left(\hat{a}_j / a_i\right)$$

$$\rho\left(a_i\right) = \sum_{j=0}^{k-1} Ц\left(a_i, \hat{a}_j\right) P\left(\hat{a}_j / a_i\right)$$

Оптимальное различение сигнала

Дано множество сигналов $A = \{a\}$ от источника информации.

Задача: Определить правило оптимального принятия решения при приеме сигналов (V), если на выходе приемника наблюдаем сигналы b_j, $j=1,2,3, ..., m$ $(m>k)$.

Известны:

a) $P(a_i)$, $i=1,2,3 \ldots k$.

b) форма и параметры (кроме номера *i*) всех k сигналов, которые соответствуют возможным состояниям источника информации в месте приема;

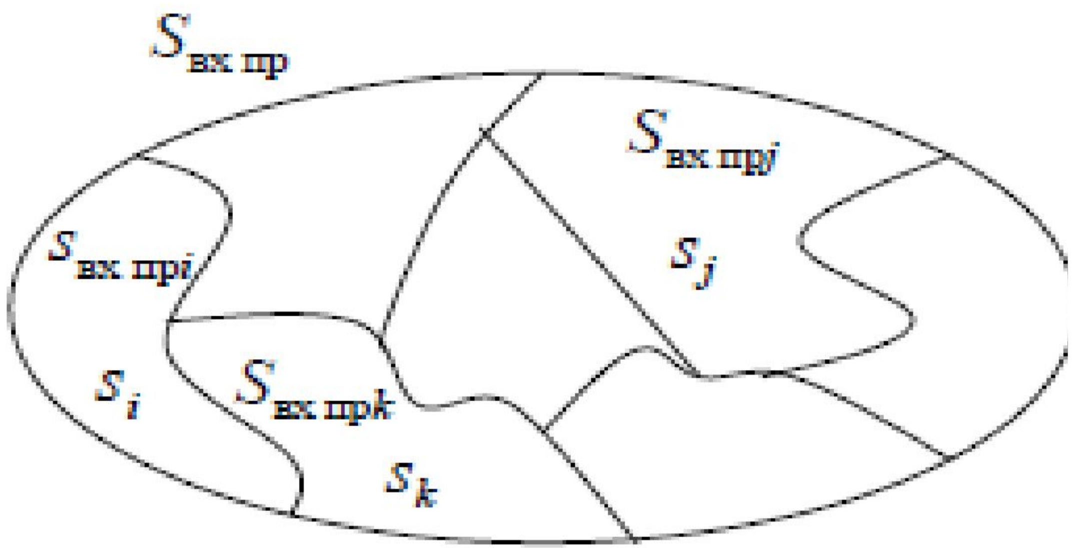
c) вероятностные характеристики помех $W(n)$

d) характер их взаимодействия в канале передачи информации с ожидаемыми сигналами $s_{вх\ пр}=K(s_i,n)$

Оптимальное различение сигнала

Число возможных реализаций принятого сигнала существенно превышает k-алфавит источника. Задача приемника - разделить все пространство реализации $S_{вх\ пр}$ на k подпространств, принять решение о передаче *j*-го сигнала только в случае попадания реализации $s_{вх\ пр}$ в *j*-е пространство. Приемник будет оптимальным , если такое разбиения пространства $S_{вх\ пр}$ на k подпространств обеспечивает минимальные средние потери.

Оптимальное различение сигнала (пространство принятия решения)



Оптимальное различение сигнала

$d(s_{вх\,пр})$ решающая функция. Тогда $d(s_{вх\,пр}) = b_j$, если $s_{вх\,пр} \in S_{вх\,пр j}$.

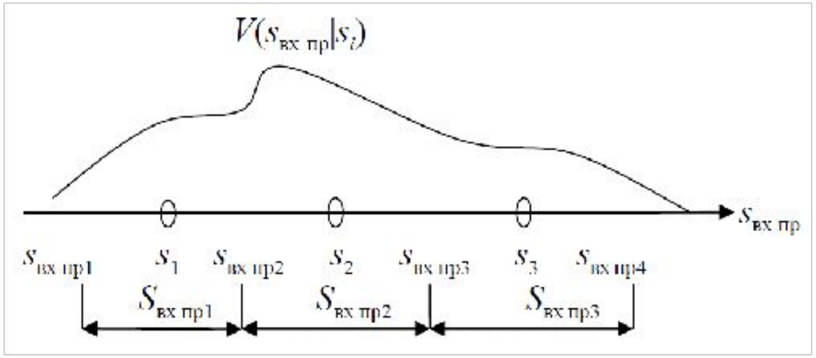
Из-за помех, вектор $s_{вх\,пр}$ при передаче сигнала S_i может оказаться в любой точке пространства $s_{вх\,пр}$, причем точка необязательно будет принадлежать области переданного сигнала (ошибочные решения). Задача оптимизации оператора V – разделить пространство $s_{вх\,пр}$ на k областей таким образом, чтобы обеспечивался минимальный средний риск при заданной функции потерь.

Оптимальная система приема сигналов делит на области $s_{вх\,пр i}$, i = 0, ..., k-1 так, что выполнялись условия:

$$\rho = \sum_{i=0}^{k-1}\sum_{j=0}^{k-1} Ц\left(a_i, \hat{a}_j\right) P\left(a_i, \hat{a}_j\right) = \rho_{\min}\ .$$

Оптимальное различение сигнала

Если известна статистика помех и характер взаимодействия сигнала известной формы и помехи в канале передачи информации, то можно вычислить условную плотность распределения принятых $s_{вх\ пр}$ для каждого передаваемого сигнала $w(s_{вх\ пр}|s_i)$ (функция правдоподобия)



Пример функции правдоподобия

Оптимальное различение сигнала

$$P\left(\hat{a}_j / a_i\right) = \int\limits_{S_{вх\,пр\,j}} W\left(S_{вх\,пр} / S_i\right) dS_{вх\,пр} = \int\limits_{S_{вх\,пр\,j}} W\left(S_{вх\,пр} / a_i\right) dS_{вх\,пр}.$$

Тогда средний риск определиться, как:

$$\rho = \sum_{j=0}^{k-1} \sum_{i=0}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_j, a_i\right) P(a_i) \int\limits_{S_{вх\,пр\,j}} W\left(S_{вх\,пр} / a_i\right) dS_{вх\,пр} =$$

$$= \sum_{j=0}^{k-1} \int\limits_{S_{вх\,пр\,j}} dS_{вх\,пр} \sum_{i=0}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_j, a_i\right) P\left(S_{вх\,пр\,i}\right) W\left(S_{вх\,пр} / a_i\right) =$$

$$\int\limits_{S_{вх\,пр\,j}} dS_{вх\,пр} \sum_{i=0}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_j, a_i\right) P(a_i) W\left(S_{вх\,пр} / a_i\right)$$

Значение среднего риска минимально, если каждой реализации $S_{вх\,пр}$ оценка $\hat{a}_i$ выбирается таким образом, из всех *K* сумм вида $\sum_i Ц(a_k, a_i) P(a_i) W\left(S_{вх\,пр} | a_i\right)$, $k = 0,1,\ldots,k-1$, наименьшей является *j*-я, т.е. при фиксированном *j* удовлетворяется система уравнений, состоящая из k-1 неравенств

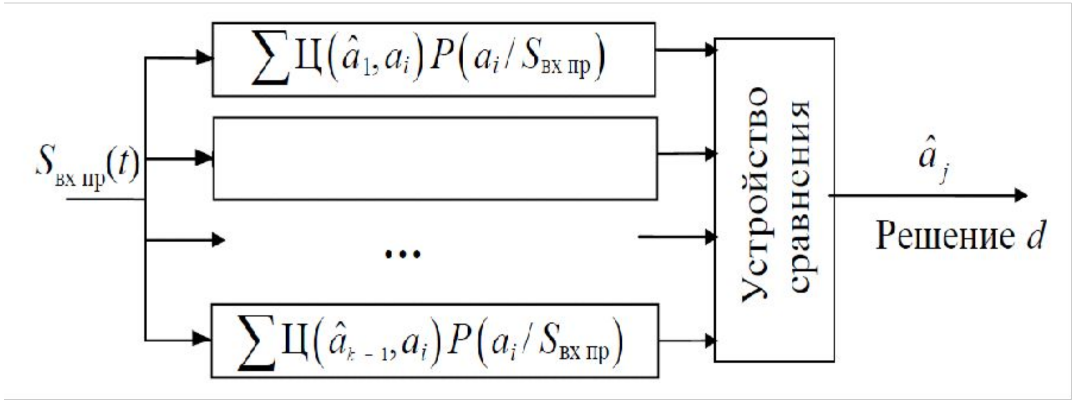
$$\sum_{i=0}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_j, a_i\right) P(a_i) W\left(S_{вх\,пр} | a_i\right) \le \sum_{i=1}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_k, a_i\right) P(a_i). \qquad \text{или}$$

Оптимальное

$$\sum_{i=0}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_j, a_i\right) P\left(a_i \middle| S_{вх\,пр}\right) \le \sum_{i=0}^{k-1} Ц\left(\hat{a}_k, a_i\right) P\left(a_i \middle| S_{вх\,пр}\right), \quad k = 0,1,\ldots,k-1;\ j \ne k\ .$$

$P\left(a_i \middle| S_{вх\,пр}\right)$ - апостериорная вероятность *i*-го состояния источника информации.

Оптимальное различение сигнала



При k=0,1 различитель двоичных сигналов (оптимальный приемник двоичных сигналов) должен принимать решение, что k=1, если

$$Ц(\hat{a}_1, a_0)P(a_0)W(S_{вх\ пр}|a_0) + Ц(\hat{a}_1, a_1)P(a_1)W(S_{вх\ пр}|a_1) <$$
$$< Ц(\hat{a}_0, a_0)P(a_0)W(S_{вх\ пр}|a_0) + Ц(\hat{a}_0, a_1)P(a_1)W(S_{вх\ пр}|a_1).$$

Откуда получим

$$\Lambda(S_{вх\ пр}) = \frac{W(S_{вх\ пр}|a_1)}{W(S_{вх\ пр}|a_0)} \le \frac{[Ц(a_1, a_0) - Ц(a_0, a_0)]P(a_0)}{[Ц(a_0, a_1) - Ц(a_1, a_1)]P(a_1)} = \alpha,$$

где $W(S_{вх\ пр}|a_1)/W(S_{вх\ пр}|a_0) = \Lambda(S_{вх\ пр})$ - отношение правдоподобия,

a, - пороговый уровень

Критерий Неймана-Пирсона

$s_{вх\,пр0}$ - состояние «0» (отсутствие сигнала);

$s_{вх\,пр1}$ - состояние «1» (наличие сигнала на входе приемника)

Принятие решения – выбор в пользу одной из возможных гипотез:

H_0 – гипотеза «сигнала нет»

H_1 – гипотеза «сигнал есть»

При принятии решения возможны 4 ситуации:

1)Сигнала нет ($s_{вх\,пр\,0}$), решение - сигнал есть (H_1)

2) Сигнала нет ($s_{вх\,пр0}$), решение - сигнала нет (H_0)

3) Сигнал есть ($s_{вх\,пр1}$), решение – сигнала нет (H_0)

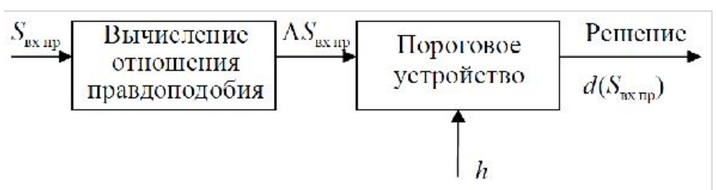
4)Сигнал есть ($s_{вх\,пр1}$), решение – сигнал есть (H_1)

Критерий Неймана-Пирсона

$P\left(S_{вх\,пр\,1}\middle|H_1\right)$ - вероятность принятия решения о наличии сигнала при его реальном отсутствии. Ошибка второго рода (ошибка ложной тревоги)

$P\left(S_{вх\,пр\,1}\middle|H_1\right)$ - вероятность принятия решения об отсутствии сигнала при его реальном наличии. Ошибка первого рода (ошибка пропуска сигнала)

$\Lambda\left(S_{вх\,пр}\right) = W\left(S_{вх\,пр}\middle|H_0\right) / W\left(S_{вх\,пр}\middle|H_1\right) \geq h$



Критерий Вальда

Критерий Неймана – Пирсона используется при фиксированном объеме выборки $s_{вх\,пр}$. (одно наблюдение)

Критерий Вальда - объем выборки заранее не известен (время наблюдения не ограничено).

$\Lambda_k(S_{вх\,пр}) = W(S_{вх\,пр\,1},\ldots,S_{вх\,пр\,k}|0)/W(S_{вх\,пр\,a},\ldots,S_{вх\,пр\,k}|1)$ – отношение правдоподобия на k-м шаге наблюдения; $d(S_{вх\,пр})$ – правило принятия решения. Тогда процедура обнаружения определяется как:

$$d(S_{вх\,пр1},\ldots,S_{вх\,пр k}) = \begin{cases} d_0, \Lambda_k \le a; \\ d_1, \Lambda_k \ge b; \quad k = 1,2,\ldots, \\ d_{пр}, a < \Lambda_k < b, \end{cases}$$

a и b – нижний и верхний пороги; d_0 и d_1 – решение «нет цели» и «есть цель» соответственно; $d_{\text{пр}}$ – решение о продолжении наблюдения.

Величины a и b определяются по заданным значениям вероятностей ложной тревоги и пропуска цели