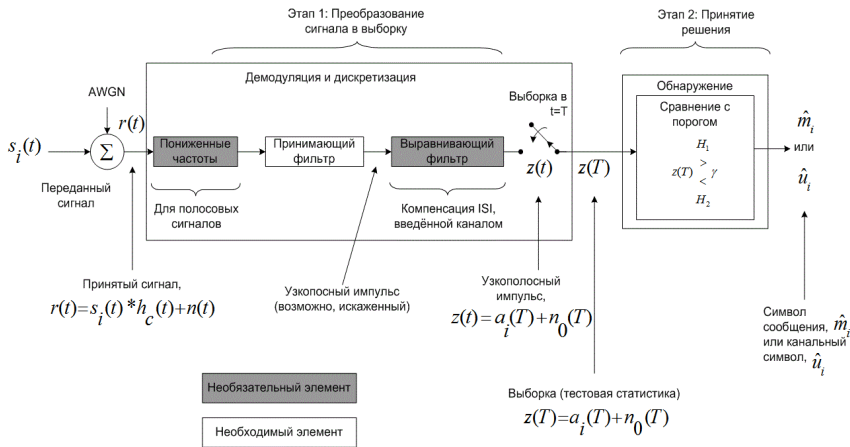


# Телекоммуникационные технологии

## Демодуляция цифровых сигналов

# Демодуляция цифровых сигналов

# Демодуляция BPSK



# Формирование сигнала при демодуляции BPSK

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) & 0 \leq t \leq T \\ s_2(t) & 0 \leq t \leq T \end{cases}$$

$$r(t) = s(t) * h_c(t) + n(t)$$

или, в случае идеальной характеристики канала ( $h_c(t) = \delta(t)$ ):

$$r(t) = s(t) + n(t); i = 0, 1; 0 \leq t \leq T$$

$$z(T) = a_i(T) + n_0(T); i = 0, 1;$$

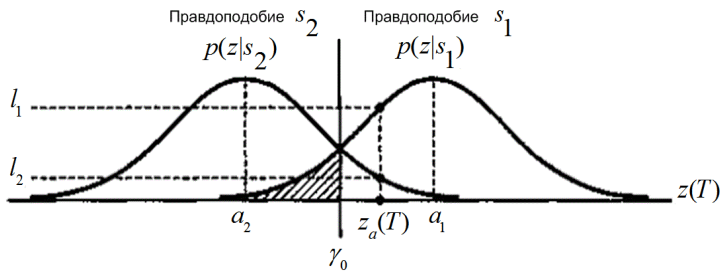
# Шум - гауссова случайная величина

$$z(T) = a_i(T) + n_0(T); i = 0, 1;$$

$$p(n_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\frac{n_0^2}{2\sigma_0^2}}$$

тогда:

$$p(z/s_i) = \begin{cases} p(z/s_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\frac{(z-a_1)^2}{2\sigma_0^2}} \\ p(z/s_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{-\frac{(z-a_2)^2}{2\sigma_0^2}} \end{cases}$$

Гипотезы  $H_1$  и  $H_2$ 

$$z(T) \underset{H_2}{\overset{H_1}{\geq}} \gamma_0 \rightsquigarrow \begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix}$$

# ML-критерий

$$\frac{p(z/s_1)}{p(z/s_2)} \underset{H_2}{\overset{H_1}{\geq}} \frac{P(s_1)}{P(s_2)}$$

Если отношение правдоподобий  $\frac{p(z/s_1)}{p(z/s_2)}$  больше отношения априорных вероятностей  $\frac{P(s_1)}{P(s_2)}$ , то следует выбирать  $H_1$ , иначе -  $H_2$ .

# ML-критерий для равновероятных символов.

## Критерий минимума ошибки

$$z(T) \underset{H_2}{\overset{H_1}{\gtrless}} \frac{a_1 + a_2}{2} = \gamma_0$$

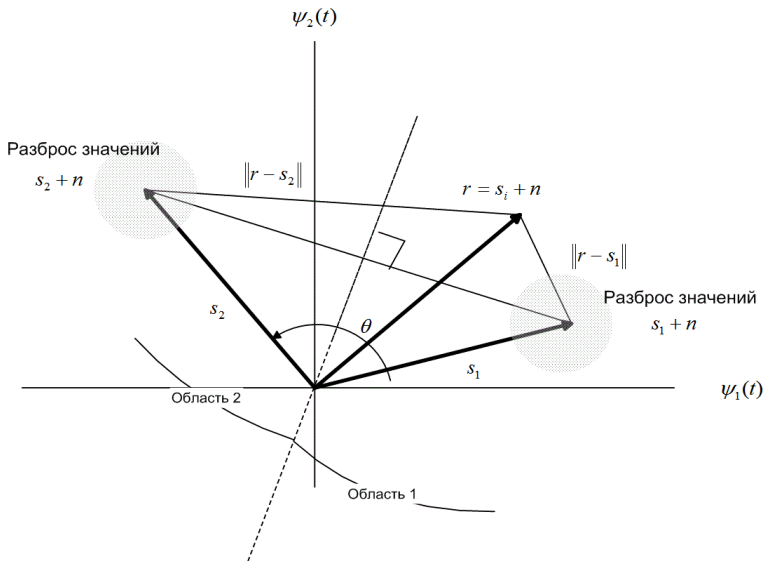
где

$$\gamma_0 = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

- оптимальный порог для минимизации вероятности принятия неверного решения в случае равновероятных символов:  $P(s_1) = P(s_2)$ , законы распределения  $p(z/s_1)$  и  $p(z/s_2)$  симметричны.



# Области принятия решения



# Вывод

При  $p(z/s_1) > p(z/s_2)$  принимается решение, что переданный сигнал  $s_1(t)$ , иначе  $s_2(t)$ .

Детектор, минимизирующий вероятность ошибки (для классов равновероятных сигналов), называется **детектором максимального правдоподобия**.

# Сигнальные созвездия BPSK

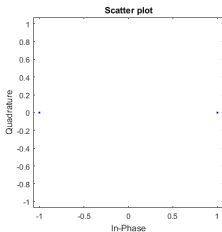


Рис.: BPSK,  
 $SNR = \infty$

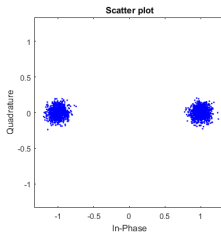


Рис.: BPSK,  
 $SNR = 20\text{dB}$

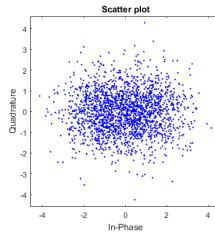


Рис.: BPSK,  
 $SNR = -3\text{dB}$

# Сигнальные созвездия 8-PSK

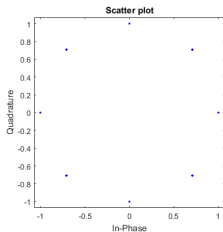


Рис.: 8-PSK,  
 $SNR = \infty$

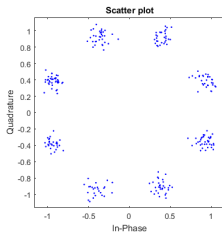


Рис.: 8-PSK,  
 $SNR = 20\text{dB}$

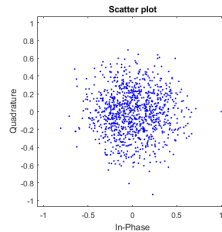


Рис.: 8-PSK,  
 $SNR = -3\text{dB}$

# Отношение сигнал-шум

$$SNR = \frac{E_b}{N_0} = \frac{ST_b}{N/W} = \frac{S/R_b}{N/W} = \frac{S}{N} \left( \frac{W}{R_b} \right)$$

- ▶  $SNR$  - стандартная качественная **мера производительности** систем цифровой связи;
- ▶  $SNR$  - метрика для сравнения производительности различных систем: чем меньше требуемое  $SNR$ , тем эффективнее **алгоритм** обнаружения бинарного сигнала при заданной вероятности ошибки в канале.

# Зависимость вероятности появления ошибочного бита $P_b$ от $SNR$

