

ЛЕКЦИЯ №9. Обнаружение пакетов импульсов (когерентный, некогерентный, флуктуирующий пакеты). Оптимальный прием на фоне небелого шума.

2.3.5. Обнаружение пакетов импульсов

Пакет импульсов это последовательность N сигналов, излучаемых с временным интервалом T_n . В результате прохождения по каналу со случайными параметрами характеристики пакета могут измениться и в приемнике импульсы в пакете могут приобрести случайные значения параметров амплитуды, фазы и т.п.

Наиболее типичны следующие случаи:

- 1) Когерентный пакет - импульсы пакета полностью известны на приемной стороне;
- 2) Когерентный пакет со случайной начальной фазой - импульсы пакета полностью известны на приемной стороне с точностью до общей начальной фазы;
- 3) Когерентный пакет со случайной начальной фазой и амплитудой («дружно» флуктуирующий пакет) - импульсы пакета полностью известны на приемной стороне с точностью до общей амплитуды и начальной фазы;
- 4) Некогерентный пакет - импульсы пакета имеют случайные независимые начальные фазы;
- 5) Флуктуирующий пакет - импульсы пакета имеют случайные независимые амплитуды и начальные фазы;

Рассмотрим последовательно каждый из этих случаев.

а) Обнаружение когерентного пакета

Модель наблюдаемого сигнала можно записать в виде

$$x(t) = \theta \sum_{i=0}^{N-1} a_i s_0(t - iT_n) + n(t), \quad (2.84)$$

где $\theta = 1$, если верна гипотеза H_1 и $\theta = 0$ если справедлива гипотеза H_0 , $n(t)$ - реализация белого гауссовского шума, $\{a_i\}$ - амплитуды импульсов пакета.

Алгоритм обнаружения в этом случае полностью соответствует алгоритму обнаружения детерминированного сигнала и может быть представлен в виде

$$Z \stackrel{H_1}{\geq} Z_0, \quad (2.85)$$

где

$$Z = \int_0^T x(t) \sum_{i=0}^{N-1} a_i s_0(t - iT_n) dt = \sum_{i=0}^{N-1} a_i \int_0^T x(t) s_0(t - iT_n) dt,$$

$$Z_0 = \frac{N_0}{2} \ln(\eta) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 E_0.$$

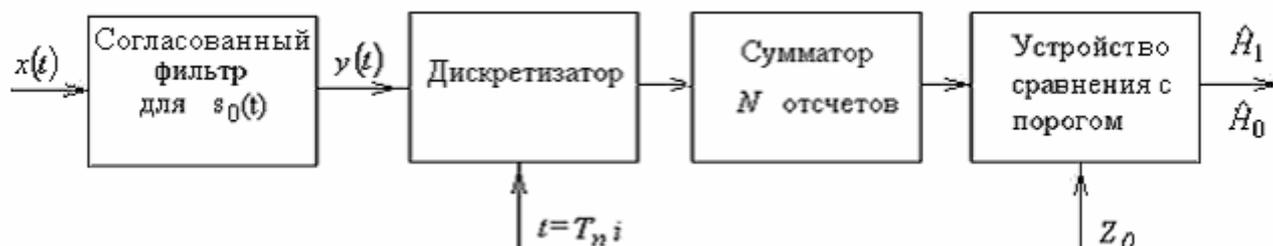


Рис.2.11. Структурная схема обнаружителя когерентного пакета.

Помехоустойчивость обнаружителя когерентного пакета описывается формулами (2.33) и (2.34)

$$p_{лт} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{h_0}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2}} \right), \quad p_{нц} = \operatorname{erf} \left(\frac{h_0}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2}} - \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 q_0} \right), \quad (2.86)$$

где h_0 - модифицированный порог и q_0 - коэффициент различимости, вычисленные для сигнала $s_0(t)$.

б) Обнаружение когерентного пакета со случайной начальной фазой

Модель наблюдаемого сигнала можно записать в виде

$$x(t) = \theta \operatorname{Re} \left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t + \varphi) \right) + n(t), \quad (2.87)$$

где $\theta = 1$, если верна гипотеза H_1 и $\theta = 0$ если справедлива гипотеза H_0 , $n(t)$ - реализация белого гауссовского шума, $\{a_i\}$ - амплитуды импульсов пакета, φ - случайная фаза, имеющая равномерное распределение вероятностей на интервале $(-\pi; \pi)$.

Алгоритм обнаружения в этом случае полностью соответствует алгоритму обнаружения сигнала со случайной фазой и может быть представлен в виде

$$|\dot{Z}|^{H_1} \geq Z_0, \quad (2.88)$$

где

$$\begin{aligned} |\dot{Z}| &= \frac{1}{2} \left| \int_0^T X^*(t) e^{-j\omega_0 t} \sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t) dt \right| = \\ &= \frac{1}{2} \left| \sum_{i=0}^{N-1} a_i \int_0^T X^*(t) \dot{S}_0(t - iT_n) dt \right|, \\ Z_0 &= \frac{N_0}{2} \operatorname{lf} \left(\ln(\eta) + \frac{E_0}{N_0} \sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 \right). \end{aligned}$$

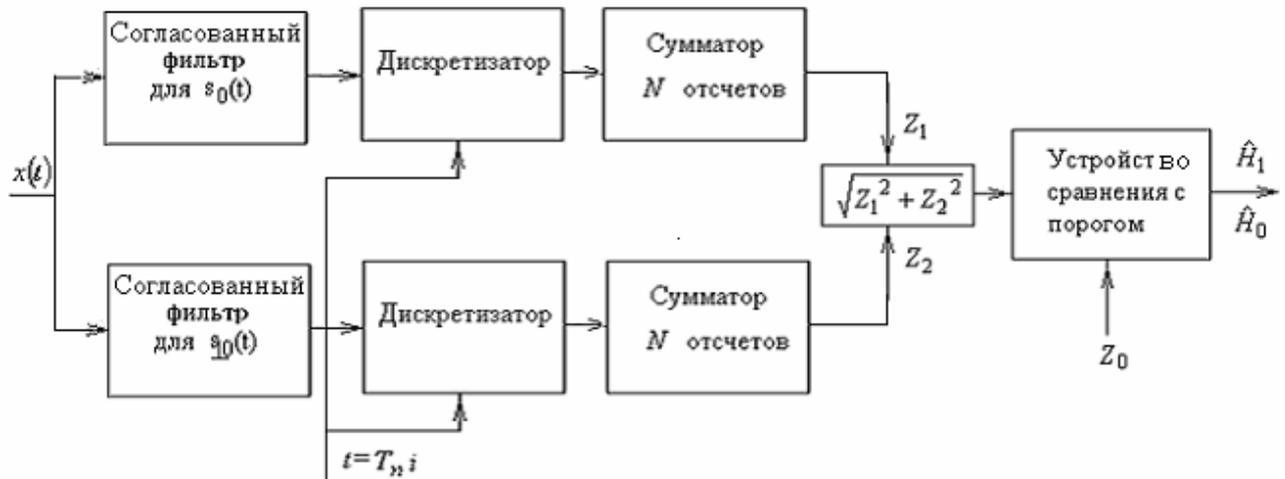


Рис.2.12. Структурная схема обнаружителя когерентного пакета со случайной фазой.

Помехоустойчивость обнаружителя когерентного пакета со случайной фазой описывается формулами (2.58) и (2.59)

$$p_{лт} = \exp\left(-\frac{h_0^2}{2\left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2\right)}\right), \quad p_{нц} = 1 - Q\left(\frac{h_0}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2}}, \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} a_i^2 q_0}\right), \quad (2.89)$$

где h_0 - модифицированный порог и q_0 - коэффициент различимости, вычисленные для сигнала $s_0(t) = \text{Re}(a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t))$.

в) Обнаружение «дружно» флуктуирующего пакета

Модель наблюдаемого сигнала можно записать в виде

$$x(t) = \theta \text{Re}\left(\gamma \sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t + \varphi)\right) + n(t), \quad (2.90)$$

где $\theta = 1$, если верна гипотеза H_1 и $\theta = 0$ если справедлива гипотеза H_0 , $n(t)$ - реализация белого гауссовского шума, $\{a_i\}$ - амплитуды импульсов пакета, φ - случайная фаза, имеющая равномерное распределение вероятностей на интервале $(-\pi; \pi)$, γ - случайная амплитуда пакета.

Очевидно, что структура оптимального обнаружителя «дружно» флуктуирующего пакета соответствует структуре некогерентного обнаружителя когерентного пакета со случайной фазой, показанной на Рис.2.12 и отличается только значением порога, который определяется в виде

$$f(v) = \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{\gamma^2 E_0}{N_0} \sum_{i=0}^{N-1} a_i^2\right) I_0\left(\frac{2\gamma v}{N_0}\right) p(\gamma) d\gamma, \quad (2.91)$$

$$Z_0 = f^{-1}(\eta),$$

где $f^{-1}(\bullet)$ - функция обратная к $f(\bullet)$.

Помехоустойчивость обнаружителя «дружно» флуктуирующего пакета в случае релейских замираний и $a_i = 1$ описывается формулами (2.58) и (2.69) в которых $h = \frac{h_0}{\sqrt{N}}$, $q = \sqrt{N}q_0$.

з) Обнаружение некогерентного пакета

Модель наблюдаемого сигнала можно записать в виде

$$x(t) = \theta \operatorname{Re} \left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t + \varphi_i) \right) + n(t), \quad (2.92)$$

где $\theta = 1$, если верна гипотеза H_1 и $\theta = 0$ если справедлива гипотеза H_0 , $n(t)$ - реализация белого гауссовского шума, $\{a_i\}$ - амплитуды импульсов пакета, $\{\varphi_i\}$ - независимые друг от друга случайные фазы, имеющие равномерное распределение вероятностей на интервале $(-\pi; \pi)$.

По аналогии с (2.38) получим

$$\Lambda(x, \varphi_1, \dots, \varphi_N) = c \cdot \exp \left\{ \frac{2Z(\varphi_1, \dots, \varphi_N) - E_s(\varphi_1, \dots, \varphi_N)}{N_0} \right\}. \quad (2.93)$$

Определим энергию сигнала

$$\begin{aligned} E_s(\varphi_1, \dots, \varphi_N) &= \int_0^T \left(\operatorname{Re} \left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t + \varphi_i) \right) \right)^2 dt = \\ &= \operatorname{Re} \left(\int_0^T \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j \dot{S}_0(t - iT_n) S_0^*(t - jT_n) \exp(j\varphi_i) \exp(-j\varphi_j) dt \right) = \\ &= \operatorname{Re} \left(\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} a_i a_j \exp(j\varphi_i) \exp(-j\varphi_j) \int_0^T \dot{S}_0(t - iT_n) S_0^*(t - jT_n) dt \right) = E_0 \sum_{j=0}^{N-1} a_j^2, \end{aligned}$$

где E_0 - энергия сигнала $s_0(t)$.

Корреляционный интеграл получим в виде

$$\begin{aligned} Z(\varphi_1, \dots, \varphi_N) &= \int_0^T x(t) \operatorname{Re} \left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t + \varphi_i) \right) dt = \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} a_i \left| \dot{Z}_i \right| \cos(\varphi_i - \arg(\dot{Z}_i)), \end{aligned} \quad (2.94)$$

где

$$\dot{Z}_i = \frac{1}{2} \int_0^T X^*(t) \dot{S}_0(t - iT_n) dt.$$

Тогда

$$\Lambda(x, \varphi_1, \dots, \varphi_N) = c \cdot \exp \left\{ -\frac{E_0 \sum_{j=0}^{N-1} a_j^2}{N_0} \right\} \prod_{i=1}^N \exp \left\{ \frac{2a_i |\dot{Z}_i| \cos(\varphi_i - \arg(\dot{Z}_i))}{N_0} \right\}, \quad (2.95)$$

$$\begin{aligned} \Lambda(x) &= \int_{-\pi}^{\pi} \dots \int_{-\pi}^{\pi} \Lambda(x, \varphi_1, \dots, \varphi_N) d\varphi_1 \dots d\varphi_N = \\ &= c \cdot \exp \left\{ -\frac{E_0 \sum_{j=0}^{N-1} a_j^2}{N_0} \right\} \prod_{i=1}^N I_0 \left(\frac{2a_i |\dot{Z}_i|}{N_0} \right). \end{aligned} \quad (2.96)$$

Алгоритм обнаружения можно записать в виде

$$\sum_{i=1}^N \ln \left(I_0 \left(\frac{2a_i |\dot{Z}_i|}{N_0} \right) \right) \stackrel{H_1}{\geq} \ln(\eta) + \frac{1}{N_0} E_0 \sum_{j=0}^{N-1} a_j^2 = Z_0 \quad (2.97)$$

Структура приемника, соответствующая данному алгоритму для случая $a_i = 1$, показана на следующем рисунке.

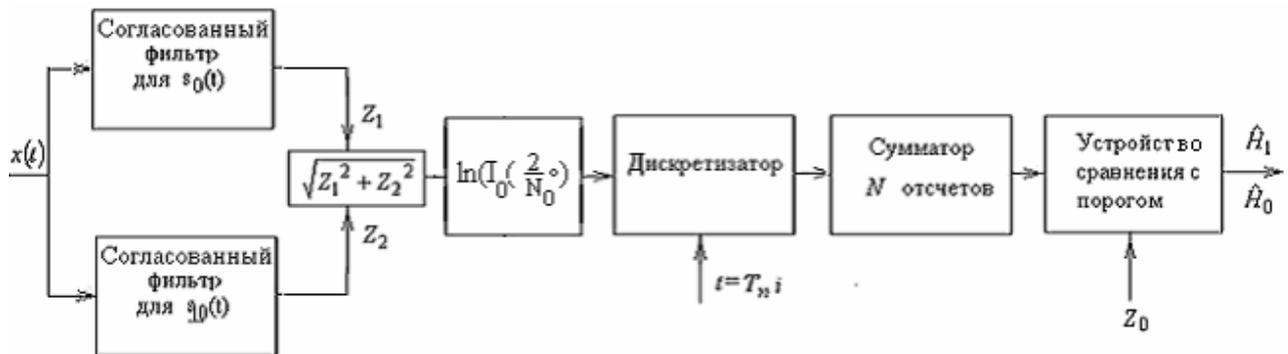


Рис.2.13. Структурная схема обнаружителя некогерентного пакета.

В случае «слабых» сигналов, т.е. когда $q < 1$ некогерентная обработка пачки импульсов, как правило, практически бесполезна. Поэтому проанализируем помехоустойчивость обнаружителя некогерентного пакета в случае «сильных» сигналов, т.е. когда $q \gg 1$. В этом случае $\ln(I_0(x)) \approx x$ и алгоритм приема можно записать в виде

$$S = \sum_{i=1}^N |\dot{Z}_i| \stackrel{H_1}{\geq} Z_0 \frac{N_0}{2}. \quad (2.98)$$

Для больших N случайную величину S можно считать гауссовской в силу центральной предельной теоремы теории вероятностей.

Определим характеристики S в предположении справедливости гипотезы H_0 . В этом случае $\{\dot{Z}_i\}$ - независимы и имеют распределение Рэля. Тогда получим

$$\begin{aligned}\mathbf{M}\{S|H_0\} &= N\sqrt{\frac{\pi}{4}N_0E_0} = Nm_{10}, \\ \mathbf{D}\{S|H_0\} &= N\frac{(4-\pi)N_0E_0}{4} = NM_{20},\end{aligned}\quad (2.99)$$

$$p(Z|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M_{20}}} e^{-\frac{(Z-Nm_{10})^2}{2(NM_{20})}}.$$

Определим характеристики S в предположении справедливости гипотезы H_1 . $\{\dot{Z}_i\}$ - независимы и имеют распределение Райса. Тогда получим

$$\begin{aligned}\mathbf{M}\{S|H_1\} &= \\ &= N\sqrt{\frac{\pi}{4}N_0E_0} \left[\left(1 + \frac{E_0}{N_0}\right) I_0\left(\frac{E_0}{2N_0}\right) + \frac{E_0}{N_0} I_1\left(\frac{E_0}{2N_0}\right) \right] \exp\left(-\frac{E_0}{2N_0}\right) = Nm_{11},\end{aligned}\quad (2.100)$$

$$\mathbf{D}\{S|H_1\} = N((N_0 + E_0)E_0 - m_{11}^2) = NM_{21},$$

$$p(Z|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi M_{21}}} e^{-\frac{(Z-Nm_{11})^2}{2(NM_{21})}},$$

Получим характеристики обнаружения в виде

$$\begin{aligned}P_{лм} &= \int_{Z_0 \frac{N_0}{2}}^{+\infty} p(Z|H_0) dz = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{N}} \frac{Z_0 N_0}{2\sqrt{M_{20}}} - \sqrt{N} \frac{m_{10}}{\sqrt{M_{20}}}\right), \\ P_{нц} &= \int_{-\infty}^{Z_0 \frac{N_0}{2}} p(Z|H_1) dz = \operatorname{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{N}} \frac{Z_0 N_0}{2\sqrt{M_{21}}} - \sqrt{N} \frac{m_{11}}{\sqrt{M_{21}}}\right).\end{aligned}\quad (2.101)$$

д) Обнаружение флуктуирующего пакета

Модель наблюдаемого сигнала можно записать в виде

$$x(t) = \theta \operatorname{Re} \left(\sum_{i=0}^{N-1} a_i \dot{S}_0(t - iT_n) \exp(j2\pi f_0 t + \varphi_i) \right) + n(t), \quad (2.102)$$

где $\theta = 1$, если верна гипотеза H_1 и $\theta = 0$ если справедлива гипотеза H_0 , $n(t)$ - реализация белого гауссовского шума, $\{a_i\}$ - случайные, независимые друг от друга амплитуды импульсов пакета, имеющие одинаковое распределение вероятностей $g(a)$, $\{\varphi_i\}$ - независимые друг от друга случайные фазы, имеющие

равномерное распределение вероятностей на интервале $(-\pi; \pi)$.

Для независимых флуктуаций

$$\Lambda(x, a_1, \dots, a_N, \varphi_1, \dots, \varphi_N) = \prod_{i=1}^N \exp\left\{-\frac{E_0 a_i^2}{N_0}\right\} \exp\left\{\frac{2a_i |\dot{Z}_i| \cos(\varphi_i - \arg(\dot{Z}_i))}{N_0}\right\}. \quad (2.103)$$

С учетом (2.96) и релеевского распределения амплитуд получим

$$\begin{aligned} \Lambda(x) &= \int_0^\infty \dots \int_0^\infty \prod_{i=1}^N \exp\left\{-\frac{E_0 a_i^2}{N_0}\right\} I_0\left(\frac{2a_i |\dot{Z}_i|}{N_0}\right) g(a_i) da_1 \dots da_N = \\ &= c \prod_{i=1}^N \exp\left\{-\frac{|\dot{Z}_i|^2}{N_0^2 \left(1 + \frac{q_0^2}{2}\right)}\right\}. \end{aligned} \quad (2.104)$$

Алгоритм приема имеет вид

$$S = \sum_{i=1}^N |\dot{Z}_i|^2 \stackrel{H_1}{\geq} Z_0. \quad (2.105)$$

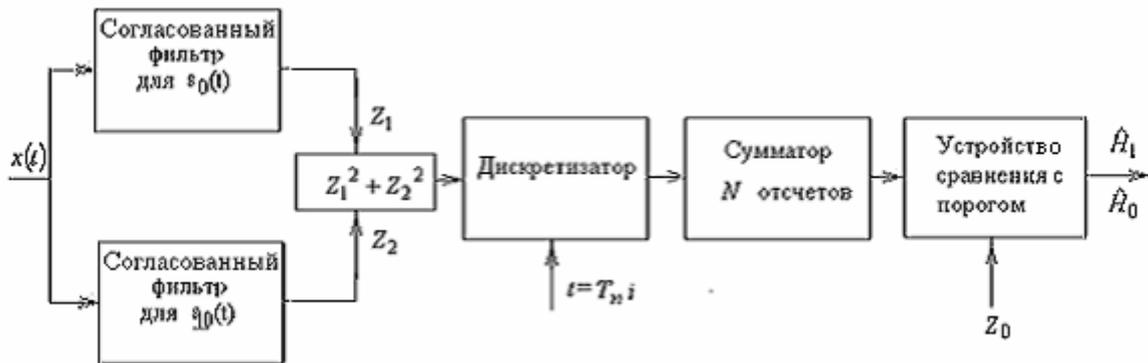


Рис.2.14. Структурная схема обнаружителя флуктуирующего пакета.

Проанализируем помехоустойчивость обнаружителя флуктуирующего пакета в случае релеевских замираний с параметром $\sigma_a^2 = \frac{1}{4 - \pi}$.

Если справедлива гипотеза H_0 , то $\text{Re}(\dot{Z}_i)$ и $\text{Im}(\dot{Z}_i)$ независимы и имеют распределение Гаусса с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\frac{N_0 E_0}{2}$. Если справедлива гипотеза H_1 , то $\text{Re}(\dot{Z}_i)$ и $\text{Im}(\dot{Z}_i)$ независимы и имеют распределение Гаусса с нулевым математическим ожиданием и дисперсией $\frac{N_0 E_0}{2} + E_0$.

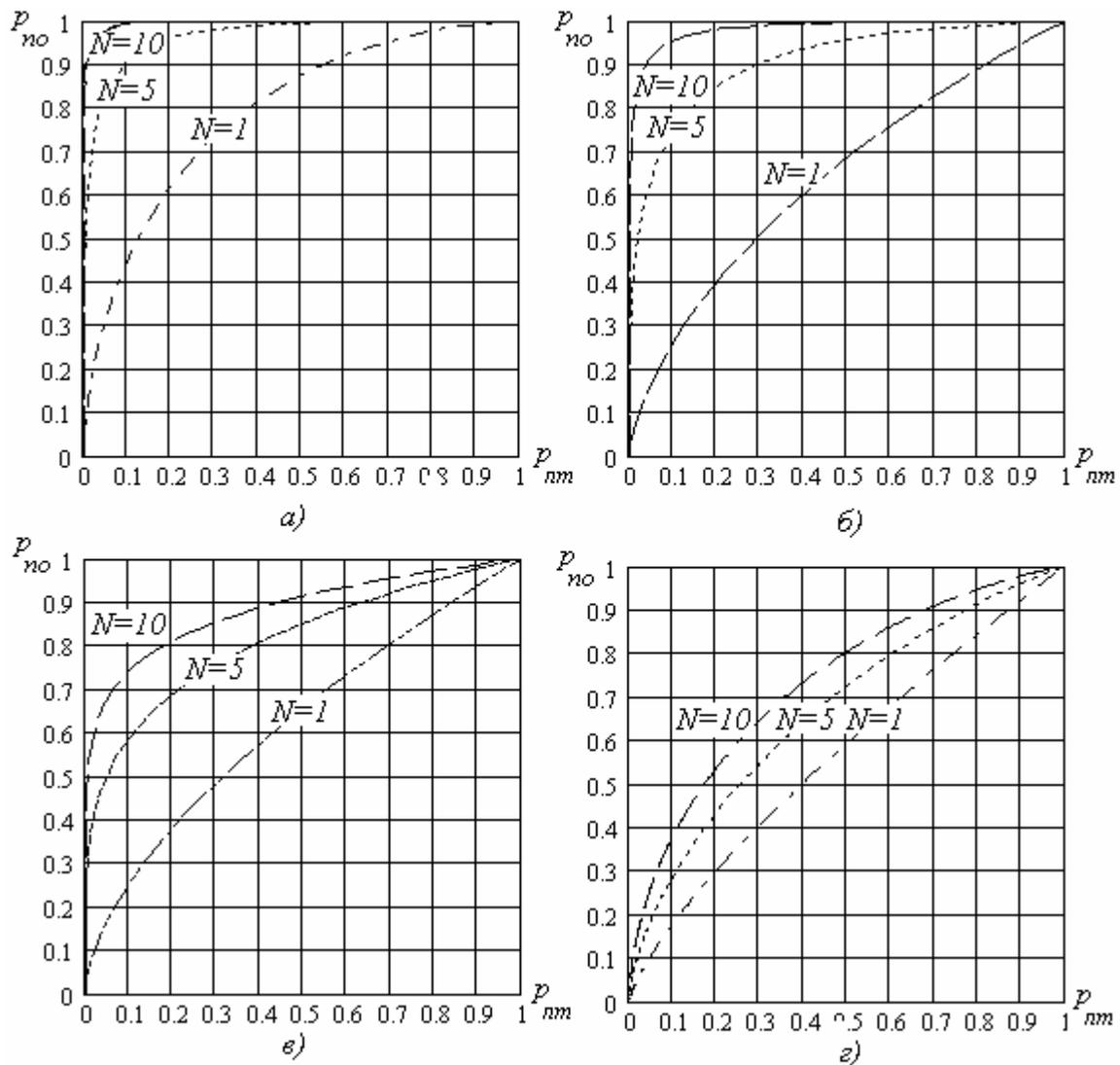


Рис.2.15. Характеристики помехоустойчивости обнаружителей пакетов импульсов для $q=1.15$, где: а) когерентный пакет; б) когерентный пакет со случайной фазой; в) «дружно» флуктуирующий пакет; г) флуктуирующий пакет.

Соответственно во всех случаях S имеет распределение χ^2 вида

$$p(S|H_0) = \frac{1}{2^{N-1} \Gamma(N) N_0 E_0} \left(\frac{2S}{N_0 E_0} \right)^{N-1} e^{-\frac{S}{N_0 E_0}},$$

$$p(S|H_1) = \frac{1}{2^{N-1} \Gamma(N) (N_0 + 2) E_0} \left(\frac{2S}{(N_0 + 2) E_0} \right)^{N-1} e^{-\frac{S}{(N_0 + 2) E_0}}. \quad (2.106)$$

Помехоустойчивость обнаружителя характеризуется формулами

$$p_{лт} = \frac{1}{2^{N-1} \Gamma(N) N_0 E_0} \int_{z_0}^{\infty} \left(\frac{2S}{N_0 E_0} \right)^{N-1} e^{-\frac{S}{N_0 E_0}} dS,$$

$$p_{нц} = \frac{1}{2^{N-1} \Gamma(N) (N_0 + 2) E_0} \int_0^{z_0} \left(\frac{2S}{(N_0 + 2) E_0} \right)^{N-1} e^{-\frac{S}{(N_0 + 2) E_0}} dS, \quad (2.107)$$

где $\Gamma(N)$ - гамма-функция.

На рисунке показаны рабочие характеристики обнаружителей пакетов импульсов для различных параметров каналов распространения сигнала. Анализ представленных зависимостей показывает, что эффективность накопления сигналов больше для когерентного пакета и меньше всего для флуктуирующего пакета.

2.3.6. Оптимальный прием на фоне небелого гауссовского шума

Рассмотрим случай обнаружения сигнала на фоне гауссовского нестационарного шума. Модель наблюдаемого сигнала можно записать в виде

$$x(t) = \theta \cdot s(t) + n(t), \quad (2.157)$$

где $\theta = 1$, если верна гипотеза H_1 и $\theta = 0$ если справедлива гипотеза H_0 , $n(t)$ - реализация гауссовского нестационарного шума с корреляционной функцией $B_n(t, t - \tau)$ и математическим ожиданием $\mathbf{M}\{n(t)\} = 0$. Для построения обнаружителя найдем отношение правдоподобия

$$\Lambda(x) = \frac{p(x|H_1)}{p(x|H_0)}.$$

Если справедлива гипотеза H_0 , то мы наблюдаем только шум, функционал правдоподобия которого имеет вид

$$p(x|H_0) = C \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)x(t-\tau)B_n^{-1}(t, t-\tau)dt d\tau \right\}. \quad (2.158)$$

где

$$\int_{-\infty}^{+\infty} B_n^{-1}(t_1, t_2)B_n(t_2, t_3)dt_2 = \delta(t_3 - t_1), \quad (2.159)$$

Если справедлива гипотеза H_1 , то мы наблюдаем сумму детерминированного сигнала и шума, функционал правдоподобия которой имеет вид

$$p(x|H_1) = C \exp \left\{ -\frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x(t) - s(t))(x(t-\tau) - s(t-\tau))B_x^{-1}(t, t-\tau)dt d\tau \right\}, \quad (2.160)$$

Отношение правдоподобия можно записать в виде

$$\begin{aligned} \Lambda(x) &= \exp \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)s(t-\tau)B_n^{-1}(t, t-\tau)dt d\tau - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)s(t-\tau)B_n^{-1}(t, t-\tau)dt d\tau \right\} = \\ &= \exp \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y(t)dt - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)y(t)dt \right\} = \exp \left\{ Z - \frac{1}{2} D \right\}, \end{aligned} \quad (2.161)$$

где

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t-\tau) B_n^{-1}(t, t-\tau) d\tau,$$

$$D = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)y(t) dt,$$

$$Z = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y(t) dt.$$

Перейдем к логарифму отношения правдоподобия и запишем алгоритм обнаружения в виде

$$Z \stackrel{H_1}{\geq} \ln(\eta) + D = Z_n. \quad (2.162)$$

Т.е. алгоритм обнаружения предполагает вычисление корреляционного интеграла по наблюдаемому сигналу $x(t)$ и сигналу $y(t)$, полученному прохождением сигнала $s(t)$ через нестационарный фильтр, характеристики которого определяются по корреляционной функции шума.

Рассмотрим случай, когда H_0 , $n(t)$ - реализация гауссовского стационарного шума с корреляционной функцией $B_n(\tau)$, энергетическим спектром $F_n(j\omega)$ и математическим ожиданием $\mathbf{M}\{n(t)\} = 0$, тогда

$$\begin{aligned} Z &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)y(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(j\omega)y(j\omega) dt = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(j\omega)s(j\omega) \frac{1}{F_n(j\omega)} dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} x(j\omega) \frac{1}{\sqrt{F_n(j\omega)}} s(j\omega) \frac{1}{\sqrt{F_n(j\omega)}} dt = \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} x_F(t)s_F(t) dt. \end{aligned}$$

В последнем выражении для корреляционного интеграла $x_F(t)$ - входной сигнал и $s_F(t)$ - ожидаемый (опорный) сигнал корреляционного приемника, являются сигналами, прошедшими фильтр, передаточная характеристика которого $K(j\omega)$ имеет вид

$$K(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{F_n(j\omega)}}.$$

Фильтр с такой передаточной характеристикой называют **выбеливающим фильтром**. Действительно, если на входе этого фильтра наблюдается шум с энергетическим спектром $F_n(j\omega)$, то энергетический спектр случайного процесса на выходе фильтра $n_F(t)$ имеет вид

$$F_{n_F}(\omega) = \left| \frac{1}{\sqrt{F_n(\omega)}} \right|^2 F_n(\omega) = 1,$$

т.е. является белым шумом с $N_0 = 2$.

В случае приема сигнала с неизвестными случайными параметрами отношение правдоподобия (2.161) интегрируется по неизвестным параметрам также, как это делалось нами ранее для случая белого шума.

Для решения задачи различения сигналов на фоне гауссовского небелого аддитивного шума легко модифицировать решающие правила в соответствии с изложенным в этом параграфе подходом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимальные обнаружители пакетов импульсов предполагают суммирование в фазе (до детектора) или нет в зависимости от модели пакета (когерентный, некогерентный, флуктуирующий пакеты). Оптимальный прием на фоне небелого шума осуществляется путем использования выбеливающего фильтра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как меняются характеристики помехоустойчивости приемника при переходе от одиночного импульса к когерентному пакету, когерентному пакету с неопределенной фазой, «дружно» флуктуирующему пакету, некогерентному и флуктуирующему пакетам?
2. Чем отличаются обнаружители когерентного и флуктуирующего пакетов импульсов?
3. Как реализовать оптимальный приемник для случая аддитивного гауссовского небелого шума?