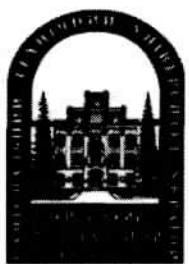


281

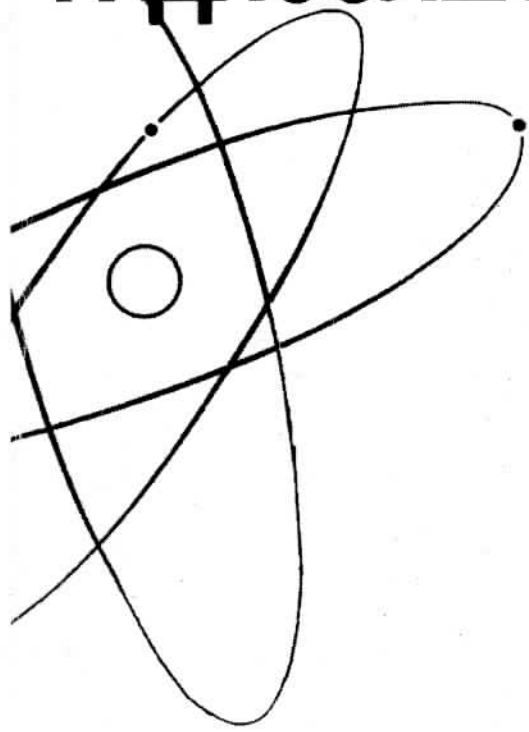
281



ISSN 0021-3470

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



ТОМ 52

11-12

ноябрь-декабрь

ИЗДАНИЕ
НАЦИОНАЛЬНОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
УКРАИНЫ
«КИЕВСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ»

2009

ТРИФОНОВ А. П., БЕСПАЛОВА М. Б., ТРИФОНОВ П. А.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ С НЕИЗВЕСТНЫМИ ДАЛЬНОСТЬЮ И СКОРОСТЬЮ ПРИ НАЛИЧИИ УЗКОПОЛОСНОЙ ПОМЕХИ*

Исследовано влияние гауссовской узкополосной помехи на характеристики приемника, синтезированного для обнаружения цели при наличии гауссовского белого шума. Рассмотрена возможность применения режкторного фильтра для подавления помех.

В [1, 4] и др. рассмотрены возможности применения сверхкоротких (субнаносекундных) импульсов и их последовательностей в радиолокации. Короткоимпульсные сигналы и их последовательности представляют собой частный случай сверхширокополосных сигналов (СШПС), использование которых имеет свою специфику и позволяет расширить возможности радиолокации. В [4] найдены характеристики сверхширокополосного обнаружения цели с неизвестными дальностью и скоростью при воздействии помех в виде гауссовского белого шума (ГБШ). Однако, в реальных условиях, кроме ГБШ, часто действуют преднамеренные помехи, которые можно интерпретировать как гауссовский узкополосный процесс [5]. В связи с этим рассмотрим сверхширокополосное обнаружение цели с неизвестными дальностью и скоростью при воздействии как ГБШ, так и гауссовской узкополосной помехи (ГУП).

Аналогично [4] зондирующую последовательность СШПС запишем как

$$\tilde{s}_N(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_0[t - (k - \mu)\theta - \lambda], \quad (1)$$

где функция $s_0(\cdot)$ описывает форму одного импульса, θ — период следования, λ — временное положение последовательности. Параметр μ определяет точку последовательности (1), с которой связано ее временное положение. Так, при $\mu = 0$ величина λ представляет собой временное положение первого импульса последовательности (1), при $\mu = (N - 1)/2$ — временное положение середины последовательности (1), а при $\mu = N - 1$ — временное положение последнего импульса.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 07-01-00042)

Полагаем, что зондирующая последовательность (1) рассеивается целью с дальностью R_0 и радиальной скоростью V_0 , причем

$$R_0 \in [R_{\min}, R_{\max}] V_0 \in [-V_{\min}/2, V_{\max}/2] \quad (2)$$

$$V_{\max} \ll c, \quad (3)$$

где c — скорость света. Тогда принимаемый сигнал, при наличии цели, можно записать в виде [4]

$$s(t, R_0, V_0) = \sum_{k=0}^{N-1} s[t - 2R_0/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V_0/c)] \quad (4)$$

Функция $s(\cdot)$ описывает форму одного СШПС и в общем случае отличается от $s_0(\cdot)$ в (1) [3].

При воздействии ГБШ и ГУП на интервале времени $[0, T]$ наблюдается реализация

$$x(t) = \gamma_0 s(t, R_0, V_0) + n(t) + y(t) \quad (5)$$

Здесь $\gamma_0 = 1$ при наличии цели и $\gamma_0 = 0$ при ее отсутствии, $n(t)$ — центрированный ГБШ с односторонней спектральной плотностью N_0 , $y(t)$ — центрированная ГУП, которая обладает корреляционной функцией $K_y(\tau) = \langle y(t)y(t+\tau) \rangle$ и спектральной плотностью

$$G_y(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} K_y(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau.$$

Процессы $n(t)$ и $y(t)$ предполагаются статистически независимыми.

Положим вначале, что корреляционная функция и спектральная плотность ГУП априори неизвестны. Тогда для обнаружения цели предлагается использовать обнаружитель максимального правдоподобия, синтезированный при условии, что ГУП отсутствует. Пусть скважность последовательности (4) достаточно велика, так что отдельные импульсы не перекрываются и интервал наблюдения $[0, T]$ больше длительности всей последовательности, т.е. $T > M\theta$. Тогда, при воздействии только ГБШ логарифм функционала отношения правдоподобия можно записать в виде [4, 6]

$$L(R, V) = \frac{2}{N_0} \sum_{k=0}^{N-1} \int_0^T |x(t)|^2 s[t - 2R/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V/c)] dt. \quad (6)$$

Эту функцию необходимо формировать для всех возможных значений дальности и скорости (2). Поскольку значения дальности и скорости цели априори неизвестны, для того, чтобы исключить их влияние на процесс обнаружения, необходимо заменить неизвестные истинные значения на их оценки

максимального правдоподобия. Таким образом, при наличии только ГБШ обнаружитель максимального правдоподобия вырабатывает величину [4, 7]

$$L = \sup L(R, V), R \in [R_{\min}, R_{\max}], V \in [-V_{\max}/2, V_{\max}/2] \quad (7)$$

Решение о наличии цели принимается, когда

$$L > h \quad (8)$$

Если $L < h$, то принимается решение об отсутствии цели. Порог обнаружения h выбирается в соответствии с заданным критерием оптимальности [7].

Найдем вероятность ложной тревоги α_y , используя алгоритм (6), (7) при наличии ГУП. Подставляя (5) в (6) при $\gamma_0 = 0$ получаем

$$L(R, V|_{\gamma_0=0}) = N_y(R, V) = \frac{2}{N_0} \sum_{k=0}^{N-1} \int_0^T [n(t) + y(t)] s[t - 2R/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V/c)] dt \quad (9)$$

Шумовая функция (9) представляет собой центрированное гауссовское случайное поле и обладает корреляционной функцией

$$K_N(R_1, R_2, V_1, V_2) = \langle N_y(R_1, V_1) N_y(R_2, V_2) \rangle = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left\{ \frac{2}{N_0} \times \int_0^T s[t - 2R_1/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V_1/c)] s[t - 2R_2/c - (n - \mu)\theta(1 + 2V_2/c)] dt + \frac{4}{N_0^2} \times \int_0^T \int_0^T K_y(t_2 - t_1) s[t_1 - 2R_1/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V_1/c)] s \times \right. \\ \left. \times [t_2 - 2R_2/c - (n - \mu)\theta(1 + 2V_2/c)] dt \right\} \quad (10)$$

Поскольку предполагается, что $T > N\theta$, то, заменяя пределы интегрирования в (10) на бесконечные находим

$$K_N(R_1, R_2, V_1, V_2) = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} K_H \{ 2(R_2 - R_1)/c + (n - k)\theta + 2\theta[nV_2 - kV_1 - \mu(V_2 - V_1)]/c \} \quad (11)$$

где

$$K_H(\eta) = \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s(t - \eta) dt + \frac{4}{N_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_y(t_2 - t_1 + \eta) s(t_1) s(t_2) dt_1 dt_2 \quad (12)$$

Рассмотрим свойства функции (12). Обозначим τ_s — длительность СШПС $s(t)$ и τ_y — время корреляции ГУП, так, что $s(\pm\tau_s) \approx 0$ и $K_y(\pm\tau_y) \approx 0$. Пусть скважность последовательности (4) достаточно велика, а величина априорного интервала возможных значений дальности (2) не превосходит величины интервала однозначного определения дальности [4], так что

$$\tau_s \ll \theta, \quad \tau_y \ll \theta, \quad R_{\max} - R_{\min} < c\theta/2 \quad (13)$$

Тогда $K_H \{2(R_2 - R_1)/c + (n-k)\theta + 2\theta[nV_2 - kV_1 - \mu(V_2 - V_1)]/c\} \approx 0$ при $n \neq k$ и $K_H \{2(R_2 - R_1)/c + (n-k)\theta + 2\theta[nV_2 - kV_1 - \mu(V_2 - V_1)]/c\} = K_H \{2(R_2 - R_1)/c + 2\theta(k - \mu)(V_2 - V_1)/c\}$ при $n = k$. Соответственно (11) принимает вид

$$K_N(R_1, R_2, V_1, V_2) = \sum_{n=0}^{N-1} K_H \{2(R_2 - R_1)/c + 2\theta(k - \mu)(V_2 - V_1)/c\} \quad (14)$$

Как следует из (12), (14), при выполнении (3), (13), гауссовское случайное поле (9) является однородным.

Согласно [7], выражение для вероятности ложной тревоги запишется как

$$\alpha_y = P[L > h]_{Y_0} = 0] = P[\sup N_y(R, V) > h] = 1 - F_y(h),$$

$$R \in [R_{\min}, R_{\max}], \quad V \in [-V_{\max}/2, V_{\max}/2] \quad (15)$$

Здесь $F_y(h) = P[\sup N_y(R, V) < h]$, $R \in [R_{\min}, R_{\max}]$, $V \in [-V_{\max}/2, V_{\max}/2]$. Очевидно $F_y(h)$ представляет собой функцию распределения величины абсолютного (наибольшего) максимума шумовой функции (9). Точное выражение для функции $F_y(h)$ получить не удастся. Однако в [7] для случайного гауссовского однородного поля найдена аппроксимация функции распределения величины абсолютного максимума. Точность этой аппроксимации улучшается с увеличением порога h и длин $R_{\max} - R_{\min}$ и V_{\max} априорных интервалах возможных значений дальности и скорости цели (2). Используя результаты [7], аппроксимируем функцию распределения абсолютного максимума случайного поля (9) выражением

$$F_y(h) \approx \begin{cases} \exp\left[-\frac{\xi_y h}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y} \exp\left(-\frac{h^2}{2\sigma_y^2}\right)\right], & h \geq \sigma_y, \\ 0, & h < \sigma_y. \end{cases} \quad (16)$$

Здесь

$$\sigma_y^2 = K_N(R, R, V, V) = N\sigma_H^2, \quad (17)$$

σ_y^2 — дисперсия шумовой функции (9),

$$\sigma_H^2 = K_H(R, R, V, V) = \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt + \frac{4}{N_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_y(t_2 - t_1) s(t_1) s(t_2) dt_1 dt_2, \quad (18)$$

$$\xi_y = (R_{\max} - R_{\min}) \Psi_{\max} \sqrt{\det K_y} \quad (19)$$

ξ_y — приведенная площадь области возможных значений дальности и скорости цели. Величина ξ_y определяет число некоррелированных отчетов гауссовского поля (9) в области (2). В (19) матрица

$$K_y = \frac{1}{\sigma_y^4} \begin{vmatrix} \frac{\partial^2 K_N(R_1, R_2, V_1, V_2)}{\partial R_1 \partial R_2} & \frac{\partial^2 K_N(R_1, R_2, V_1, V_2)}{\partial R_1 \partial V_2} \\ \frac{\partial^2 K_N(R_1, R_2, V_1, V_2)}{\partial R_2 \partial V_1} & \frac{\partial^2 K_N(R_1, R_2, V_1, V_2)}{\partial V_1 \partial V_2} \end{vmatrix} \Bigg|_{\substack{R_1=R_2 \\ V_1=V_2}} \quad (20)$$

Подставляя функцию (14) в (20) и выполняя дифференцирование, получаем, что

$$\det K_y = 4\theta^2 (N^2 - 1) d_y^4 / 3c^4, \quad (21)$$

где

$$d_y^2 = \left\{ \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{ds(t)}{dt} \right]^2 dt + \frac{4}{N_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_y(t_2 - t_1) \frac{ds(t_1)}{dt_1} \frac{ds(t_2)}{dt_2} dt_1 dt_2 \right\} \times \\ \times \left\{ \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt + \frac{4}{N_0^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_y(t_2 - t_1) s(t_1) s(t_2) dt_1 dt_2 \right\}^{-1} \quad (22)$$

Обозначим далее

$$z^2 = Nz_1^2, \quad (23)$$

где

$$z_1^2 = 2 \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt / N_0 \quad (24)$$

z_1^2 — отношение сигнал-шум (ОСШ) для одного СШПС последовательности (4) при наличии только ГБШ [4],

$$d^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{ds(t)}{dt} \right]^2 dt / \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt, \quad (25)$$

$$\chi = 1 + \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_y(t_2 - t_1) s(t_1) s(t_2) dt_1 dt_2 / \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt, \quad (26)$$

$$\psi = 1 + \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} K_y(t_2 - t_1) \frac{ds(t_1)}{dt_1} \frac{ds(t_2)}{dt_2} dt_1 dt_2 / \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{ds(t)}{dt} \right]^2 dt, \quad (27)$$

$$\xi = 2(R_{\max} - R_{\min}) Y_{\max} \theta d^2 \sqrt{N^2 - 1} / c^3 \sqrt{3} \quad (28)$$

ξ — приведенная площадь априорной области (2) возможных значений дальности и скорости цели при наличии только ГБШ [4].

Подставляя (16) в (15) и используя введенные обозначения (21)–(28) получаем приближенное выражение для вероятности ложной тревоги

$$\alpha_y = \begin{cases} 1 - \exp \left[-\frac{\xi \psi h}{z(2\pi\chi)^{3/2}} \exp \left(-\frac{h^2}{2z^2\chi} \right) \right], & h > z\sqrt{\chi}, \\ 1, & h < z\sqrt{\chi}, \end{cases} \quad (29)$$

точность, которого, возрастает с увеличением ξ (28) и z (23).

Для расчета параметров, определяющих вероятность ложной тревоги часто удобно использовать спектральное представление. Спектр одного СШПС в последовательности (4) обозначим

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s^{\sim}(t) \exp(-j\omega t) dt.$$

Тогда выражения для параметров (24)–(27) переписуются в виде

$$z_1^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega / \pi N_0, \quad d^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |S(j\omega)|^2 d\omega / \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega,$$

$$\chi = 1 + \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} G_y(\omega) |S(j\omega)|^2 d\omega / \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega, \quad (30)$$

$$\psi = 1 + \frac{2}{N_0} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 G_y(\omega) |S(j\omega)|^2 d\omega / \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 |S(j\omega)|^2 d\omega. \quad (31)$$

При наличии только ГБШ выражение для вероятности ложной тревоги при сверхширокополосном обнаружении цели с неизвестными дальностью и скоростью запишется как [4]

$$\alpha = \begin{cases} 1 - \exp \left[-\frac{\xi h}{z(2\pi)^{3/2}} \exp \left(-\frac{h^2}{2z^2} \right) \right], & h > z, \\ 1, & h < z. \end{cases} \quad (32)$$

Эту формулу можно получить как частный случай (29). Действительно, полагая, что ГУП отсутствует так что в (30), (31) $G_y(\omega) \equiv 0$ имеем, что $\psi = \chi = 1$ и (29) переходит в (32).

Анализ полученных выражений для вероятности ложной тревоги в различных условиях обнаружения несколько упрощается, если вероятность ложной тревоги достаточно мала, например, $\alpha_y, \alpha < 0, 1$. В этом случае (29) и (32) принимают вид

$$\alpha_y \approx \frac{\xi \psi h}{z(2\pi\chi)^{3/2}} \exp\left(-\frac{h^2}{2z^2\chi}\right) \quad (33)$$

α_y — вероятность ложной тревоги при воздействии ГУП и ГБШ

$$\alpha \approx \frac{\xi h}{z(2\pi)^{3/2}} \exp\left(-\frac{h^2}{2z^2}\right) \quad (34)$$

α — вероятность ложной тревоги при воздействии только ГБШ. Согласно (33), (34) увеличение вероятности ложной тревоги вследствие воздействия ГУП можно охарактеризовать отношением

$$k_y = \alpha_y / \alpha = \psi \exp[h^2(\chi - 1) / 2z^2\chi] / \chi^{3/2}.$$

Таким образом, наличие ГУП приводит к увеличению вероятности ложной тревоги при сверхширокополосном обнаружении цели с неизвестными дальностью и скоростью в k_y раз.

Найдем теперь вероятность пропуска цели β_y . В соответствии с определением [7] $\beta_y = P[L < h_{\gamma_0} = 1]$. Подставим реализацию наблюдаемых данных (5) в (6) при $\gamma_0 = 1$. Запишем (6) в виде суммы сигнальной и шумовой функций [6]

$$L(R, V | \gamma_0 = 1) = S(R, V) + N_y(R, V)$$

Здесь $N_y(R, V)$ — шумовая функция (9), а сигнальная функция

$$S(R, V) =$$

$$= \frac{2}{N_0} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \int_0^T s[t - 2R_0/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V_0/c)] s[t - 2R/c - (n - \mu)\theta(1 + 2V/c)] dt,$$

которая при выполнении (3), (13) переписывается как

$$S(R, V) =$$

$$= \frac{2}{N_0} \sum_{k=0}^{N-1} \int_0^T s[t - 2R_0/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V_0/c)] s[t - 2R/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V/c)] dt. \quad (35)$$

Функция (35) достигает максимума при $R=R_0, V=V_0$ [4], так что $\max S(R, V) = S(R_0, V_0) = z^2$, где z^2 (23) — ОСШ для всей последовательности СШПС (4) при наличии только ГБШ. Найдем ОСШ z_y^2 при воздействии ГУП. Согласно определению [6]

$$z_y^2 = S^2(R_0, V_0) / \sigma_y^2 = z^2 / \chi, \quad (36)$$

где σ_y^2 (17) — дисперсия шумовой функции (9). Если ОСШ (36) не слишком мало, то приближенное выражение для вероятности пропуска цели можно записать как [7]

$$\beta_y \approx (1 - \alpha_y) \Phi(h / \sigma_y - z_y), \quad (37)$$

где $\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \exp(-t^2/2) dt / \sqrt{2\pi}$ — интеграл вероятности. Соответственно, выражение для вероятности пропуска цели при отсутствии ГУП имеет вид [7]

$$\beta \approx (1 - \alpha) \Phi(h / z - z), \quad (38)$$

Сопоставление (37) и (38) показывает, что наличие ГУП приводит к увеличению вероятности пропуска цели. Действительно, вследствие воздействия ГУП, ОСШ (36) уменьшается в χ раз (30) по сравнению с ОСШ (23).

Найдем коэффициенты χ (30) и ψ (31) для частного случая ГУП с прямоугольной формой спектральной плотности

$$G_y(\omega) = \frac{\rho}{2} \left[I \left(\frac{\omega_y - \omega}{\Omega_y} \right) + I \left(\frac{\omega_y + \omega}{\Omega_y} \right) \right]. \quad (39)$$

Здесь ρ — величина спектральной плотности ГУП, ω_y — центральная частота ГУП, Ω_y — ширина полосы частот ГУП, $I(x) = 1$ при $|x| < 1/2$ и $I(x) = 0$ при $|x| > 1/2$. Подставляя (39) в (30) и (31), находим, что $\chi = 1 + q\varepsilon$ и $\psi = 1 + q\delta$. Здесь

$$\varepsilon = \frac{\int_{\omega_y - \Omega_y/2}^{\omega_y + \Omega_y/2} |S(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega}, \quad (40)$$

$$\delta = \frac{\int_{\omega_y - \Omega_y/2}^{\omega_y + \Omega_y/2} \omega^2 |S(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} \omega^2 |S(j\omega)|^2 d\omega}. \quad (41)$$

Величина ε (40) представляет собой относительную долю энергии сигнала в полосе частот, пораженной ГУП. Соответственно δ (41) — относительная доля энергии первой производной сигнала в той же полосе частот, а $q = \rho / N_0$ — отношение спектральных плотностей ГУП и ГБШ.

Если частотные параметры ω_y и Ω_y узкополосной помехи (39) априори известны или могут быть измерены с достаточной точностью, повысить эффективность сверхширокополосного обнаружения цели можно, включив на входе обнаружителя (6)–(8) режекторный фильтр (РФ) с амплитудно-частотной характеристикой вида

$$|H(j\omega)| = 1 - I \left(\frac{\omega_y - \omega}{\Omega_y} \right) - I \left(\frac{\omega_y + \omega}{\Omega_y} \right) \quad (42)$$

Тогда приемник для всех значений дальности и скорости (2) будет вырабатывать функцию

$$L_R(R, V) = \frac{2}{N_0} \sum_{k=0}^{N-1} \int_0^T \tilde{x}(t) s[t - 2R/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V/c)] dt, \quad (43)$$

где $\tilde{x}(t)$ — отклик РФ на реализацию наблюдаемых данных (5). При отсутствии цели $\tilde{x}(t) = n(t)$, поскольку в рассматриваемом случае РФ полностью подавляет ГУП. Поэтому вероятность ложной тревоги при воздействии ГУП со спектральной плотностью (39) и при использовании РФ с амплитудно-частотной характеристикой (42) определяется выражением (32), (34).

Найдем вероятность пропуска цели при использовании РФ (42). При наличии цели реализация наблюдаемых данных на выходе РФ запишется как

$$\tilde{x}(t) = \tilde{s}(t, R_0, V_0) + n(t), \quad (44)$$

где $\tilde{s}(t, R_0, V_0)$ — отклик РФ на принимаемый сигнал (4). Подставляя (44) в (43) получаем

$$L_R(R, V) = S_R(R, V) + N(R, V). \quad (45)$$

Здесь $N(R, V)$ — шумовая функция при наличии только ГБШ, которая определяется из (9) при $y(t) \equiv 0$. Как следует из (17), (18) при $K_y(\tau) \equiv 0$, $\langle N^2(R, V) \rangle = z^2$ где z^2 — определено в (23).

Сигнальная функция в (45) имеет вид

$$S_R(R, V) = \frac{2}{N_0} \times$$

$$\times \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} \int_0^T \tilde{s}[t - 2R_0/c - (k - \mu)\theta(1 + 2V_0/c)] s[t - 2R/c - (n - \mu)\theta(1 + 2V/c)] dt.$$

Здесь $\tilde{s}(\cdot)$ — отклик РФ на один СШПС $s(\cdot)$. При выполнении условий (3), (13) максимум сигнальной функции равен $S_R(R_0, V_0) = \max S_R(R, V) = Nz_{1R}^2$, где

$$z_{1R}^2 = 2 \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{s}(t) s(t) dt / N_0.$$

Найдем ОСШ при использовании РФ. Согласно определению [6]

$$z_R^2 = S_R^2(R_0, V_0) / \langle N^2(R, V) \rangle = Nz_{1R}^4 / z_1^2 = z^2 / \chi_R. \quad (46)$$

Здесь

$$\chi_R = (z_{1R} / z_1)^4 \quad (47)$$

и показывает во сколько раз уменьшается ОСШ (46) при использовании РФ, по сравнению с ОСШ (23) при отсутствии ГУП. Для РФ с амплитудно-частотной характеристикой (42) из (47) имеем

$$\chi_R = (1 - \epsilon)^{-2}, \quad (48)$$

где ϵ определяется из (40).

Если ОСШ (46) не слишком мало, то приближенное выражение для вероятности пропуска цели можно записать как [7]

$$\beta_R \approx (1 - \alpha) \Phi(h / z - z_R). \quad (49)$$

Сопоставление (38) и (49) позволяет определить увеличение вероятности пропуска цели при использовании РФ по сравнению с обнаружением в отсутствие ГУП.

Таким образом, применение РФ при априори известных частотных параметрах ω_y и Ω_y ГУП (39) позволяет обеспечить такое же значение вероятности ложной тревоги, как и при отсутствии ГУП. Однако ОСШ на выходе обнаружителя уменьшается в χ_R раз (48) по сравнению с обнаружителем при наличии только ГБШ.

Полученные результаты позволяют сделать обоснованный выбор между различными обнаружителями цели с неизвестными дальностью и скоростью в зависимости от требований предъявляемых к эффективности обнаружения и в зависимости от имеющейся априорной информации о гауссовской узкополосной помехе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астанин Л. Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений / Л. Ю. Астанин, А. А. Костылев. — М.: Радио и связь, 1989. — 192 с.
2. Хармут Х. Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи / Х. Ф. Хармут — М.: Радио и связь, 1985. — 376 с.

3. Бункин Б. В. Особенности, проблемы и перспективы субнаносекундных видеоимпульсных РЛС / Б. В. Бункин, В. А. Кашин // Радиотехника, 1995. — №4-5. — С. 128-133.

4. Трифонов А. П. Эффективность сверхширокополосного обнаружения и измерения дальности и скорости цели / А. П. Трифонов, М. Б. Беспалова // Радиотехника и электроника. — 1997. — т. 42., №4 — С. 451-456.

5. Радзиевский В. Г. Теоретические основы радиоэлектронной разведки / В. Г. Радзиевский, А. А. Сирота — М.: Радиотехника, 2004. — 384 с.

6. Куликов Е. И. Оценка параметров сигналов на фоне помех / Е. И. Куликов, А. П. Трифонов — М.: Сов. радио, 1978. — 296 с.

7. Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов, П. А. Бакут, В. А. Богданович и др.; под ред. П. А. Бакута. — М.: Радио и связь, 1984. — 440 с.

Воронежский гос. ун-т

Поступила в редакцию 04.03.09

УДК 621.396.7:681.3

МАРИГОДОВ В. К.

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С АБСОЛЮТНЫМИ ПРИОРИТЕТАМИ КАК МОДЕЛЬ РАЗНЕСЕННОГО РАДИОПРИЕМА

Рассмотрена возможность реализации системы пространственно-разнесенного радиоприема, в которой применяется цифровая управляющая система, функционирующая в режиме системы массового обслуживания с абсолютными приоритетами и прерыванием. Определены основные параметры такой системы.

Теория разнесенного радиоприема, в частности пространственно-разнесенного, исследована в работах [1-4]. Рассмотрена также возможность использования цифровой управляющей системы для организации пространственно-временного приема сигналов, которая работает в режиме системы массового обслуживания (СМО) с относительными приоритетами без прерывания [5].

Известно, что СМО с абсолютными приоритетами и прерыванием обслуживания может обладать большей эффективностью, которая выражается в сокращении времени обслуживания высокоприоритетных требований (заявок на прием передаваемых сообщений) [6]. Такие ситуации, в которых необходимо использование абсолютных приоритетов и прерывания, могут возникать в системах радиоприема, в которых реализуется не только пространственное разнесение, но и режим многократного повторения одних и тех же сообщений, когда для борьбы с мощными кратковременными импульсными помехами в каждый из каналов многоканальной системы вводятся временные задержки. Причем, эти задержки распределены между передающим и приемным трактами системы передачи информации так, чтобы одновременная импульс-