

БОНДАРЕНКО В. Н.

АВТОПОДСТРОЙКА ПО ВРЕМЕНИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ ШУМОПОДОБНОГО ЧАСТОТНО-МАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА

Предложен квазиоптимальный алгоритм временного дискриминирования для системы автоподстройки по времени запаздывания шумоподобного сигнала с минимальной частотной манипуляцией, проведен анализ его помехоустойчивости.

В современных радиосистемах навигации и связи все большее применение находят шумоподобные сигналы с минимальной частотой манипуляцией (МШМ-ШПС). В отличие от традиционных ШПС с фазовой манипуляцией вопросам приема МЧМ-ШПС и, в частности кодовой синхронизации приемников, посвящено незначительное число работ.

Цель работы — синтез квазиоптимального алгоритма временного дискриминирования для системы автоподстройки по времени запаздывания периодического МЧМ-ШПС, а также анализ помехоустойчивости предложенного алгоритма.

Принимаемый сигнал может быть представлен в виде

$$s(t - \tau_c) = \cos[2\pi f_i(t - \tau_c - iT) + \theta_i - \varphi]$$

при

$$\tau_c + iT \leq t \leq \tau_c + (i+1)T, i = \dots, -1, 0, 1, \dots \quad (1)$$

Здесь τ_c — время запаздывания; $f_i = f_0 + d_i / 4T$ — частота i -го элемента ШПС; f_0 — средняя частота; T — длительность элемента ШПС; d_i — элемент кодовой последовательности d_0, d_1, \dots, d_{N-1} , принимающий значения ± 1 ; φ — начальная фаза (амплитуда полагается равной единице);

$\theta_i = \frac{\pi}{2} \sum_{k=-\infty}^{i-1} d_k$ — изменение начальной фазы i -го элемента ($\theta_0 = 0$).

Будем полагать, что интервал неопределенности по времени запаздывания $\tau = [\tau_c - \Delta, \tau_c + \Delta]$, где 2Δ — дискрет изменения τ на этапе поиска.

Синтез оптимального по критерию максимального правдоподобия алгоритма измерения параметра τ сигнала со случайной фазой φ может быть проведен с использованием известных результатов [1]. Применительно к сигналу (1) алгоритм оптимальной оценки $\hat{\tau}$ можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Z(\tau)}{\partial \tau} \Big|_{\tau=\hat{\tau}_c}, Z(\tau) = \sqrt{z_1^2(\tau) + z_2^2(\tau)}, \\ z_1(\tau) = \int_0^{T_c} y(t) s_1(t-\tau) dt, z_2(\tau) = \int_0^{T_c} y(t) s_2(t-\tau) dt. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь $y(t)$ — принятая реализация (смесь сигнала (1) и аддитивного нормального белого шума), наблюдаемая на интервале $[0, T_c]$, $T_c = LT_n$, $T_n = NT$ — период повторения ШПС; $s_1(t-\tau)$ и $s_2(t-\tau)$ квадратурные копии сигнала (1) соответственно для $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi/2$.

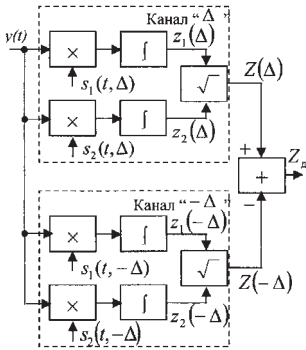


Рис. 1

Алгоритм (2) может быть реализован с использованием схемы, состоящей из последовательно включенных устройств: согласованного с сигналом (1) фильтра, детектора огибающей, дифференцирующего звена и решающего блока. Однако реализация согласованного фильтра для ШПС с большой базой (при $N \gg 1$) сопряжена со значительными трудностями. Реализация оптимального алгоритма (2) при корреляционном способе обработки ШПС принципиально невозможна, так как требует воспроизведения корреляций $z_1(\tau)$, $z_2(\tau)$ и $Z(\tau)$ как непрерывных функций от τ . Однако при малом дискрете изменения τ возможна реализация асимптотически оптимального

алгоритма дискриминирования:

$$\frac{\partial Z(\tau)}{\partial \tau} \Big|_{\tau=\hat{\tau}_c} = \lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{Z(\tau + \Delta) - Z(\tau - \Delta)}{2\Delta} \Big|_{\tau=\hat{\tau}_c} = 0. \quad (3)$$

Функциональная схема квазиоптимального временного дискриминатора (ВД), соответствующая алгоритму (2) с учетом (3), представлена на рис. 1, где обозначения \times , \int и $\sqrt{\quad}$ соответствуют множителю, интегратору и преобразователю величин z_1 и z_2 в модули Z (ради простоты при записи аргумента у корреляций и опорных сигналов значение τ опущено).

Реализация квазиоптимального ВД (рис. 1) сопряжена со значительными трудностями, связанными, прежде всего, с формированием двух пар опорных