АЛГОРИТМ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ, НЕЗАВИСИМОГО ОТ УРОВНЯ СИГНАЛА

С. Ф. Симовская

Харьков

Известно несколько подходов к проблеме обнаружения и различения сигналов. При одном из них решается задача обнаружения в усложненных условиях наличия смежных мешающих сигналов, по структуре близких к обнаруживаемому сигналу. Такая постановка задачи ведет в случае одного мешающего сигнала к сравнению с порогом коэффициента правдоподобия:

$$\Lambda = P(y/\lambda_1, \lambda_2)/P(y/\lambda_2),$$

где $P(y/\lambda_1\lambda_2)$ — условное распределение наблюдаемого сигнала;

$$y = s_1(t, \lambda_1) + s_2(t, \lambda_2) + n(t)$$

при наличии выделяемого сигнала $s_1(t, \lambda_1)$, смежного с ним мешающего $s_2(t, \lambda_2)$ и шума $n(t)$;

$P(y/\lambda_2)$ — соответствующее распределение при наличии лишь мешающего сигнала и шума.

Другой подход к проблеме различения базируется на известных методах ортогональных функций.

Рассмотрим два сигнала $s(t)$ и $y(t)$. Сигнал $y(t)$ — принятый искаженный при передаче, а $s(t)$ — неискаженный передаваемый сигнал. Согласно [1], оптимальный обнаружитель детерминированного сигнала на фоне шума является корреляционным. Построив корреляционный обнаружитель для сигнала $s(t)$ при воздействии сигнала $y(t)$, получим ненулевой сигнал на выходе устройства обнаружения, если

$$\int s(t)\, y(t)\, dt \neq 0.$$

В качестве опорного напряжения в корреляционном обнаружителе служит сигнал $s(t)$, с которым сравнивается принятый сигнал $y(t)$. При полном тождестве сигналов $s(t) \equiv y(t)$ нормированный коэффициент взаимной корреляции двух сигналов обращается в единицу, при полном несходстве сигналов — коэффициент корреляции равен нулю.

Описанный подход можно применить и к ситуации нескольких сигналов $s_i(t)$, $i = 2, 3, 4, \ldots, n$ в шумах. В этом случае корреляционный обнаружитель вырабатывает максимальный коэффициент корреляции, если имеется сходство сигнала s_1 с принимаемым сложным сигналом.

Все сигналы могут быть флюктуирующими, а степень сходства сигналов оценивается через коэффициент взаимной корреляции.

Для построения схемы корреляционной обработки, осуществляющей принцип обнаружения, который является независимым от амплитуды сигнала, воспользуемся неравенством Буняковского-Шварца:

$$[B_{ys}]^2 \leqslant B_{ss} B_{yy}. \tag{1}$$

Здесь B_{ys} — функция взаимной корреляции между принимаемой смесью сигнала и помехи $y(t)$ и сигналом $s(t)$;

B_{ss} — автокорреляционная функция сигнала $s(t)$;

B_{yy} — автокорреляционная функция обрабатываемой смеси сигнала и помехи $y(t)$.

Введем в приведенное выше неравенство коэффициент K^2 для оценки степени декорреляции сигналов. Тогда неравенство (2) представится в виде

$$[B_{ys}]^2 > K^2 B_{ss} B_{yy}. \tag{2}$$

Правая часть неравенства является порогом, с которым сравнивается значение квадрата корреляционной функции $[B_{ys}]^2$. Раз-

Делим левую и правую части неравенства (1) на B_{ss}. Неравенство перепишется в виде

$$\frac{B_{ys}^2}{B_{ss}} > K^2 B_{yy}, \tag{3}$$

или

$$\frac{B_{ys}^2}{B_{ss}} - K^2 B_{yy} > 0.$$

Тогда алгоритм для построения асинхронного корреляционного обнаружителя

$$\rho = \sigma(\rho)\left\{\frac{B_{ys}^2}{B_{ss}} - K^2 B_{yy}\right\}. \tag{4}$$

Здесь

$$\sigma(\rho) = \begin{cases} 1 \text{ при } \rho \geqslant 0; \\ 0 \text{ при } \rho < 0. \end{cases}$$

При совпадении с заданной вероятностью принимаемого сигнала с передаваемым сигналом на выходе корреляционного обнаружителя вырабатывается короткий импульс, наличие которого соответствует принятию решения «да» с заданной вероятностью правильного обнаружения.

А. Простейший асинхронный корреляционный обнаружитель

При использовании корреляционного обнаружителя, собранного по типовой схеме (с перемножителем и интегратором) алгоритм обнаружителя определится из неравенства (4), в которое подставляются следующие значения корреляционной функции:

$$B_{ys} = \frac{1}{T}\int_0^T s(t)\, y(t)\, dt,$$

(T — время интегрирования)

$$B_{ss} = \frac{1}{T}\int_0^T s^2(t)\, dt;$$

$$B_{yy} = \frac{1}{T}\int_0^T y^2(t)\, dt.$$

Тогда алгоритм принимает вид

$$\rho(T) = \sigma(\rho)\left\{\frac{\left[\frac{1}{T}\int_0^T s(t)\, y(t)\, dt\right]^2}{\frac{1}{T}\int_0^T s^2(t)\, dt} - K^2\left[\frac{1}{T}\int_0^T y^2(t)\, dt\right]\right\}. \tag{5}$$

Структурная схема асинхронного корреляционного обнаружителя представлена на рис. 1.

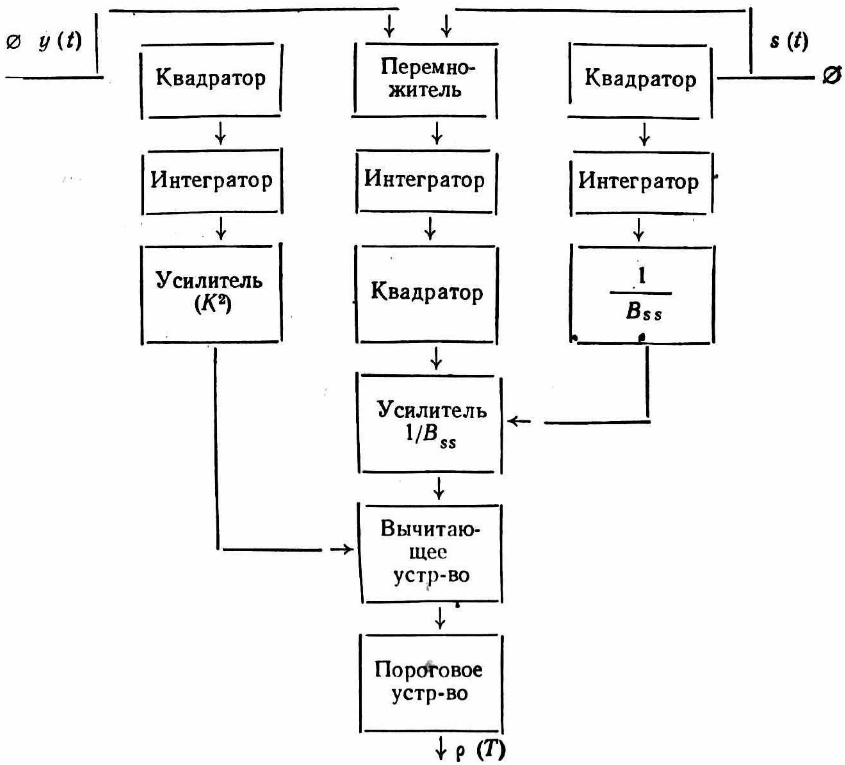

Рис. 1.

Б. Алгоритм кратковременного корреляционного обнаружителя, независимого от уровня сигнала, с регулируемым импульсным откликом

Рассмотрим алгоритм кратковременного коррелятора с регулируемой импульсной характеристикой, применение которого может повысить эффективность обнаружения сигнала за ограниченное время при наличии полезного сигнала.

Для получения кратковременной функции взаимной корреляции строится система (рис. 2) с регулируемым импульсным откликом в соответствии с выражением

$$B_{ys}(t_0, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\vartheta, t_0)\, y(t_0 - \vartheta + \tau)\, d\vartheta,$$

где $g(\vartheta, t_0) = p(\vartheta)\, s(t_0 - \vartheta)$ — регулируемая сигналом $s(t)$ импульсная характеристика линейного фильтра.

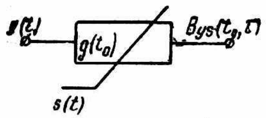

Рис. 2.

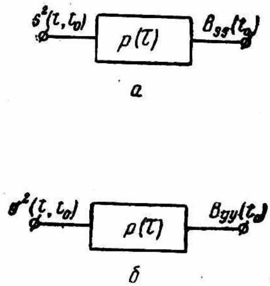

Рис. 3.

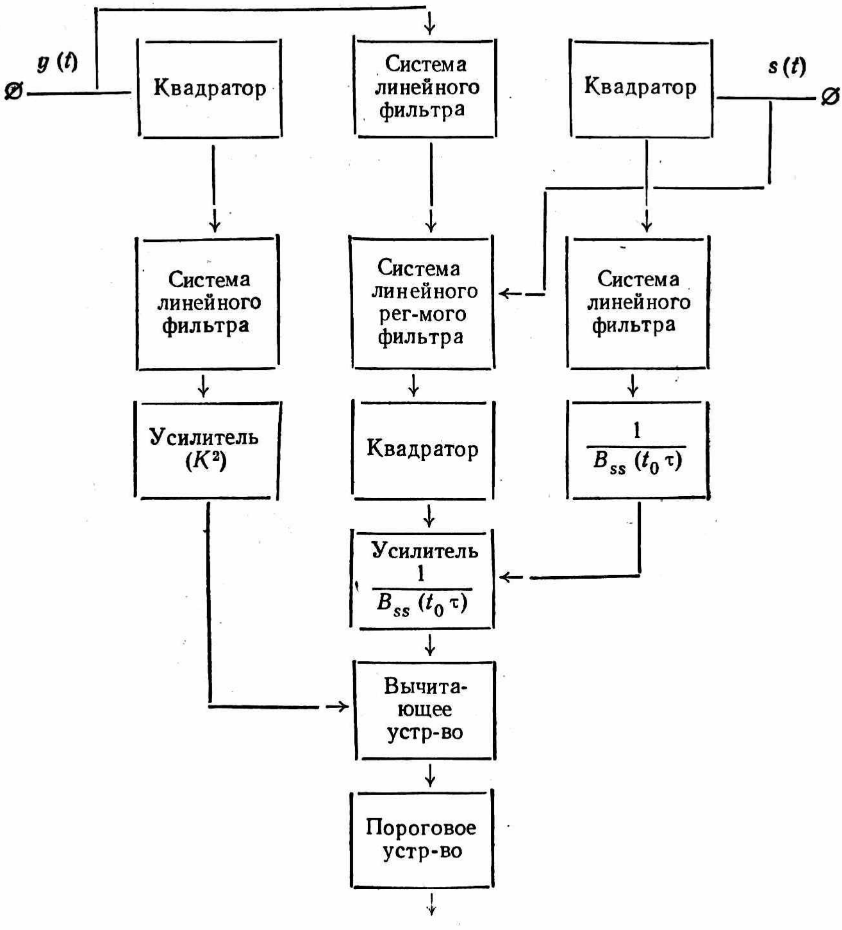

Рис. 4.

Кратковременная функция автокорреляции вырабатывается при воздействии квадрата данного сигнала на систему линейного фильтра с импульсной характеристикой $p(\tau)$ (рис. 3, *а*, *б*):

$$B_{ss}(t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,[s(t_0 - \vartheta)]^2\,d\vartheta$$

и

$$B_{yy}(t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,[y(t_0 - \vartheta)]^2\,d\vartheta.$$

Тогда в соответствии с неравенством (1) алгоритм для построения кратковременного корреляционного обнаружителя представится в виде

$$[B(\tau;\ t_0)]^2 = \left[\int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,s(t_0 - \vartheta)\,y(t_0 + \tau - \vartheta)\,d\vartheta\right]^2 =$$

$$= \left[\int_{-\infty}^{\infty} g(\vartheta,\ t_0)\,y(t_0 + \tau - \vartheta)\,d\vartheta\right]^2 \leqslant$$

$$\leqslant \int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,[s(t_0 - \vartheta)]^2\,d\vartheta \int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,[y(t + \tau - \vartheta)]^2\,d\vartheta.$$

Разделив правую и левую части на $B_{ss}(t_0)$ и учтя коэффициент K^2, получаем выражение алгоритма кратковременного корреляционного обнаружителя независимо от уровня сигнала:

$$\rho(\tau) = \sigma(\rho)\left\{\frac{\left[\int_{-\infty}^{\infty} g(\vartheta,\ t_0)\,y(t_0 + \tau - \vartheta)\,d\vartheta\right]^2}{\int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,[s(t_0 - \vartheta)]^2\,d\vartheta} - \right.$$

$$\left. - K^2 \int_{-\infty}^{\infty} p(\vartheta)\,[y(t_0 + \tau - \vartheta)]^2\,d\vartheta\right\}.$$

На рис. 4 представлена структурная схема кратковременного корреляционного обнаружителя, независимого от уровня обрабатываемого сигнала, с регулируемым импульсным откликом.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Котельников. Теория потенциальной помехоустойчивости. МЭИ, 1946; Госэнергоиздат, 1956.

2. А. А. Харкевич. Борьба с помехами. Изд-во «Наука», 1965.

3. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. Изд-во «Советское радио», 1966, 1968.

4. Eier Richard und Weinrichter Hans. Asinchrone, amplitudenunarhängige Kurzzeitkorrelation mit Hilfe von Ortogonaliehen. Archiv der elektrischen Übertragung, Heft. 1, Band 22, 1968.