

УДК 621.396.669.8

МЕТОД СОГЛАСОВАННОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ПОМЕХ

Язовский А.А. , Язовская Ю.А.

ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Екатеринбург, Россия

В настоящее время особое внимание уделяется проблеме обнаружения радиосигналов на фоне мощных аддитивных помех. Для большинства радиотехнических систем характерна ситуация, когда форма полезного сигнала известна, но неизвестны время его прихода и его энергия на входе приёмника. Считается, что наилучшим видом обработки сигнала на фоне белого гауссовского шума в такой ситуации является согласованный фильтр (СФ) с передаточной функцией [1]:

$$K_1(j\omega) = c \cdot S^*(j\omega) \cdot e^{-j\omega T}, \quad (1)$$

где $S(j\omega)$ – спектр полезного сигнала; $(\dots)^*$ - знак комплексного сопряжения; T - длительность полезного сигнала; c - произвольная ненулевая константа.

Для небелого гауссовского шума со спектральной плотностью мощности $N(j\omega)$ оптимальным является каскадное включение обесцвечивающего и согласованного фильтров с совместной передаточной функцией [1]:

$$K_2(j\omega) = c \cdot \frac{S^*(j\omega)}{N(j\omega)} \cdot e^{-j\omega T}, \quad (2)$$

При неизвестном спектре помехи использование (2) становится невозможным.

Предлагаемый метод заключается в адаптивной нелинейной обработке $F(Y)$ спектра входной смеси сигнала с помехой $Y(j\omega) = X(j\omega) + S(j\omega)$. Для изложения его сути перейдём от непрерывных функций частоты к их дискретным отсчётам: $S_k = S(j\omega_k)$, $X_k = X(j\omega_k)$, $Y_k = Y(j\omega_k)$, $K_{Lk} = K_L(j\omega_k)$ и т.д.

В качестве критерия адаптации выберем минимум среднего квадрата ошибки произведения модуля спектра полезного сигнала на выходе нелинейной обработки $F(Y)$:

$$I = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \{F(Y_k) \cdot |Y_k| - |K_{Lk}|\}^2. \quad (3)$$

Очевидно, что поиск оптимальной функции $F_{OPT}(Y)$, обеспечивающей минимум (3) равный нулю, приводит к выражениям для характеристики нелинейного преобразования и коэффициента передачи нелинейного СФ:

$$F_{OPT}(Y_k) = |K_{1k}|/|Y_k|, \quad K_{3k} = F_{OPT}(Y_k) \cdot K_{1k}. \quad (4)$$

Для сравнительной оценки эффективности используем отношение энергии сигнала к энергии помехи на выходе каждого из трёх фильтров:

$$q_L = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} |S_k \cdot K_{Lk}|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |X_k \cdot K_{Lk}|^2}, \quad (5)$$

где $L=1,2,3$, - номер передаточной функции фильтра.

Эффективность (5) предлагаемого метода была исследована моделированием в среде MatCAD на примере приёма одиночного радиоимпульса с частотой заполнения $f_0 = f_D/4$ на фоне помехи в виде аддитивной смеси гауссовского шума с дисперсией σ^2 и синусоидального колебания постоянной амплитуды A_x с центральной частотой спектра $f_x = 0,9f_0$ и модуляцией по фазе по закону синуса с частотой $F_m = f_0/250$ и индексом $m = 10$. Радиоимпульс амплитудой A_s и длительностью $\tau = 100 \cdot \Delta t$ был задержан относительно начала приёма на время $T = 900 \cdot \Delta t$. Здесь $f_D = 1/\Delta t$ - частота дискретизации, а Δt - шаг дискретизации. Параметры модуляции сигнала и помехи были выбраны таким образом, чтобы их спектры перекрывались. Изменяли степень «негауссовости» $\alpha = A_x^2/2\sigma^2$, а также отношение сигнал-помеха на входе $q_0 = 2A_s^2/(A_x^2 + 2\sigma^2)$.

В Таблице 1 представлены результаты исследований в виде выигрыша $\mu_3 = q_3/q_1$ для различных q_0 и α (в децибеллах).

Таблица 1.

$q_0 \backslash \alpha$	-30	-20	-10	0	10
-10	12.36	7.77	7.94	4.93	0.79
0	6.05	5.54	0.15	-0.45	-0.16
10	10.99	5.23	6.59	4.67	-0.08
20	13.48	11.26	12.25	6.05	0.38

На Рисунке 1 представлены графики отсчётов огибающей на выходе рассмотренных выше СФ для $q_0 = -20$ дБ и $\alpha = 20$ дБ (номер графика соответствует номеру передаточной функции, цифра по горизонтали – номеру отсчёта).

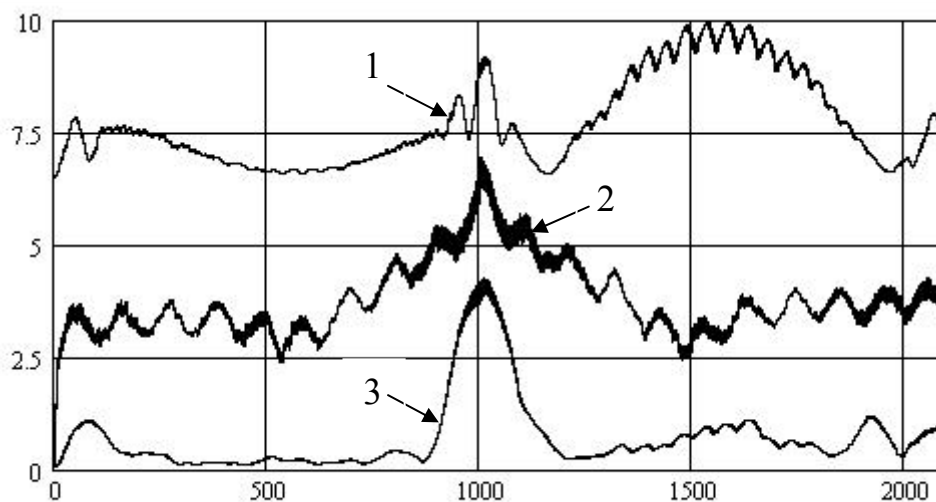


Рисунок 1. Отсчёты огибающей отклика согласованных фильтров.

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- 1) эффективность предлагаемого СФ по сравнению с обычным существенно зависит от параметра помехи α (для $q_0 = -10$ дБ $\mu_3 \approx 0$ дБ при $\alpha = 0$ дБ и $\mu_3 \approx 12$ дБ при $\alpha = 20$ дБ);
- 2) предлагаемый СФ наиболее эффективен при малом отношении сигнал-помеха ($\mu_3 \approx 14$ дБ для $q_0 = -30$ дБ и $\alpha = 20$ дБ); для «мощных» сигналов его эффективность совпадает с обычным СФ;
- 3) предлагаемый СФ может существенно (от 7 до 20 дБ) проигрывать СФ, оптимальному при небелом шуме с известным спектром мощности;
- 4) форма отклика предлагаемого нелинейного СФ в отличие от обычного линейного соответствует ожидаемой, а именно: положение максимума отклика нелинейного СФ соответствует ожидаемому, т.е. $\tau + T = 1000 \cdot \Delta t$;
- 5) предложенный в статье метод нелинейной согласованной обработки сигналов достаточно прост в реализации и позволяет существенно (на 10...20 дБ) повысить помехоустойчивость радиотехнических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы : учебник для вузов / И.С. Гоноровский. М.: Сов. радио, 1977. 608 с.