

АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ С НЕПРЕРЫВНОЙ ФАЗОЙ ПРИ НАЛИЧИИ НЕФЛУКТУАЦИОННЫХ ПОМЕХ

Куликов Г.В.

Московский институт радиотехники, электроники и автоматики

Хорошие спектральные и энергетические свойства модулированных сигналов с непрерывной фазой (МНФ) [1] давно привлекают разработчиков аппаратуры передачи данных для систем мобильной и спутниковой радиосвязи со сложной помеховой обстановкой. Такой сигнал на k -ом тактовом интервале может быть записан следующим образом:

$$s(t, \mathbf{C}_k) = \operatorname{Re} \{ A(t) \cdot \exp[j(\omega_0 t + \varphi)] \}, \quad t \in (k-1)T, kT], \quad (1)$$

где $A(t) = A_0 \exp[-j\ddot{O}(t)]$ – комплексная огибающая; $\ddot{O}(t) = 2\pi \sum_{i=1}^k C_i h_i q[t - (i-1)T]$ – информационная

составляющая фазы сигнала; $A_0 = \sqrt{2E/T}$ – амплитуда; E – энергия; h_i – индекс модуляции на i -ом тактовом интервале; ω_0 – несущая частота; φ – начальная фаза; $\mathbf{C}_k = [C_1; C_2; \dots; C_k]$ – вектор m -ичных информационных символов, принимающих одно значение из ряда $C_i = \pm 1; \pm 3; \dots; \pm(m-1)$; $q(t)$ – фазовый импульс (ФИ) длиной L тактовых интервалов.

На входе приемника наряду с шумовой помехой часто присутствуют и разного рода нефлукуационные помехи, наиболее типичные из которых следующие: гармонический сигнал, сигнал с бинарной фазовой манипуляцией псевдослучайной последовательностью (ПСП-ФМ), ретранслированный сигнал.

Одним из способов борьбы с такого рода помехами является использование адаптивных фильтров (АФ), обычно реализуемых как нерекурсивные цифровые фильтры с регулируемыми весовыми коэффициентами (ВК). Элемент выходной последовательности такого фильтра в пространстве комплексных огибающих можно записать следующим образом:

$$y_m = \mathbf{C}^m \mathbf{X}_m,$$

где $\mathbf{X}_m = [x_m, x_{m-1}, \dots, x_{m-N+1}]^T$ – вектор последовательности входных отсчетов; $\mathbf{C}^m = [c_0^m, c_1^m, \dots, c_{N-1}^m]^T$ – вектор ВК в m -й момент времени.

В условиях, когда параметры помех априорно неизвестны и меняются во времени, необходимо применять алгоритмы работы АФ, максимизирующие сигнальную составляющую в принимаемой смеси "сигнал+помеха". Для этого на приемной стороне должны быть известны некоторые характерные свойства полезного сигнала, отличающие его от помехи.

Представляется эффективным использование весьма характерной информации о фазовой структуре сигнала МНФ, в частности, того факта, что, согласно (1) модуль производной информационной составляющей фазы на длительности k -го тактового интервала равен

$$G = |\Phi'(t)| = 2\pi h_k g(t) = |A'(t)| / A_0,$$

где $g(t) = q'(t)$ – частотный импульс.

По аналогии с [2] предложен градиентный алгоритм для подстройки модуля ВК

$$\mathbf{C}^{m+1} = \mathbf{C}^m - d \cdot (|y'_m| - G) y_m \mathbf{X}_m^*, \quad (2)$$

контролирующий фазовую траекторию принимаемого процесса и минимизирующий целевой функционал $M[(|y'_m| - G)^2]$, где d – коэффициент, определяющий степень инерционности процесса адаптации; $(\cdot)^*$ – знак комплексного сопряжения; $M[\cdot]$ – знак статистического усреднения.

Методом машинного моделирования проведен анализ эффективности алгоритма (2) и его влияния на помехоустойчивость демодуляторов сигналов МНФ при наличии в канале связи шумовой помехи со спектральной плотностью N_0 и перечисленных выше нефлуктуационных помех с относительной интенсивностью μ . Рассмотрены сигналы МНФ с индексом $h = 0,5$ и тремя видами частотных импульсов $g(t)$: прямоугольным (ПРМНФ), в виде полупериода синусоиды (ПСМНФ) и в виде приподнятого косинуса (ПКМНФ).

Показано, что предложенный алгоритм обладает высокой скоростью сходимости и особенно эффективен при наличии в канале связи узкополосных помех (рис. 1), причем такой АФ способен подавлять до 3 – 4 гармонических помех, одновременно действующих на входе приемника (рис. 2).

В случае, когда гармоническая помеха имеет расстройку в пределах главного лепестка спектра сигнала МНФ, наилучшие показатели – снижение вероятности ошибки на порядок – достигаются для сигналов ПСМНФ.

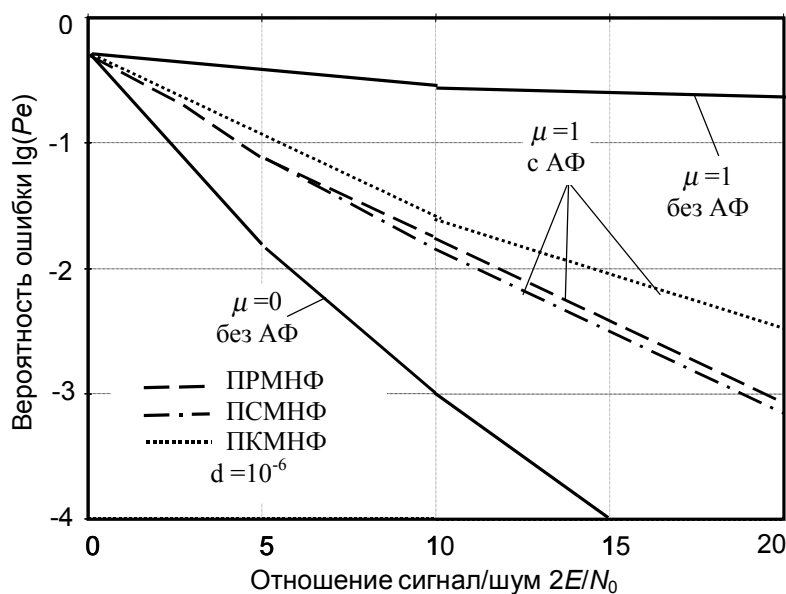


Рис. 1

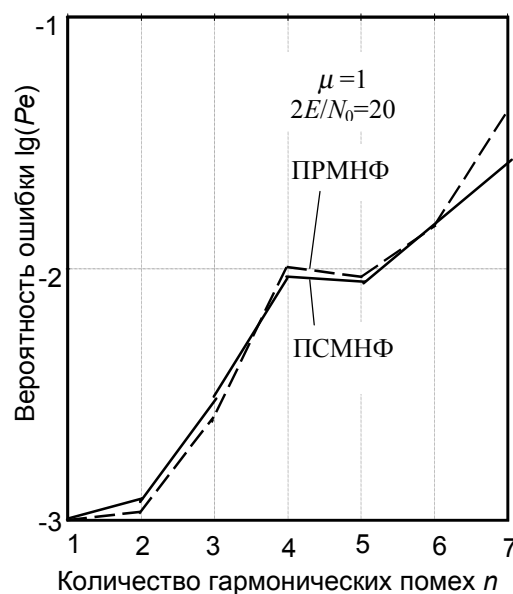


Рис. 2

Если помеха широкополосная, например вида ПСП-ФМ с большой относительной скоростью передачи, или ретранслированная (фазовая структура подобна структуре полезного сигнала), то эффективность алгоритма снижается.

Литература

1. Емельянов П.Б., Парамонов А.А. Дискретные сигналы с непрерывной фазой. – Зарубежная радиоэлектроника, 1990, №12.
2. Treichler J.R., Agee B.G. A new approach to multipath correction of constant modulus signals// IEEE Trans.: V. ASSP-31.– 1983.– №2.– P. 459–472.

ALGORITHM OF A DIGITAL ADAPTIVE FILTRATION OF THE MODULATED SIGNALS WITH A CONTINUOUS PHASE AT NON-FLUCTUATION INTERFERENCE PRESENCE

Kulikov G.

MIREA

The modulated signals with a continuous phase can be written down as follows:

$$s(t, \mathbf{C}_k) = \operatorname{Re}\{A(t) \cdot \exp[j(\omega_0 t + \varphi)]\}, t \in (k-1)T, kT], \quad (1)$$

where $A(t) = A_0 \exp[-j\Phi(t)]$ – complex envelope; $\Phi(t) = 2\pi \sum_{i=1}^k C_i h_i q[t - (i-1)T]$ – information component of a phase of a signal; $A_0 = \sqrt{2E/T}$ – amplitude; E – energy; h_i – index of modulation; ω_0 – carrier frequency; φ – initial phase; $\mathbf{C}_k = [C_1; C_2; \dots; C_k]$ – vector of information symbols; $q(t)$ – phase pulse by a length L digit time slots.

This signal, noise and also non-fluctuation interference (harmonic signal, signal with binary phase manipulation or repeater signal) present at a receiver input. One of the ways of suppress such interference is the use of adaptive filters (AF) – non-recursive digital filters with adjustable weighting coefficients (WC). The element of an output sequence of such filter is:

$$y_m = \mathbf{C}^{mT} \mathbf{X}_m,$$

where $\mathbf{X}_m = [x_m, x_{m-1}, \dots, x_{m-N+1}]^T$ – vector of a sequence of input samples; $\mathbf{C}^m = [c_0^m, c_1^m, \dots, c_{N-1}^m]^T$ – vector WC.

The use of the rather characteristic information about phase structure of a signal (1) for tuning this AF is effective. By analogy with [2] gradient algorithm for tuning the module WC is offered:

$$\mathbf{C}^{m+1} = \mathbf{C}^m - d \cdot (|y'_m| - G) y_m \mathbf{X}_m^* \quad (2)$$

The efficiency of algorithm (2) is analysed by the method of computer modeling at noise and non-fluctuation interference in the communication channel presence. It is shown, that the algorithm (2) has high speed of convergence, he is especially effective at harmonic interference in the communication channel presence, and such AF is capable to suppress up to 3 – 4 of harmonic interference. If the interference is broadband or relayed (structure of the phase is similar to structure of a useful signal), then the efficiency of algorithm is reduced.