

АППРОКСИМАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ РЕШАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ АЛГОРИТМА ФАЗОВОГО ДИСКРИМИНИРОВАНИЯ ШУМОПОДОБНОГО *MSK*-СИГНАЛА

Е. В. Кузьмин

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Получена 3 февраля 2012 г.

Аннотация. В статье исследуется квазиоптимальный алгоритм фазового дискриминирования шумоподобного *MSK*-сигнала. Обосновывается выбор крутизны аппроксимации решающей функции. Представлены результаты статистического моделирования.

Ключевые слова: шумоподобный сигнал, алгоритм фазового дискриминирования, дисперсия эквивалентных фазовых флуктуаций, *MSK*-модуляция.

Abstract. Quasi-optimal algorithm for the spread-spectrum *MSK*-signal phase discriminator is investigated. Choice of the approximation coefficient is proved. Results of statistical modeling are given.

Keywords: spread-spectrum signal, phase discrimination algorithm, equivalent phase fluctuations dispersion, minimum shift keying modulation.

В перспективных радионавигационных системах находят применение шумоподобные сигналы (ШПС) с минимальной частотной манипуляцией, в зарубежной литературе упоминаемые как *MSK*-signals (Minimum Shift Keying). Шумоподобные *MSK*-сигналы превосходят традиционные фазоманипулированные сигналы по спектральной эффективности и другим показателям [1]. Одной из главных проблем при приёме ШПС является осуществление фазовой синхронизации, что необходимо для когерентного корреляционного приёма и фазовых методов измерения координат места и параметров движения потребителей. Системам фазовой синхронизации (СФС)

приёмников ШПС посвящено достаточно большое число работ, например [2], однако публикаций по фазовым дискриминаторам (ФД) ШПС-MSK – наиболее специфическим элементам СФС в настоящее время известно небольшое количество, к примеру [3, 4].

Цель данной статьи: обоснование крутизны аппроксимации оптимальной по критерию максимального правдоподобия решающей функции $\text{th}(x)$ для алгоритма фазового дискриминирования шумоподобного MSK-сигнала.

Шумоподобный MSK-сигнал может быть представлен в комплексной форме [5]:

$$s_{MSK}(t) = \text{Re}\left\{\dot{S}(t)\exp\left[j(2\pi f_0 t - \varphi)\right]\right\}, \quad \dot{S}(t) = D(t)\sqrt{2P_c}\exp\left[j\Theta(t)\right], \quad (1)$$

$$\Theta(t) = \frac{\pi}{2T} \int_0^t d(t')dt', \quad d(t) = \sum_{i=0}^{N-1} d_i \text{rect}(t - iT),$$

где $\dot{S}(t)$ – комплексная огибающая; f_0 – центральная частота; φ – начальная фаза; P_c – мощность сигнала; $D(t) = \pm 1$ – информационный сигнал; $\Theta(t)$ – функция определяющая закон угловой модуляции; $\{d_i\}$ – псевдослучайная последовательность (ПСП) длины N , T – длительность элемента ПСП, $\text{rect}(t)$ – прямоугольный импульс длительности T .

Структурная схема оптимального по критерию максимального правдоподобия ФД представлена на рис. 1, где введены обозначения: \times – перемножитель; \int – интегратор, опрашиваемый в моменты времени $t_k = kT_{\Pi}$, где T_{Π} – период ПСП сигнала (1), $k = 1, 2, \dots$; th – функциональный преобразователь с характеристикой вида $\text{th}(x)$ – тангенс гиперболический; Z_1 и Z_2 – выходные величины синфазного и квадратурного каналов ФД соответственно.

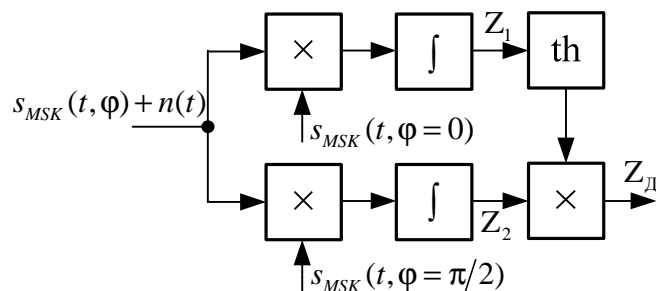


Рис. 1. Фазовый дискриминатор шумоподобного MSK-сигнала.

Оптимальный алгоритм фазового дискриминирования (2) шумоподобного MSK-сигнала имеет вид [3]:

$$Z_{д1} = \text{th}\left(\frac{Z_1}{\sigma^2}\right)Z_2, \quad (2)$$

где σ^2 – дисперсия аддитивного белого гауссовского шума $n(t)$. Реализация алгоритма (2) на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) затруднительна, в связи с чем, актуальной является задача разработки квазиоптимального ФД с минимальными потерями в помехоустойчивости.

Упрощение оптимального алгоритма ФД (2) достигается путём кусочно-линейной аппроксимации решающей функции $\text{th}(x)$:

$$Z_{д2} = \text{th}^*(Z_1)Z_2; \quad (3)$$

$$\text{th}^*(x) = \begin{cases} \frac{1}{m}x, & |x| \leq m, \\ \text{sign}(x), & |x| > m. \end{cases} ; m = \text{const}.$$

В качестве критерия, для сравнительного анализа помехоустойчивости алгоритмов (2) и (3), используем дисперсию эквивалентных фазовых флуктуаций $\sigma_{\varphi i}^2 = \sigma_{дi}^2 / k_{дi}^2$, $i=1,2$ – номер алгоритма ФД, $\sigma_{дi}^2$ – дисперсия выходной величины дискриминатора при $\varphi=0$, $k_{дi} = \partial \overline{Z_{дi}(\varphi)} / \partial \varphi \Big|_{\varphi=0}$ – крутизна дискриминационных характеристик (черта сверху означает статистическое усреднение) [2]. Выбор лучшего из квазиоптимальных алгоритмов ФД шумоподобного MSK-сигнала заключается в выборе параметра m в (3), обеспечивающего минимум функции $\sigma_{\varphi 2}^2(m)$.

На рис. 2 представлены результаты статистического моделирования (усреднение по 10^4 испытаниям) квазиоптимального алгоритма ФД при использовании аппроксимации (3) оптимальной решающей функции: зависимость дисперсии σ_{32}^2 от крутизны аппроксимации m при отношении «сигнал/шум» на входе $q = -40$ дБ.

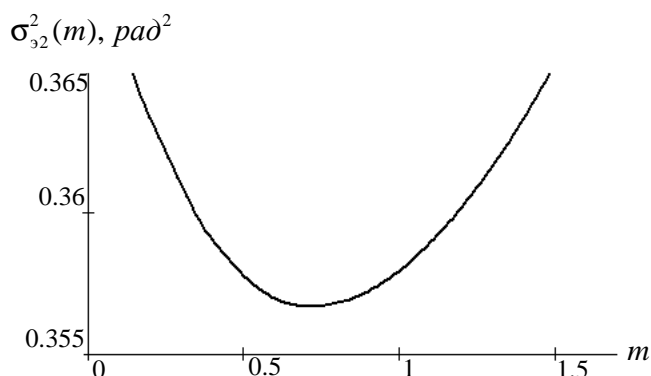


Рис. 2. Зависимость дисперсии эквивалентных фазовых флуктуаций от крутизны аппроксимации решающей функции.

Выводы.

1. Наилучший квазиоптимальный алгоритм фазового дискриминирования шумоподобного *MSK*-сигнала может быть реализован на основе выражения (3) при крутизне кусочно-линейной аппроксимации $m \approx 0.71$.

2. Предложенный алгоритм может быть реализован на основе ПЛИС фирмы Xilinx с использованием программного обеспечения MatLab-Simulink и Xilinx System Generator for DSP.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта, выделенного на выполнение поисковых научно-исследовательских работ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (Государственный контракт от 31.10.2011г. №16.740.11.0764).

Литература

1. Nard G. Geoloc spread spectrum concept applied in new accurate medium-long range radio positioning system. – France, Sercel – 03/89. – 23 p.
2. Жодзишский М.И. Цифровые системы фазовой синхронизации / М.И. Жодзишский, С.Ю. Сила-Новицкий, В.А. Прасолов и др. – Москва: «Советское радио», 1980. – 208 с.
3. Бондаренко В.Н. Помехоустойчивость алгоритмов фазового дискриминирования шумоподобного сигнала / В.Н. Бондаренко, Е.В. Кузьмин // Сб. науч. тр. «Соврем. пробл. радиоэл.». – М.: Радио и связь. – 2006. – С.53 – 56.
4. Бондаренко В.Н. Алгоритм автоподстройки по частоте для корабельной станции широкополосной радионавигационной системы / В.Н. Бондаренко, В.И. Кокорин, Е.В. Кузьмин // Навигация и гидрография. – 2007. – №24. – С.44 – 52.
5. Kuzmin E.V. Comparative Analysis of Phase-lock Control System Algorithms for Spread-spectrum Signal Receiver / Е.В. Кузьмин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». – Т.4. – №1. – 2011. – С.35 – 39.

Режим доступа: http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/2276/1/04_Kuzmin.pdf.