

0299/download.php?spec=MIL-STD-188-141D.055865.pdf (дата обращения: 17.02.21).

3. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. / А.Е. Рыжков [и др.] //СПб.: Линк, 2012. – 226 с.

Шантуров Евгений Михайлович, кандидат технических наук, научный сотрудник, ФГУП НИИР – СОНИИР. E-mail: shanturov.em@soniir.ru.

УДК 681.51.54

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛЧМ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Д.Б. Амангельды, С.А. Маркелов

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

В работе предлагается вычислительно простой метод оценки значений мгновенной частоты ЛЧМ сигнала.

Схема на рисунке 1 содержит комплексный цифровой фильтр, характеризующийся частотой f_c и фазой φ_c , устройство перемножения действительной и мнимой компонент выходного сигнала фильтра и блок управления.

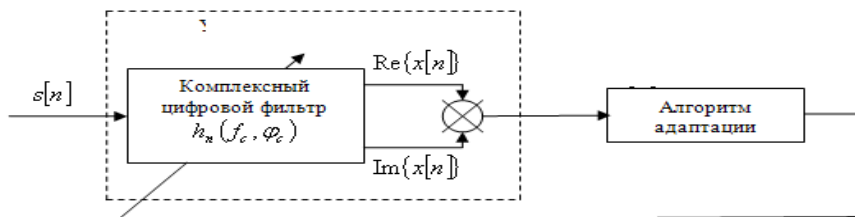


Рисунок 1 – Схема фазовой автоподстройки частоты на основе цифрового адаптивного фильтра

Совокупность фильтра и перемножителя представляет собой аналог классического фазового детектора с перестраиваемой дискриминационной характеристикой и обозначается как управляемый фазовый детектор (УФД). Ошибка, характеризующая величину фазового рассогласования входного сигнала и УФД, формируется как произведение действительной и мнимой компонент выходного сигнала фильтра. Выберем фильтр с импульсной характеристикой следующего вида:

$$h_n[k] = \frac{1}{p} \exp(i2\pi f[n]k + i\varphi_c[n]), \quad 0 \leq k \leq p-1 \quad (1)$$

Алгоритм подстройки частоты и фазы фильтра имеет вид:

$$\varphi_c[n] = \varphi_c[n-1] + 2\pi f_c[n-1] - \alpha e[n-1] \quad (2)$$

$$f_c[n] = f_c[n-1] - \beta 2\pi e[n-1] \quad (3)$$

Для обеспечения максимальной скорости сходимости компоненты α и β , входящие в (2) и (3) должны удовлетворять следующему соотношению:

$$\beta = \frac{\alpha^2}{4}.$$

Анализируемый ЛЧМ сигнал:

$$r[n] = A \cos(2\pi f_0 n + \lambda n^2 + \varphi_0).$$

Частота дискретизации f_s , представляется в I и Q компонентах (рисунок 2):

$$I[n] = \frac{A}{2} \cos(\lambda n^2 + \varphi_0),$$

$$Q[n] = -\frac{A}{2} \sin(\lambda n^2 + \varphi_0),$$

из которых формируется комплексный входной сигнал схемы автоподстройки частоты фильтра следующим образом:

$$s[n] = I[n] - iQ[n] = \frac{A}{2} \exp(\lambda n^2 + \varphi_0). \quad (4)$$

После завершения переходного процесса отсчеты частоты фильтра будут соответствовать отсчетам мгновенной частоты входного сигнала с задержкой, определяемой числом коэффициентов фильтра.

Захват частоты входного сигнала в рассматриваемой схеме возможен лишь в сравнительно узкой области спектра в окрестности частоты, определяемой шириной главного лепестка фильтра. Оценка частоты может быть произведена, в частности, по максимуму периодограммы.

Коэффициенты прямолинейных участков модели, а также точка их пересечения определяются путем решения задачи оптимизации:

$$\varepsilon^2(k_l, b_l, k_r, b_r, N) = \sum_{n=0}^{N-1} (f[n] - k_l n - b_l)^2 + \sum_{n=N}^{M-1} (f[n] - k_r n - b_r)^2 \rightarrow opt$$

Классификация, а также определение направления изменения и девиации частоты производится путем анализа знаков и величин угловых коэффициентов линейных участков (k_l и k_r) полученной модели. Иллюстрация работы рассмотренного алгоритма подстройки частоты фильтра представлены на рисунках 2 и 3.

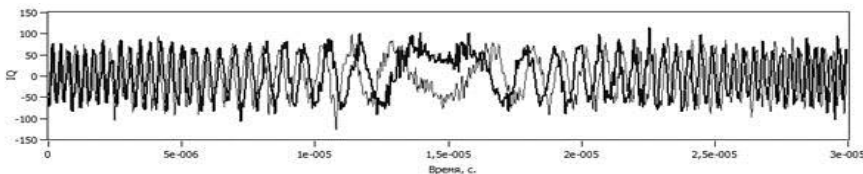
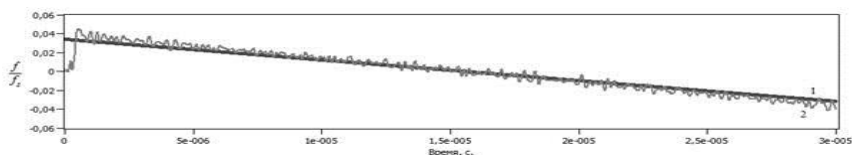


Рисунок 2 – IQ - компоненты ЛЧМ сигнала



1 – модель изменения частоты ЛЧМ сигнала, 2 - оценка мгновенной частоты ЛЧМ сигнала

Рисунок 3 – Мгновенная частота ЛЧМ сигнала

Список использованных источников

1. Кочемасов. Н. Ф., Белов Л. А., Оконешников В.С. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. – М.: «Радио и связь», 1983. – 192 с.
2. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1990. – 551 с.
3. Акимов В.Н., Белюстина Л.Н., Белых В.Н. и др. Системы фазовой синхронизации. – М.: Радио связь, 1982. – 288 с.
4. W.A. Sethares, J.M. Walsh, C.R. Johnson Jr. AN ADAPTIVE VIEW OF SYNCHRONIZATION // Circuits and Systems, 2002. MWSCAS-2002. The 2002 45th Midwest Symposium on. 2002. Vol.2. pp. 521-524.
5. Hagemann Eric The Costas Loop. – <http://i.cmpnet.com/dsp/dspsource/dsp010628F1.pdf>
6. Сизых В.В., Шахтарин Б.И., Сидоркина Ю.А. и др. Синхронизация и радиосвязи и радионавигации: Учебное пособие – М.: Горячая Линия-Телеком, 2011.