

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА С ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ПО КОРОТКОЙ ЦИФРОВОЙ ВЫБОРКЕ

Манюкевич Е.А., Поболь А.Ю.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Гринкевич А.В. - канд. техн. наук, доц.

Обоснованы алгоритмы определения начального значения и скорости изменения частоты сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) при цифровой обработке короткой выборки его квадратурных компонент. Алгоритмы основаны на развертке полной фазы принимаемой реализации и ее аппроксимации параболической зависимостью по трем точкам, коэффициенты которой функционально связаны с оценками начальных фаз, частоты и скорости изменения частоты сигнала.

В ряде практических приложений (радиомониторинг, формирование помех из копий зондирующего сигнала и др.) существует практическая потребность определения начальной частоты и скорости изменения частоты ЛЧМ-сигнала при жестких ограничениях на время проведения указанных оценок. Известные алгоритмы оценки, основанные на методе максимального правдоподобия, в этом случае оказываются не реализуемыми. В [1] предложены алгоритмы оценки частоты гармонического сигнала при цифровой обработке квадратурной выборки. Цель работы – модификация алгоритмов указанных алгоритмов и получение оценок точности измерения параметров ЛЧМ-сигнала.

Будем полагать, что наблюдению доступны $i = \overline{0, I}$, где $I = [TF_d]$; F_d - частота дискретизации; T - длительность интервала наблюдения, отсчетов квадратурных компонент смеси сигнала и шума вида

$$\dot{Y}_i = \dot{S}(t_i) + \dot{N}(t_i),$$

где $\dot{S}(t) = Ae^{j(2\pi ft + bt^2 + \varphi_0)}$ - ЛЧМ-сигнал с начальными фазой φ_0 , частотой f и скоростью изменения частоты $V_f = b / \pi$; $t_i = i / F_d$; $\dot{N}(t_i)$ - комплексный гауссовский шум с корреляционной функцией $\overline{\dot{N}(t_m)N^*(t_n)} = \delta_{mn}\sigma_{ш}^2$. Фазы отсчетов:

$$\theta_i = \arg(\text{Re}(\dot{Y}_i), \text{Im}(\dot{Y}_i)), \theta_i \in [0, 2\pi).$$

Развертку полной фазы ψ по результатам наблюдений выполним по алгоритму

$$\psi_0 = \theta_0; \psi_k = \psi_{k-1} + \Delta_k', \Delta_k' = \begin{cases} \Delta_k, & |\Delta_k| < \pi; \\ \Delta_k - 2\pi \cdot \text{sign}(\Delta_k), & |\Delta_k| > \pi; \end{cases}$$

$$\Delta_k = \theta_k - \theta_{k-1}; k = \overline{1, I},$$

для которого предполагалось, что набег фаз между отсчетами для любой частоты и скорости изменения меньше, чем π .

Аппроксимация полной фазы запишется в виде

$$\psi(t) = \varphi_0 + \omega t + bt^2,$$

где неизвестные параметры сигнала φ_0 ; $\omega = 2\pi f$; b могут быть найдены методом наименьших квадратов с использованием всех или части отсчетов фазы. При наиболее экономичной аппроксимации по трем точкам $\psi_1, \psi_{N/2}, \psi_N$ получим оценки вида:

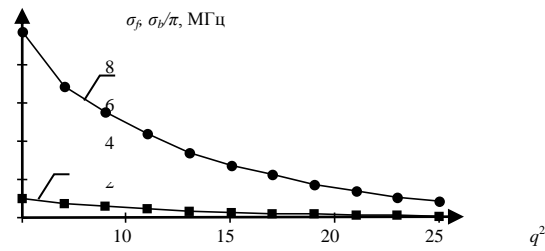
$$\hat{\varphi}_0 = \psi_0; 2\pi \hat{f} = (-3\psi_0 + 4\psi_{N/2} - \psi_N) / T;$$

$$\hat{b} = (2\psi_0 + 4\psi_{N/2} + 2\psi_N) / T^2.$$

Математические ожидания ошибок оценки параметров \hat{f} и \hat{b} при отсутствии аномальных ошибок измерения фазы будут равны нулю, при этом оценки указанных величин будут коррелированы.

Эффективность предлагаемого алгоритма исследовалась методом имитационного

моделирования. Рассматривался квадратурный приемник сигналов с полосой пропускания квадратурных компонент 250 МГц при частоте дискретизации 500 МГц при отношении сигнал/шум 10...30 дБ. На рис. 1 для примера приведены результаты расчетов зависимости среднеквадратических ошибок оценивания параметров ЛЧМ-сигнала ($f = 50$ МГц, $b/\pi = -10$ МГц/с) от отношения сигнал/шум при $T = 0,2$ мкс.



Предлагаемый вариант оценки частотных параметров ЛЧМ-сигнала обеспечивает получение несмещенных оценок, является асимптотически эффективным и предельно простым в реализации.

Список литературы

- 1] М. В. Ронкин, А. А. Калмыков, Е. И. Хрестина. Оценка частоты сигнала по короткой реализации в локационных системах с непрерывным излучением на основе обработки квадратурных составляющих // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. т. 1. С. 48-52.