



5-я Международная
молодежная
научно-техническая
конференция
РТ-2009



**СОВРЕМЕННЫЕ
ПРОБЛЕМЫ
РАДИОТЕХНИКИ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

СЕВАСТОПОЛЬ 20-25 апреля 2009 г.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДОППЛЕРОВСКОГО СМЕЩЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПО СУММЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Слюсар В.И., Троцко А.А.

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Слюсар В.И.

Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники

Вооруженных Сил Украины,

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

Военный институт телекоммуникаций и информатизации

ул. Драгоманова, 27, г. Киев, 02068, Украина

Тел.: +38 050 4436317; e-mail: swadim@inbox.ru; trocko_aa@mail.ru

Abstract — In this paper the method of doppler frequency shift's measurement with using of multifrequencies signals is considered.

1. Введение

Для обеспечения высокоскоростной передачи данных по каналу радиосвязи наземных пунктов управления с бортовой аппаратурой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в случае использования OFDM (N-OFDM) сигналов необходимо учитывать эффект Допплера. Важная роль при этом отводится оценке доплеровского смещения частоты в режиме приема пилот-сигнала. В простейшем случае в качестве пилотного может применяться одночастотное гармоническое колебание, однако по аналогии с [1] для повышения точности оценивания целесообразно рассмотреть возможность использования многочастотного пакета сигналов.

2. Основная часть

В целях упрощения рассматриваемой задачи будем полагать, что соотношение амплитуд и фаз поднесущих многочастотного пакета точно известно. Кроме того, потребуем, чтобы все номиналы частот пилотного пакета также были связаны между собой известными соотношениями. Это достигается выбором одного из сигналов в пакете в качестве реперного с нормировкой комплексных амплитуд и частот остальных поднесущих к соответствующим параметрам реперного канала. Данные ограничения позволяют рассматривать в системе уравнений, описывающих совокупность напряжений, полученных по принятому пилот-сигналу, лишь две неизвестных — комплексную амплитуду реперного сигнала и его частоту. По сути, это соответствует сведению задачи многосигнального измерения к односигнальному.

С учетом сделанных допущений, при условии, что по отсчетам принятого пилот-сигнала с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье (БПФ) формируется сетка частотных фильтров, выходные напряжения фильтров БПФ можно представить в матричной записи

$$U = F \cdot K \cdot a + n,$$

где $U = [U_1 \ U_2 \ \dots \ U_R]^T$ — вектор напряжений сигнальной смеси; $K = [1 \ K_1 \ \dots \ K_{M-1}]^T$ — вектор нормирующих коэффициентов амплитуд сигналов, $a = a^c + ja^s$ — комплексная амплитуда реперного сигнала, F — матрица амплитудно-частотных характеристик БПФ-фильтров, n — вектор напряжений шумов. В случае равенства всех поднесущих вектор K становится единичным. Для синтеза оптимальной процедуры оценивания доплеровской частоты реперного сигнала воспользуемся методом наименьших квадратов, записав функционал невязок в развернутом ви-

де

$$L = \sum_{r=1}^R \left\{ \left| U_r^c - a^c \sum_{m=1}^M k_m f_r(p_m \omega) \right|^2 + \left| U_r^s - a^s \sum_{m=1}^M k_m f_r(p_m \omega) \right|^2 \right\} = \min.$$

Процедуру минимизации L следует заменить эквивалентной максимизацией соотношения

$$L_M = a^c \sum_{r=1}^R U_r^c \sum_{m=1}^M k_m f_r(p_m \omega) + a^s \sum_{r=1}^R U_r^s \sum_{m=1}^M k_m f_r(p_m \omega) = \max$$

Оценки амплитуд, входящих в L_M , могут быть получены из системы уравнений правдоподобия $\partial L / \partial a^c = 0$, $\partial L / \partial a^s = 0$. Их подстановка в формулу для L_M приводит к окончательному выражению:

$$\tilde{L}_M = \left[\sum_{r=1}^R U_r^c \sum_{m=1}^M k_m f_r(p_m \omega) \right]^2 + \left[\sum_{r=1}^R U_r^s \sum_{m=1}^M k_m f_r(p_m \omega) \right]^2 = \max.$$

Таким образом, задача определения неизвестной частоты ω по сумме гармонических сигналов свелась к максимизации \tilde{L}_M на основе перебора возможных оценок ω до момента достижения функцией \tilde{L}_M глобального максимума. Для оценки потенциальной точности измерения частоты следует аналогично [1] использовать нижнюю границу Крамера-Рао (НГКР) в виде отношения определителей

$$\sigma_{\omega}^2 \geq \sigma_{\omega}^2 \cdot |P^T P| \cdot \left| \begin{array}{c|c} P^T \cdot P & a \cdot P^T \cdot \frac{\partial P}{\partial \omega} \\ \hline a \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial \omega} \right)^T \cdot P & \left(\frac{\partial P}{\partial \omega} \right)^T \cdot (a^2 1_R) \cdot \frac{\partial P}{\partial \omega} \end{array} \right|^{-1}$$

где σ_{ω}^2 — дисперсия шумов; $P = F \cdot K$; 1_R — единичный вектор.

3. Заключение

Таким образом, предложенный метод измерения доплеровского смещения частоты по сумме гармонических сигналов отличается сведением задачи многосигнального оценивания к односигнальному. Это позволяет повысить точность измерения доплеровского сдвига частоты, о чем свидетельствует анализ полученной НГКР. Для подтверждения справедливости теоретических результатов необходимо провести математическое моделирование, что и является задачей дальнейших исследований.

4. Список литературы

- [1] Слюсар В.И. Измерение периода дискретизации АЦП по сумме гармонических воздействий / В.И. Слюсар // Известия вузов: радиоэлектроника. — 1999. — Том 42. — № 9. — С. 19 — 25.