

УДК 621.39.

СЕЛЕТКОВ В.Л.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ДИСКРЕТИЗОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Рассмотрены алгебраическая и показательная формы параметрического представления дискретизованных сигналов над полем действительных чисел, позволяющие существенно упростить решение задачи статистического оценивания параметров огибающих и полных фаз сигналов. Проведен анализ свойств матрицы оператора дискретного конечномерного преобразования Гильберта

В радиотехнике произвольный аналоговый сигнал $s(t)$ представляют в виде $s(t) = a(t)\cos q(t)$, причем однозначно определяемые функции огибающей $a(t)$ и полной фазы $q(t)$ вводятся с помощью соотношений

$$a(t) = [s^2(t) + \hat{s}^2(t)]^{1/2}; \quad q(t) = \arctg(\hat{s}(t)/s(t)),$$

где $\hat{s}(t) = a(t)\sin q(t)$ — сигнал, сопряженный $s(t)$ по Гильберту [1].

В технике цифровой обработки сигналов производится дискретизация сигнала $s(t)$ на конечном интервале наблюдения $T = l\tau$. Поэтому сигнал $s(t)$ представляют в виде вектора $S = [s_i] = [s(t_i)]$, $i = 1, \dots, l$ отсчетов $s_i = s(t_i)$, $i = 1, \dots, l$ в фиксированные моменты времени t_i ($t_{i+1} - t_i = \tau$).

Для векторов отсчетов $S = [s_i] = [s(t_i)]$, $i = 1, \dots, l$ также вводят «отсчеты» огибающих A и полных фаз Q -сигналов в виде векторов

$$A = [a_i] = [(s_i^2 + \hat{s}_i^2)^{1/2}]; \quad Q = [q_i] = [\arctg(\hat{s}_i / s_i)],$$

где $\hat{s}_i$ — отсчеты сигнала $\hat{s}(t_i)$ [1, 2].

При решении задач статистического синтеза и анализа измерителей параметров сигналов более удобным является представление сигнала в дискретном виде. Это обусловлено тем, что для большинства моделей аддитивных шумов и ошибок измерений всегда можно записать выражение для многомерной функции правдоподобия (отношения правдоподобия). Однако при этом выражения для многомерных функций правдоподобия отсчетов огибающих и полных фаз трудно получить в явном виде, что существенно усложняет статистический анализ многоканальных амплитудных измерителей [1, 2]. Поэтому рассмотрим вариант параметрического представления огибающих и полных фаз дискретизованных сигналов, позволяющий обойти известные трудности их статистического описания при использовании методов теории статистических решений.

В большинстве практически важных случаев обработки сигналов интересны не абсолютные значения параметров, а их приращения (изменения) относительно одноименных параметров подобного (модулируемого) известного сигнала $s_0(t) = a_0(t)\cos q_0(t)$ (опорного, зондирующего, контрольного, пилот-сигнала и т. д.). При этом сигнал $s(t) = a(t)\cos q(t)$ можно представить в виде

$$\begin{aligned} s(t) &= m(t)a_0(t)\cos[q(t) - q_0(t) + q_0(t)] = \\ &= m(t)[\cos g(t)s_0(t) - \sin g(t)\hat{s}_0(t)], \end{aligned} \quad (1)$$

где $a(t) = m(t)a_0(t)$; $g(t) = q(t) - q_0(t)$.

Это преобразование описывает сигнал $s(t) = a(t)\cos q(t)$ как результат амплитудной и фазовой модуляции сигнала $s_0(t) = a_0(t)\cos q_0(t)$. При этом, как правило, скорость изменения модулирующих функций $m(t), g(t)$ много меньше соответствующей скорости изменения функций $a_0(t), q_0(t)$, поэтому можно записать

$$\hat{s}(t) = m(t)a_0(t)\sin[q(t) - q_0(t) + q_0(t)] = m(t)[\cos g(t)\hat{s}_0(t) + \sin g(t)s_0(t)],$$

в силу свойств преобразования Гильберта: $s(t) = a(t)\cos q(t)$, $\hat{s}(t) = a(t)\sin q(t)$, $\hat{\hat{s}}(t) = -s(t) = -a(t)\cos q(t)$, $\hat{\hat{\hat{s}}}(t) = -\hat{s}(t) = a(t)\sin q(t)$.

По аналогии, вектор отсчетов $S = [s_i] = [s(t_i)]$, $i = 1, \dots, l$ сигнала $s(t) = a(t)\cos q(t)$ также можно представить как результат преобразования вектора отсчетов S_0 опорного сигнала $s_0(t) = a_0(t)\cos q_0(t)$ в виде

$$S = M(\cos GS - \sin G\hat{S}_0) = M(\cos G - \sin GH)S_0, \quad (2)$$

где $M = [m_{ij}]$ — диагональная матрица размерности $l \times l$, элементы которой суть «относительные отсчеты» огибающей; $G = [g_{ij}]$ — диагональная матрица размерности $l \times l$ «отсчетов» разностей полных фаз сигналов сигнала $s(t) = a(t)\cos q(t)$ и сигнала $s_0(t) = a_0(t)\cos q_0(t)$; $\cos G, \sin G$ — матричные ко-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Амиантов И. Н.* Избранные вопросы статистической теории связи.— М. : Сов. радио, 1971.— 416 с.
2. *Гусев В. Г.* О методике представления дискретного сигнала в комплексном виде на основе его гильбертова преобразования // Радиотехника и электроника.— 1983.— Т. 28.— №1.— С. 88—94.
3. *Бендат Дж., Пирсол А.* Прикладной анализ случайных данных / Пер. с англ.— М. : Мир, 1989.— 540 с.
4. *Сороко Л. М.* Гильберт-оптика.— М. : Наука, 1981.— 316 с.

Национальная академия службы безопасности, г. Киев. Поступила в редакцию 21.11.02.