ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Сборник трудов

Институт математики СО АН СССР

1967 г. Выпуск 28

О МОДЕЛИРОВАНИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ДЛЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

В.Д.Гусев, Г.Я.Воломин

В настоящее время широкое применение при исследовании речи получили спектрально-полосные методы анализа речевых сигналов. В простейшем виде один из каналов анализирующей части полосного вокодера может быть представлен в виде последовательной цепочки: фильтр - квадратичный детектор - интегратор.

На выходе фильтра исходный речевой сигнал представляется в виде:

$$x_1(t)=\int_0^t x_0(\tau)g_z(t-\tau)d\tau, \qquad (I)$$

где $g_z(t)$ -импульсная переходная функция z -го фильтра.

Если обозначить длительность отклика фильтра через ΔT, то при $t>\Delta T$ выражение (I) может быть переписано в виде:

$$x_1(t)=\int_{t-\Delta T}^{t} x_0(\tau)g(t-\tau)d\tau. \qquad (I,I)$$

Полученный сигнал $x_1(t)$ далее детектируется квадратичным детектором ($x_2(t)=x_1^2(t)$ - выход детектора) и сглаживается интегратором на интервале времени T:

$$x(t)=\int\limits_{t-T}^{t}x_2(t)dt=\int\limits_{t-T}^{t}x_1^2(t)dt. \qquad (2)$$

Значительный практический интерес представляет моделирование работы вокодера на электронной цифровой вычислительной машине (ЭЦВМ). Однако непосредственный расчет по формулам (I)-(2) требует значительных затрат машинного времени, идущего в основном на вычисление свертки (I). Если импульсная функция $g_z(t)$ задана N_o отсчетами, то для получения N отсчетов функции на выходе фильтра требуется произвести порядка NN_o арифметических операций типа умножения и столько же операций сложения.

В связи с вышеизложенным представляет интерес спектральный подход к моделированию вокодера, позволяющий значительно сократить время счета. Нетрудно показать, что расчет коэффициентов Фурье обычным методом при моделировании вокодера не дает выигрыша во времени. Вместе с тем известно, что если для расчета коэффициентов ряда Фурье воспользоваться алгоритмом Кули-Тьюки [I], то можно получить существенную экономию времени счета.

Суть спектрального подхода заключается в следующем. Каждый отсчет $x(t)$ на выходе интегратора представляет результат усреднения сигнала $x_2(t)$ на интервале времени T. Периодически продолжая сигнал $x_2(t)$, определенный на интервале T, в обе стороны до бесконечности и применяя к полученной периодической функции теорему Гурвица-Парсеваля [2] запишем:

$$\int\limits_{T}x_1^2(t)dt=\frac{1}{T}\sum_{-\infty}^{\infty}\left|\int\limits_{T}x_1(t)e^{int}dt\right|^2=\sum_{-\infty}^{\infty}\left|c_n\right|^2, \qquad (3)$$

где c_n - коэффициенты разложения в ряд Фурье функции $x_1(t)$ на выходе фильтра, рассматриваемой на интервале T.

Эти коэффициенты могут быть получены без непосредственного знания сигнала на выходе фильтра. Для этого достаточно получить коэффициенты спектрального разложения исходного сигнала $x_o(t)$ и функции отклика $g_z(t)$ на интервале t и перемножить их. Действительно, по теореме Парсеваля /2/ свертка двух функций, определенных на интервале T и продолженных периодически в обе стороны, представима в виде:

$$\begin{aligned}&\int x_o(\tau)g_z(t-\tau)d\tau=\\ &=\frac{1}{T}\sum_{-\infty}^{\infty}e^{-int}\int\limits_{T}x_o(\tau)e^{in\tau}d\tau\int\limits_{T}g(\tau)e^{in\tau}d\tau=\\ &=\frac{1}{T}\sum_{-\infty}^{\infty}e^{int}c_{x_on}c_{gn},\end{aligned} \qquad (4)$$

где c_{x_on} и c_{gn} - коэффициенты разложения в ряд Фурье функций $x_o(t)$ и $g_z(t)$, рассматриваемых на интервале T.

Физический смысл равенства (4) заключается в том, что спектр периодического процесса, представимого на периоде в виде свертки двух функций, равен произведению спектров этих функций.

Однако сигнал $x_1(t)$ на выходе фильтра представим в виде левой части уравнения (4) не на всем интервале T, а лишь на его части ($T-\Delta T$), где ΔT отсчитывается от левого конца интервала. Действительно, очевидно, что для знания $x_1(t)$ на всем интервале T необходимо знание входного сигнала $x_o(t)$ на интервале $\Delta T+T$. Из этого непосредственно вытекает, что спектральному анализу должны подвергаться не просто смежные участки входного сигнала длительностью T, а участки длительностью ($\Delta T+T$), перекрывающиеся между собой на промежутке ΔT, равном длительности отклика фильтра. Интересующая нас тогда в конечном итоге энергия E_T сигнала $x_1(t)$ на выходе фильтра за промежуток времени T может быть найдена как разность энергий этого сигнала в промежутках $(\Delta T+T)$ и ΔT:

$$E_T=E_{\Delta T+T}-E_{\Delta T}.$$

Вычисление $E_{\Delta T}$ можно производить так же, как и вычисление $E_{\Delta T+T}$ (формула 3). Следует однако заметить, что если выбрать ΔT кратным $T=\ell\Delta T$, где ℓ -целое число), то все данные, необходимые для получения $E_{\Delta T}$ извлекаются по ходу расчета спектра на участке $(\Delta T+T)$ при вычислении гармоник, кратных ℓ, так что надобность в двойном просчете спектра (на участке $(\Delta T+T)$ и ΔT) отпадает.

Таким образом, при вычислении свертки и получении огибающей на выходе полосовых фильтров целесообразно использовать спектральный подход, который при применении алгоритма Кули-Тьюки для расчета спектра дает значительный выигрыш во времени по сравнению с временным подходом. Кроме того, при спектральном подходе удобно моделировать многоканальные анализаторы, поскольку время счета практически не зависит от числа полос.

ЛИТЕРАТУРА

1. I.W.Cooley, I.W.Tukey. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. Mathematics of Computation. 1965, v.19, N90, pp.297-301.
2. Н.Винер. Интеграл Фурье и некоторые его приложения. ФМ, М., 1963.

Поступила в редакцию
18.X.1967г.