XXXIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. Ч.VI: С.58-60, 2005.

УДК 629.783

И.А.Шуйсков (4 курс, каф. РЭСЗИ), Е.А.Попов, к.т.н., доц.

МИНИМИЗАЦИЯ ОШИБКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ ПРИ СКАЛЯРНОМ КВАНТОВАНИИ

Одним из этапов обработки информации в современных телекоммуникационных системах является аналого-цифровое преобразование (АЦП), заключающееся в установлении соответствия между фрагментами непрерывных сообщений и упорядоченной последовательностью кодовых символов. При этом неизбежно возникают ошибки квантования, связанные с заменой реальных отсчетных значений их квантованными аналогами. Снижение шумов квантования путем повышения частоты дискретизации и числа уровней квантования АЦП приводит к экспоненциальному увеличению объемов передаваемой информации. Исходя из этого, целесообразен поиск методов квантования, основанных, прежде всего, на оптимизации интервалов квантования для блоков входных и выходных значений. Простейшими из таких методов являются методы скалярного квантования, когда преобразованию подвергаются одномерные отсчеты.

Целью работы является уменьшение ошибки многоуровневого квантования при использовании оптимальных параметров скалярного квантователя.

Пусть последовательность отсчетов $\{x_k\}$ на входе квантователя с M уровнями подчиняется распределению с плотностью $w(x)$, и необходимо минимизировать среднеквадратическую ошибку

$$\varepsilon^2 = \int\limits_{-\infty}^{\infty} f\left(x-y\right) w(x) dx \tag{1}$$

где $f\,(x–y)$ – весовая функция, определяющая количественную меру ошибки квантования. Минимизация (1) производится путем оптимального выбора для каждого значения x_k соответствующего входного диапазона и совокупности выходных интервалов, т.е.:

$$\varepsilon^2 = \mathbf{E}\left[f\left(x-y\right)\right] = \sum_{i=1}^{M} \int\limits_{x_i}^{x_{i+1}} f\left[x - y_i(x)\right] w(x) dx\,, \tag{2}$$

где символом **E** обозначена операция математического ожидания, $x_1 = -\infty$, $x_{N+1} = \infty$, а y_j – сигнал на выходе квантователя, когда сигнал на его входе находится в интервале $x_i \le x \le x_i$. Для этого необходимо продифференцировать (2) по переменным x_i и y_j ($j = 2,\ldots,N$), что приводит к следующей системе уравнений:

$$\begin{cases} \int\limits_{x_j}^{x_{j+1}} f'\left(x - y_j\right) w(x) dx = 0 \\ f\left(x_j - y_{j-1}\right) = f\left(x_j - y_j\right) \end{cases} \tag{3}$$

При выборе среднеквадратического критерия $f\,(x–y)=(x–y)^2$ из второго уравнения системы (3) следует, что

$$x_j=(y_j+y_{j-1})/2, \quad (4)$$

т.е. граничные точки x_j должны выбираться посередине интервалов $[y_j, y_{j-1}]$. Тогда первое уравнение системы (3) приводит к соотношению

$$y_j = \frac{1}{p_j} \int\limits_{x_j}^{x_{j+1}} xw(x)dx\,, \quad (5)$$

где $p_j = \int_{x_j}^{x_{j+1}} w(x)dx$ – вероятность попадания входного значения в интервал $[x_j, x_{j+1}]$.

Для совместного решения уравнений (4) и (5) применим следующий алгоритм. Положим $x_1=-\infty$ и зададимся каким-то значением y_1. Эти значения подставим в (5), из которого находим x_2. Далее, при найденном x_2 и заданном y_1 из (4) найдем y_2, после чего описанные действия повторяем до x_N и y_N. Все найденные значения подставляются в (2) для вычисление среднеквадратической ошибки. Если полученная величина ε^2 не удовлетворяет заданному условию, то изменим значение y_1 и повторим процедуру заново.

В работе получены оптимальные значения интервалов квантования в предположении, что входные сообщения имеют нормальное распределение [1] и проведено сравнение среднеквадратической ошибки для оптимального и равномерного квантователей. Результаты сравнения представлены в табл. 1, где $R = \log_2 M$, а $\varepsilon^2_{\min}$ – минимально возможное значение среднеквадратической ошибки, получаемое как эпсилон-энтропия источника непрерывных сообщений [2, 3].

Таблица 1.

R	Равномерный квантователь $10\lg \varepsilon^2$	Оптимальный квантователь $10\lg \varepsilon^2$	$10\lg \varepsilon^2_{\min} = 6R$
1	– 4,4	– 4,4	– 6
2	– 9,25	– 9,30	– 12
3	– 14,27	– 14,62	– 18
4	– 19,38	– 20,22	– 24
5	– 24,57	– 26,02	– 30
6	– 29,83	– 31,89	– 35
7	– 35,13	– 37,81	– 42

Как следует из анализа результатов, представленных в табл. 1, при малом числе уровней квантования ($M = 2\ldots16$) различие между равномерным и оптимальным квантователями незначительно. Однако уже при $M = 128$, являющемся практически используемым значением, указанное различие составляет более 2,5 дБ. В то же время, даже для оптимального квантователя достигаемые значения ε^2 еще весьма далеки от своего теоретического минимума, что предопределяет дальнейшее развитие метода в направлении кодирования целых блоков входных значений и оптимизацию соответствующих параметров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Stroh R.W., Paez M.D. A Comparison of Optimum and Logarithmic Quantization for Speech PCM and DPCM Systems. IEEE Trans. on Com., June 1973.
2. Проакис Дж. Цифровая связь – М.: Радио и связь, 2000.

3. Дж. Макхоул, С. Рукос, Г. Гиш. Векторное квантование при кодировании речи. // ТИИЭР, 1985, № 11.