

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОИСКА ВЕКТОРА ВОЗБУЖДЕНИЯ В CELP-КОДЕРАХ РЕЧИ

Дыранов Ю.В., Костров В.В.\*, Антуфьев Р.В.

Муромский завод радиоизмерительных приборов  
602267, г. Муром Владимирской обл., Карачаровское шоссе, 2  
Тел. 8-(09234) 3-34-36, Факс 8-(09234) 2-16-16

\*Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета  
602264, г. Муром Владимирской обл., ул. Орловская, 23, кафедра «Радиотехника»  
Тел. 8-(09234) 3-54-15, Факс 8-(09234) 2-28-85

**Реферат.** Представлены результаты разработки процедуры поиска вектора возбуждения в CELP-кодерах речи, основанной на максимизации масштабированной корреляционной функции взвешенных синтезированного и оригинального речевых сигналов. Показано, что предлагаемая процедура по отношению к стандартному алгоритму поиска позволяет на порядок сократить вычислительные затраты.

Кодирование речи, основанное на линейном предсказании и возбуждении синтезирующего фильтра от кода ( Code Excited Linear Predictive – CELP ), было предложено в 1984 г. М.Шредером и Б.Этолом [1] и нашло применение в системах цифровой связи, построенных на базе стандартов European Telecommunications Standard Institute – ETSI 95 [2] в Европе и Federal Standard 1016 – FS 1016 [3] в США.

В CELP-кодерах (рисунок 1) речевой сигнал  $S_n$  разделяется на кадры длительностью 20...30 мс. В каждом кадре с использованием алгоритма линейного предсказания (LPC) определяются параметры синтезирующего фильтра  $1/A(z)$ , и отыскиваются параметры сигнала возбуждения, минимизирующие взвешенный сигнал ошибки. Сигнал возбуждения представляется набором векторов  $C_s$ ,  $C_a$ , извлекаемых из стохастической и адаптивной кодовых книг, а также набором соответствующих им индексов  $C_s$ ,  $C_a$  и коэффициентов усиления  $g_s$ ,  $g_a$ . При кодировании сигнала возбуждения кадр разбивается на четыре подкадра. В каждом подкадре кодируются и передаются  $C_s$ ,  $C_a$ ,  $g_s$  и  $g_a$ .

Для получения минимальной разности между исходным и синтезированным речевыми сигналами, в CELP-кодере используется критерий минимума взвешенной среднеквадратической разности между истинным и синтезированным сигналами. При этом поиск векторов возбуждения, минимизирующих ошибку, выполняется последовательно: в первую очередь производится поиск вектора  $C_a$  и коэффициента усиления  $g_a$ , а затем отыскивается вектор  $C_s$  и коэффициент усиления  $g_s$ , соответственно в адаптивной и стохастической кодовых книгах.

Целью настоящей работы является построение эффективной процедуры поиска кодового вектора возбуждения в CELP-кодерах речи. В частности, обсуждается процедура минимизации функционала

$$E_k = \langle W(\mathbf{S} - g_k \mathbf{H} \mathbf{C}_k), W(\mathbf{S} - g_k \mathbf{H} \mathbf{C}_k) \rangle, \quad (1)$$

где  $\mathbf{H}$  – матрица, соответствующая импульсной переходной характеристике фильтра  $1/A(z)$ ;  $W$  – матрица, соответствующая импульсной характеристике взвешивающего фильтра;  $\mathbf{S}$  – вектор, соответствующий оригинальному речевому сигналу;  $\mathbf{C}_k$  –  $k$ -тый вектор из адаптивной или стохастической кодовых книг;  $g_k$  – коэффициент усиления, минимизирующий функционал  $E_k$ .

Численное значение  $E_k$  соответствует квадрату длины взвешенной разности векторов  $\mathbf{S}$  и  $g_k \mathbf{H} \mathbf{C}_k$  и вычисляется как результат скалярного умножения вектора  $W(\mathbf{S} - g_k \mathbf{H} \mathbf{C}_k)$  на самого себя.

В [4] показано, что:

$$\min_{C_k} E_k = \langle W \mathbf{S}, W \mathbf{S} \rangle - g_k \langle W \mathbf{H} \mathbf{C}_k, W \mathbf{S} \rangle, \quad (2)$$

где весовой коэффициент  $g_k$  определяется из решения уравнения  $\frac{\partial E_k}{\partial g_k} = 0$ ,

$$g_k = \frac{\langle W \mathbf{H} \mathbf{C}_k, W \mathbf{S} \rangle}{\langle W \mathbf{H} \mathbf{C}_k, W \mathbf{H} \mathbf{C}_k \rangle}. \quad (3)$$

Из (2) следует, что минимум функционала  $E_k$  соответствует максимуму второго члена  $g_k \langle W H C_k, W S \rangle$ , т.е. процедура (2) эквивалентна решению задачи поиска

$$\max_{C_k} g_k \langle W H C_k, W S \rangle.$$

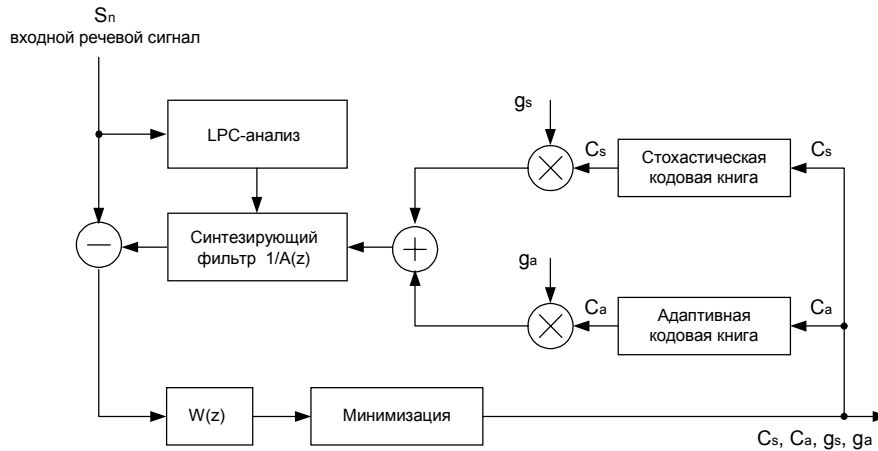


Рисунок 1 - Структурная схема кодирования CELP - кодера

Основная вычислительная нагрузка в процессе поиска индекса  $C_k$  вектора  $C_k$ , при котором достигается  $\min E_k$ , приходится на вычисление  $g_k$ , так как коэффициент усиления вычисляется для всех возможных векторов  $C_k$  в каждом подкадре.

Можно показать, что скалярные произведения векторов  $\langle W H C_k, W S \rangle$  и  $\langle W H C_k, W H C_k \rangle$ , входящие в (2) и (3), соответствуют положительно определенным квадратичным формам

$$\langle C_k, W^T H^T W S \rangle, \quad (4)$$

$$\langle C_k, W^T H^T W H C_k \rangle, \quad (5)$$

а их вычисления сводятся к умножению симметрических матриц  $W^T H^T W$  и  $W^T H^T W H$  на векторы  $S$  и  $C_k$  с последующим скалярным умножением результатов на кодовый вектор  $C_k$ .

Следует отметить, что стохастическая кодовая книга в CELP-кодерах организуется как последовательность, состоящая из чисел  $+1; 0; -1$ . Они получены в результате центрального ограничения реализации шума с гауссовским распределением, нулевым средним значением и единичной дисперсией, путем замены положительных значений на  $+1$ , а отрицательных на  $-1$ . Кроме того, векторы стохастической кодовой книги совмещаются (перекрываются со сдвигом на две выборки). При этом любой текущий кодовый вектор содержит все выборки предыдущего вектора кроме первых двух.

С учетом вышеописанной организации кодовых книг и факта симметричности матриц, входящих в (4) и (5), вычислительные затраты на поиски кодового вектора сигнала возбуждения в результате отыскания индекса  $C_k$ , при котором

$$g_k \langle W H C_k, W S \rangle = g_k \langle C_k, W^T H^T W S \rangle$$

достигает максимального значения, значительно сокращаются.

Практическая реализация алгоритма поиска вектора возбуждения в соответствии со стандартным алгоритмом, приведенная на рисунке 1, и реализация с алгоритмом поиска согласно предложенной процедуре на процессоре TMS320C30 показали возможность почти десятикратного уменьшения вычислительных затрат на кодирование векторов возбуждения как в адаптивной, так и в стохастической кодовых книгах.

### Литература

1. Trancoso I.M., Marques J.S. // Speech Communication, 1990, № 5.
2. Draft GSM 06.20 version 0.0.3. Half-rate speech transcoding. European Telecommunication Standard (ETSI) 1995.
3. Federal Standard 1016. Telecommunications: Analog to Digital Conversion of Radio Voice by 4,800 bit/second Code Excited Linear Predictive (CELP). February 14, 1991.
4. Кортаев Г.А. Эффективный алгоритм кодирования речевого сигнала на скорости 4,8 Кбит/с и ниже. // Зарубежная радиоэлектроника. 1996. №3.



## COMPUTING ASPECTS OF EXCITATION VECTOR SEARCH IN CELP-VOICE CODERS

Dyranov Yu., Kostrov V.<sup>†</sup>, Antufiev R.

Murom Radio Instrumentation Plant  
 2, Karacharovskoye highway, Murom, 602267, Vladimir region, Russia  
<sup>†</sup>Murom Institute of Vladimir State University  
 23, Orlovskaya st., Murom, 602264, Vladimir region, Russia

The speech coding based both on the linear prediction and the excitation of the synthesizing filter from the code (Code Excited Linear Predictive – CELP), took application in the communication systems, using ETSI-95 and FS-1016 standards. The speech signal  $S_n$  is divided into frames with duration from 20 till 30 ms in these systems. The parameters of a synthesizing filter  $1/A(z)$  are calculated with the usage of linear prediction algorithm in each frame, then the parameters of excitation signal are searched with the weighted error signal minimizing. The exciting signal is represented by a set of indexes  $C_s$ ,  $C_a$ , vectors  $\mathbf{C}_s$ ,  $\mathbf{C}_a$ , extracted from the stochastic and adaptive code books, and also set of amplification factors, appropriate to them,  $g_s$ ,  $g_a$ .

In this paper we consider the effective procedure of code excitation vector search in CELP- coders. This procedure includes the minimization of functional, which equals

$$E_k = \langle W(\mathbf{S} - g_k H \mathbf{C}_k), W(\mathbf{S} - g_k H \mathbf{C}_k) \rangle, \quad (*)$$

where  $H$  is matrix appropriate to an impulse response of the filter  $1/A(z)$ ;  $W$  is matrix appropriate to a pulse response of a scaling filter;  $\mathbf{S}$  is a vector appropriate to an original speech signal;  $\mathbf{C}_k$  is  $k$ -th vector from the adaptive or stochastic code books;  $g_k$  is amplification factor, minimizing functional  $E_k$ .

From the equation (\*) it follows, that  $\min_{\mathbf{C}_k} E_k = \langle W\mathbf{S}, W\mathbf{S} \rangle - g_k \langle W H \mathbf{C}_k, W\mathbf{S} \rangle$ , where the weight factor  $g_k = \frac{\langle W H \mathbf{C}_k, W\mathbf{S} \rangle}{\langle W H \mathbf{C}_k, W H \mathbf{C}_k \rangle}$  corresponds to solution of the equation  $\frac{\partial E_k}{\partial g_k} = 0$ . Thus, the minimum of a functional  $E_k$  corresponds to a maximum of the second item, equal  $g_k \langle W H \mathbf{C}_k, W\mathbf{S} \rangle$ . Main computing load in search process of an index  $C_k$ , at which one is reached  $\min E_k$ , put on calculation  $g_k$ , as the amplification factor is evaluated for all feasible vectors  $\mathbf{C}_k$  in each subframe.

It is possible to show, that  $W^T H^T W$  and  $W^T H^T W H$  are symmetrical matrixes. Then it is easy to calculate  $\langle \mathbf{C}_k, W^T H^T W\mathbf{S} \rangle$  and  $\langle \mathbf{C}_k, W^T H^T W H \mathbf{C}_k \rangle$ .

Take in consideration, that the stochastic code book in CELP-coders is organized as a sequence of numbers +1, 0, -1, obtained as a result of central limitation of noise with Gaussian PDF, zero average, single dispersion, by replacement of positive values on + 1, and negative on -1. Besides the vectors of the stochastic code book are mated (are overlapped with shift on two samplings). With all this any current code vector contains all samplings of a previous vector except for first two.

Thanks to above described organization of the code books and fact of symmetry of matrixes computing expenditures on the searches of a code excitation signal vector as a result of search of the index  $C_k$ , at which one  $g_k \langle W H \mathbf{C}_k, W\mathbf{S} \rangle = g_k \langle \mathbf{C}_k, W^T H^T W\mathbf{S} \rangle$  reaches maximum rating are considerably reduced.

The practical implementation of a search algorithm of a vector of excitation vector, according to standard algorithm, and algorithm, according to the offered procedure, on the processor TMS320C30 has shown possibility of almost tenfold decrease of the computing expenditures on coding of excitation vectors both in adaptive and in the stochastic code books.