

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНО АДАПТИВНОГО ЛИПРЕДЕРА

Рыболовлев А.А., Трубицын В.Г., Зобнин В.В.

Академия ФАПСи, Тел.: (0862)-419947; e-mail: rybolovlev@rambler.ru

Объективная возможность значительного повышения эффективности липредерного кодирования речевого сигнала (РС) при переходе от существующих параметрически адаптивных липредеров к кодекам, адаптивно изменяющим свою структуру на основе анализа характеристик кодируемых параметров текущего кадра речи, стимулирует теоретические исследования в области разработки липредеров в классе систем с переменной структурой. Авторами предложена математическая модель структурно адаптивного липредера с постоянной структурой пространства кодируемых параметров. Основные элементы модели, использующей аппарат теории множеств, и связи между ними представлены на рисунке 1.

Отображение параметрического анализа  $\Gamma_{na} : \{\bar{A}\} \rightarrow \{\bar{X}\}$  отображает пространство анализируемых кадров речевого сигнала ( $K$ -мерных векторов речевых отсчетов  $\bar{A} = [s(1), s(2), \dots, s(k), \dots, s(K)]^T; \bar{A} \in \{\bar{A}\}$ , где  $K$  – количество отсчетов речевого сигнала на длительности кадра) в пространство наблюдений кодируемых параметров, образованное декартовым произведением вида  $\{\bar{X}\} = \{\bar{X}_1\} \times \{\bar{X}_2\} \times \{X_3\} \times \{\bar{X}_4\} \times \{X_5\}$ , где  $\{\bar{X}_1\}$ ,  $\{\bar{X}_2\}$ ,  $\{X_3\}$ ,  $\{\bar{X}_4\}$  и  $\{X_5\}$  – подмножества векторов и скаляров, моделирующие структуру признакового пространства, соответствующего липредерам с возбуждением от кода.

Отображения  $\Gamma_{ki} : \{\bar{X}_i\} \rightarrow \{S_i\}$  подпространств  $\{\bar{X}_i\}$  пространства наблюдений кодируемых параметров в подпространства  $\{S_i\}$  пространства представлений кодируемых параметров представляют собой нелинейные функционалы ( $\Gamma_{k1}$ ,  $\Gamma_{k2}$  и  $\Gamma_{k4}$ ) или нелинейные функции ( $\Gamma_{k3}$  и  $\Gamma_{k5}$ ).

Пространство представлений кодируемых параметров  $\{\bar{S}\}$  образовано декартовым произведением  $\{\bar{S}\} = \{S_1\} \times \{S_2\} \times \{S_3\} \times \{S_4\} \times \{S_5\}$ . Подмножества  $\{S_i\}$  являются конечными подмножествами скаляров мощности  $n_i$ , каждое из них принадлежит множеству натуральных чисел:  $S_i = \overline{1, n_i}; \{n_i\} \in \{N\}; \{S_i\} \in \{N\}$ . Очевидно, что суммарная мощность пространства  $\{\bar{S}\}$  однозначно связана со скоростью кодирования текущего кадра речи. Общее число элементов данного множества составляет  $\gamma = |\{\bar{S}\}| = \prod_{i=1}^5 n_i$ .

Отображение  $\Gamma_{dk} : \{\bar{S}\} \rightarrow \{\hat{\bar{A}}\}$  пространства представлений кодируемых параметров  $\{\bar{S}\}$  в пространство оценок анализируемых кадров речевого сигнала  $\{\hat{\bar{A}}\}$  реализует процедуры восстановления квантованных значений кодируемых параметров и параметрического синтеза оценок речевого сигнала. Пространство  $\{\hat{\bar{A}}\}$  изоморфно пространству  $\{\bar{A}\}$ .

Отображение пространства анализируемых кадров речевого сигнала  $\{\bar{A}\}$  в пространство состояний кодера  $\{\overline{CK}_x\}$ , реализуемое оператором статистического анализа  $\Gamma_{ca} : \{\bar{A}\} \rightarrow \{\overline{CK}_x\}$  характеризует процедуру классификации входных кадров речи на конечное число классов статистических характеристик кодируемых параметров и представляет систему управления структурой кодека.

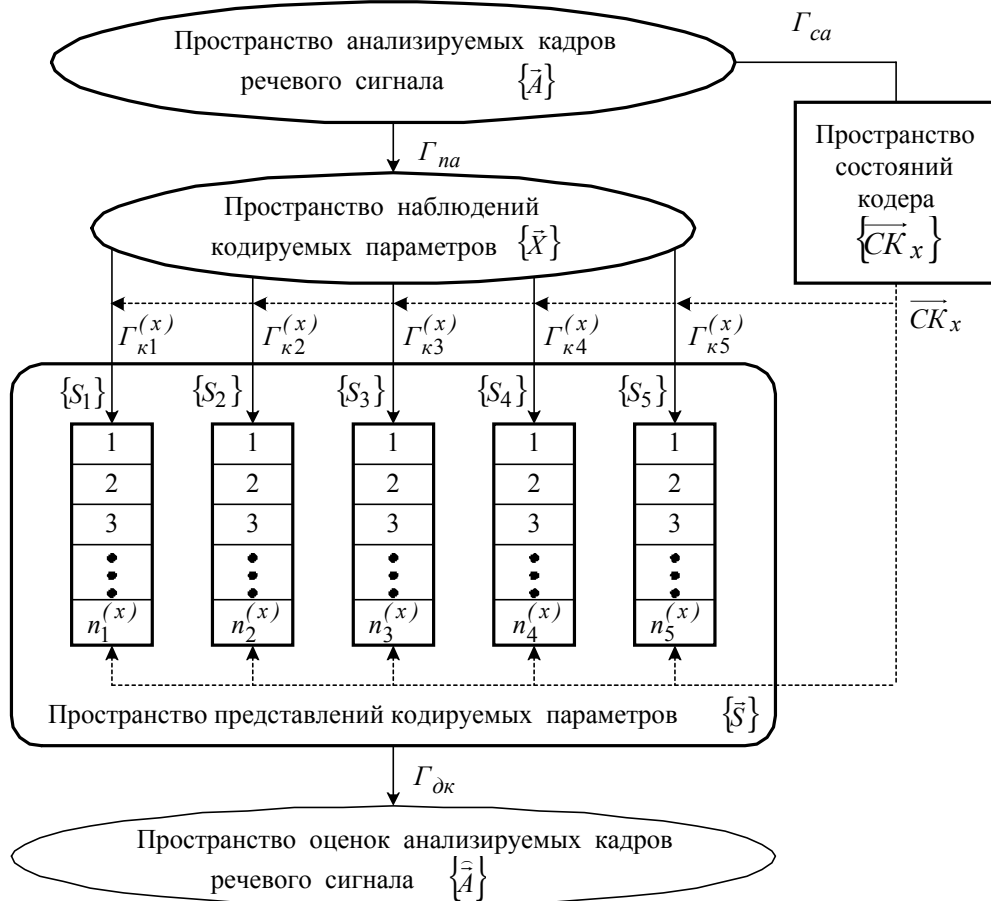


Рис. 1. Математическая модель липкодера с переменной структурой

Анализ текущего кадра речевого сигнала  $\bar{A}_0$  приводит к формированию вектора  $\bar{X}_0$  пространства наблюдений кодируемых параметров, координатами которого являются вектора  $\bar{X}_{10}, \bar{X}_{20}, \bar{X}_{40}$  и скаляры  $X_{30}$  и  $X_{50}$ . Данные значения признаков в результате действия  $\Gamma_{ki}$  отображаются в конкретные значения скаляров  $S_i$ , которые в совокупности определяют конкретный вектор пространства представлений кодируемых параметров  $\bar{S}_k = (l, r, m, p, t)$ . Результатом отображения вектора  $\bar{S}_k$  в пространство оценок анализируемых кадров речевого сигнала является вектор  $\hat{A}_k = \Gamma_{dk}(\bar{S}_k)$ . Использование математического аппарата теории вероятностей позволяет получить зависимость математического ожидания  $\bar{D}(\bar{A}, \hat{A})$  величины искажения кадра речевого сигнала, характеризующего апостериорную неопределенность получателя относительно переданного речевого сообщения, как от статистических характеристик кодируемых параметров речевого сигнала, так и от существенных параметров процедуры адаптации. В случае классификации речевых кадров на  $H$  непересекающихся классов с характеристиками:  $h = 1, 2, 3, \dots, H$  – номер класса;  $P^{(h)}$  – вероятность принадлежности текущего кадра речи к  $h$ -му классу;  $W^{(h)}(\bar{X})$  – плотность распределения вероятности вектора  $\bar{X}$  в  $h$ -том классе;  $D^{(h)}(\bar{A}, \hat{A})$  – средняя величина искажений для кадров речи  $h$ -го класса,  $v = 1, 2, 3, \dots, \alpha^{(h)}$  – номер текущего состояния кодера для  $h$ -го класса, такая зависимость имеет вид:

$$\begin{aligned} \bar{D}(\bar{A}, \hat{A}) &= \sum_{h=1}^H P^{(h)} \cdot D^{(h)}(\bar{A}, \hat{A}) = \\ &= \sum_{h=1}^H P^{(h)} \cdot \frac{1}{\alpha^{(h)}} \cdot \sum_{v=1}^{\alpha^{(h)}} \frac{1}{\gamma} * \sum_{S_1=1}^{n_1} \sum_{S_2=1}^{n_2} \sum_{S_3=1}^{n_3} \sum_{S_4=1}^{n_4} \sum_{S_5=1}^{n_5} \int_{\{\bar{X}_{10}\}} \int_{\{\bar{X}_{20}\}} \int_{\{\bar{X}_{30}\}} \int_{\{\bar{X}_{40}\}} \int_{\{\bar{X}_{50}\}} \\ &D\{\bar{X}_{0}, \Gamma_{\partial\kappa}[\Gamma_{\kappa 1}(\bar{X}_{10}), \Gamma_{\kappa 2}(\bar{X}_{20}), \Gamma_{\kappa 3}(X_{30}), \Gamma_{\kappa 4}(\bar{X}_{40}), \Gamma_{\kappa 5}(X_{50})]\} \\ &\cdot W^{(h)}(\bar{X}_{10}, \bar{X}_{20}, X_{30}, \bar{X}_{40}, X_{50}) d\bar{X}_{10} d\bar{X}_{20} dX_{30} d\bar{X}_{40} dX_{50} . \end{aligned}$$

Полученное выражение указывает возможность распределения ресурсов липредера с переменной структурой для достижения желаемых значений параметров аналого-цифрового преобразования речевого сигнала при синтезе перспективных речевых кодеков.



## MATHEMATICAL MODEL OF SPEECH CODEC WITH ADAPTIVE STRUCTURE

Rybolovlev A., Trubitsin V., Zobnin V.

Department of Radiotechnics and Electronics,  
Academy of Federal Agency for Government Communication and Information for President of Russian Federation, Oryol, Russia, 302034, phone: (0862)-419947; e-mail: rybolovlev@rambler.ru

It is necessary to expect, that achievement of the greater efficiency in reduction of natural redundancy of a speech signal may be connected to transition to algorithms, is adaptive varying not only the parameters, but also structure that will allow to synthesize systems of speech coding with the characteristics close to potential on minimization of discrete representation of processable speech signals. Such approach entails transition codecs in other class of systems - a class of systems with variable structure and demands introduction of automatic (or automated) management system of a condition (structure) codecs in transmitting and reception parts. In these conditions the hypothesis about an opportunity of structural adaptation of speech coding algorithms with a linear prediction and excitation from a code (CELP-algorithms) to statistical characteristics of coded parameters of the speech signal frames, divided on finite number of not crossed classes is lawful, on the basis of dynamic redistribution of the allocated information resources at a constancy of coded parameters space structure. Realization of the given hypothesis will demand transition from known adaptive vector quantizers with adaptation on the past to systems of the classified vector quantization, allowing to lower existing redundancy of the fixed code books.

The developed mathematical model of codec with adaptive structure points a possibility of resources distribution of perspective speech codecs with adaptive structure for improvement of analog-to-digital transformation parameters.