

# СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ФОНЕМ РУССКОГО ЯЗЫКА ПРИ ЕЕ ОБУЧЕНИИ МЕТОДОМ ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ

А.В.Аграновский, Д.А.Леднов, С.А.Репалов, Б.А.Телеснин

ГП КБ «СПЕЦВУЗАВТОМАТИКА», Россия, г.Ростов-на-Дону, e-mail:lednov@rnd.runnet.ru

This paper includes two purposes. First, it's an investigation of accuracy for the phonemes recognition system in continuous speech at its training by a group method of data handling (GMDH) [1]. Secondly, it's an investigation of the latent dependences between the characteristics of phonemes spectral segments, which allow to distinguish one phoneme from another with the help GMDH.

## Введение

Эта публикация ставит перед собой две цели. Во-первых, исследовать точность работы системы, классифицирующей фонемы русского языка в слитной речи при ее обучении методом группового учета аргументов (МГУА) [1]. Во-вторых, с помощью МГУА выяснить скрытые зависимости между характеристиками спектральных сегментов фонем, которые позволяют отличать одну фонему от другой.

## 1. Предварительная обработка речи и стратегия обучения

Перечислим некоторые важные этапы и параметры предварительной обработки речи в описываемой системе:

- речь оцифровывалась с частотой 10кГц;
- в качестве предварительных данных характеризующих фонемы был выбран спектр Фурье (в дальнейшем просто спектр) полученный на интервале длительностью  $T=0.05$ с.;
- полученный спектр сегментировался на 19 перекрывающихся участков равной величины, как показано на рис. 1.

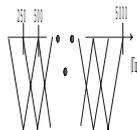


Рис.1

В каждом сегменте находятся значения средней частоты и средней интенсивности

$$P_i = \frac{1}{G_i^{(1)} - G_i^{(0)}} \sum_{j=G_i^{(0)}}^{G_i^{(1)}} S_j, \quad \omega_i = \frac{\sum_{j=G_i^{(0)}}^{G_i^{(1)}} j S_j}{T \sum_{j=G_i^{(0)}}^{G_i^{(1)}} S_j}, \quad (1)$$

где  $G_i^{(1)}, G_i^{(0)}$  - правая и левая границы сегмента, соответственно,  $S_j$  - интенсивность j-ой гармоники спектра.

Множество величин  $\{x_i = (P, \omega)_i\}$  используется в качестве входных параметров МГУА.

В процессе обучения диктор многократно произносит фонемы, такие как: гласные, звонкие согласные и шипящие и вводит соответствующие им транскрипционные символы. Таким образом, к началу работы МГУА формируются множества спектральных параметров характеризующих фонемы.

## 2. Описание Метода Группового Учета Аргументов.

Пусть система обучена на F фонем, для каждой из которых получено  $k_f$  наблюдений спектра, где f индекс фонемы в алфавите.

Первая задача заключается в том, чтобы выяснить какие сегменты спектров, заданные параметрами (1), попарно отличают одну фонему от другой максимальным образом.

Для решения этой задачи, в соответствии с МГУА, предположим, что описание i-го и j-го сегментов спектра f-ой фонемы при n-ом наблюдении на t-ом шаге селекции можно сделать с помощью полинома второй степени

$$\begin{aligned} \varphi(x_{ni}^{(f)}(t), x_{nj}^{(f)}(t)) = & a_{1ij}(t)x_{ni}^{(f)}(t) + a_{2ij}(t)x_{nj}^{(f)}(t) + \\ & a_{3ij}(t)x_{ni}^{(f)}(t)x_{nj}^{(f)}(t) + a_{4ij}(t)(x_{ni}^{(f)}(t))^2 + a_{5ij}(t)(x_{nj}^{(f)}(t))^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Поскольку на первом шаге селекции сегмент характеризуется парой параметров  $\{x_i = (P, \omega)_i\}$ , то для этого шага полином (2) может быть представлен в форме

$$\begin{aligned} \varphi(x_{ni}^{(f)}(1), x_{nj}^{(f)}(1)) = & a_{1ij}(1)(P_{ni}^{(f)} + P_{nj}^{(f)}) + a_{2ij}(1)(\omega_{ni}^{(f)} + \omega_{nj}^{(f)}) + \\ & a_{3ij}(1)(\omega_{ni}^{(f)} + \omega_{nj}^{(f)})(P_{ni}^{(f)} + P_{nj}^{(f)}) + a_{4ij}(1)(P_{ni}^{(f)} + P_{nj}^{(f)})^2 + a_{5ij}(1)(\omega_{ni}^{(f)} + \omega_{nj}^{(f)})^2, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $a_{1ij}(1)$ - $a_{5ij}(1)$ -неизвестные параметры. Здесь, для упрощения записи, опущены индексы фонем над параметрами  $a_{1ij}(1)$ - $a_{5ij}(1)$ . Это не должно привести к недоразумению, т.к. во всех случаях эти параметры зависят от пары индексов фонем.

Для поиска значений параметров полинома (3), относительно каждой пары фонем (всего  $C_F^2$  пар фонем), минимизируем функционал

$$\Delta_{ij}^{(fg)}(1) = \sum_{n=1}^{k_f} \sum_{m=1}^{k_g} (\varphi(x_{ni}^{(f)}(1), x_{nj}^{(f)}(1)) - 1)^2 + (\varphi(x_{mi}^{(g)}(1), x_{mj}^{(g)}(1)) + 1)^2 = \min \quad (4).$$

Использование такого вида функционала можно пояснить следующим образом. Характеристики i-го и j-го сегмента f-ой фонемы можно изобразить как область в 2-мерном пространстве, если характеристики i-го сегмента откладывать вдоль оси

абсцисс, а характеристики j-го сегмента вдоль оси ординат. Эта область отображается на поверхность второго порядка, заданную полиномом (2). С помощью функционала накладывается условие, чтобы отображение области принадлежащей фонеме f было близко к 1, а отображение области принадлежащей фонеме g было близко к -1.

Дифференцируя (4) по неизвестным  $a_{1ij}(1)$ - $a_{5ij}(1)$  получим систему линейных алгебраических уравнений относительно этих параметров. Подстановка найденных значений  $a_{1ij}(1)$ - $a_{5ij}(1)$  в (4) и вычисление максимума функционала  $\Delta_{ij}^{(fg)}(1)$  позволяют судить о величине вклада сегментов i и j в расстояние между фонемами f и g на первом шаге селекции.

В качестве критерия отбора пар сегментов, которые следует учесть на следующем шаге итерации установим следующее условие

$$r_{ij}^{(fg)}(1) > \frac{1}{C_F^2} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N r_{kl}^{(fg)}(1), \quad (5)$$

где введено обозначение

$$r_{ij}^{(fg)}(1) = \sum_{n=1}^{k_f} \sum_{m=1}^{k_g} (\varphi(x_{ni}^{(f)}(1), x_{nj}^{(f)}(1)) - \varphi(x_{mi}^{(g)}(1), x_{mj}^{(g)}(1)))^2$$

Допустим, что на первом шаге селекции  $D_1^{(fg)}$  пар сегментов, для фонем f и g, удовлетворяют условию (5). Для значений полиномов, образованных этими парами сегментов введем обозначения

$$x_1^{(f)}(2) = \varphi(x_{i_1}^{(f)}(1), x_{j_1}^{(f)}(1)), \dots, x_{D_d}^{(f)}(2) = \varphi(x_{i_{D_d}}^{(f)}(1), x_{j_{D_d}}^{(f)}(1))$$

здесь для упрощения записи опущен индекс номера наблюдения.

Новые переменные  $x_1^{(f)}(2), x_2^{(f)}(2), \dots, x_d^{(f)}(2)$  позволяют провести второй шаг селекции. Для этого необходимо подставить их в полином вида (2) вместо переменных  $x_{ni}^{(f)}(1), x_{nj}^{(f)}(1)$ , затем провести операцию (4) для вычисления неизвестных коэффициентов  $a_{1ij}(2)$ - $a_{5ij}(2)$  и найти значения минимума  $\Delta_{ij}^{(fg)}(2)$  на втором шаге селекции. Сегменты, которые удовлетворяют условию вида (5), образуют входные данные для следующего шага селекции. Продолжая описанную методику можно продолжать селекцию далее.

Критерием остановки селекции на (n-1) шаге является условие

$$\frac{1}{D_{n-1}^{(fg)}} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N r_{kl}^{(fg)}(n-1) > \frac{1}{D_n^{(fg)}} \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N r_{kl}^{(fg)}(n), \quad (6)$$

где n – номер шага селекции.

Пусть селекция была прекращена на q-ом шаге, тогда на этом шаге селекции были определены полиномы

$$x_1^{(f)}(q) = \varphi(x_{i_1}^{(f)}(q-1), x_{j_1}^{(f)}(q-1)), \dots, x_d^{(f)}(q) = \varphi(x_{i_d}^{(f)}(q-1), x_{j_d}^{(f)}(q-1)).$$

Причем, нам известны значения этих полиномов для любого наблюдаемого спектра как фонемы  $f$ , так и фонемы  $g$ . Предполагая, что величины  $x_j^{(f)}(q)$  независимы и их плотность распределения является гауссовой, несложно найти дисперсию и математическое ожидание этого распределения, обозначим их  $\sigma_i^{(f)}, \bar{x}_i^{(f)}$ . Таким образом для каждой пары фонем из алфавита найдены распределения вероятностей значений полиномов зависящих от параметров характеризующих спектральные сегменты.

### 3 Классификация фонем

Пусть на интервале длительности  $T$  получен спектр характеризующий произнесенный звук и найдены значения средней интенсивности и средней частоты спектральных сегментов  $\{(P, \omega)_i\}$ .

Найдем, значение матрицы коэффициентов правдоподобия  $\Lambda$

$$\lambda^{(gf)} = \prod_{i=1}^{D_q^{(fg)}} \frac{\sigma_i^{(f)} \exp\left\{-\frac{(\bar{x}_i^{(g)} - L_i(\{P, \omega\}))^2}{2(\sigma_i^{(g)})^2}\right\}}{\sigma_i^{(g)} \exp\left\{-\frac{(\bar{x}_i^{(f)} - L_i(\{P, \omega\}))^2}{2(\sigma_i^{(f)})^2}\right\}}, \quad g = 1, 2, \dots, F; f = 1, 2, \dots, F; \quad (7)$$

где  $L_i(\{P, \omega\})$  - полином степени  $2q$ , полученный путем  $q$  подстановок полиномов предыдущих шагов селекции в полиномы последующих шагов. Заметим, что  $\lambda^{(gf)} = 1 / \lambda^{(fg)}$ .

Очевидно, что если произнесена фонема  $g$ , то сумма элементов строки матрицы  $\Lambda$ , соответствующей произнесенной фонеме должна преобладать над суммами элементов всех прочих строк, т.е. номер фонемы в алфавите вычисляется в виде

$$r = \arg \max_g \left\{ \sum_{f=1}^F \lambda^{(gf)} \right\} \quad (8)$$

### 4. Заключение.

Описанная методика применялась для классификации гласных и звонких согласных фонем в потоке слитной речи. Эксперименты показали, что вероятность правильного опознавания фонем в данных условиях составляет 0.83.

### Литература

1. Ивахненко А.Г. и др. Принятие решений на основе самоорганизации. М., «Сов. радио», 1976.