

УДК 621.391:62-5:410.51-8.74

ОБРАБОТКА РЕЧИ НА ЭВМ МЕТОДОМ АССОЦИАТИВНОГО  
КОДИРОВАНИЯ

В.М.Велжко

Целью работы является получение представления речевого сигнала в виде временной последовательности решений о принадлежности коротких отрезков слова к фонеме или группе фонем.

Указанное фонемное представление является, по-видимому, наиболее удобным для целей автоматического распознавания больших словарей и слитной речи. Это предположение подтверждается известными работами по распознаванию речи [1,2]. В работе [3] обосновываются преимущества обработки фонемной последовательности по сравнению с обработкой последовательности числовых признаков с точки зрения быстродействия, экономичности и наглядности алгоритмов.

В качестве исходного описания речевого сигнала была принята система признаков, аналогичная использованной в предыдущих экспериментах [4]. Акустический сигнал, проквантованный с частотой 20 кГц, пропускался через систему из 5 цифровых октавных фильтров с граничными частотами 300-600-1200-2400-4800-9600 Гц. На каждом сегменте длительностью 16 мсек подсчитывалась энергия сигнала в общей полосе  $E_0$  и на выходах фильтров  $E_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ). Параметрами сегмента служили величины  $x_0 = \ln E_0$ ,  $x_i = \ln E_0 / E_i$ , составляющие 6-мерный вектор  $\vec{X}$ . Слово описывалось как последовательность векторов  $\vec{X}^{(k)}$ .

Задача заключалась в первичном распознавании векторов  $\vec{X}^{(k)}$ , т.е. в определении принадлежности сегментов  $\vec{X}^{(k)}$  к фонемам или группам фонем и в переводе последовательности векторов  $\vec{X}^{(k)}$  в матрицу посегментных фонемных решений. На рис. 1

I234567890I	234567890I	234567890I	234567890I	234567890I	234567890
ззз	ддд	оооооооооо	б	ааааа	
с	сзд	бббб	и	р	лллллоо
		гббб			г
		дггг			у м
		ллл'			о
					у

Рис. 1

приведен пример матрицы фонемного представления слова "сдоба". Верхняя строка - нумерация сегментов слова. Пустые элементы матрицы соответствуют отсутствию решения. Во второй строке сверху (первой строке матрицы) выписаны фонемы, составляющие требуемое слово. Фонемы в остальных строках - результат неоднозначности или ошибочности принятого решения. Эти строки должны быть устранены на последующих этапах распознавания речевого сигнала, которые в данной статье не рассматриваются (см. [3]).

Краткий обзор некоторых существующих методов решения задачи и общая идея метода ассоциативного кодирования, примененного в данной работе, содержится в [5]. Ниже дано подробное описание конкретного алгоритма первичного распознавания фонем.

В основу алгоритма положена гипотеза компактности, т.е. предположение о том, что геометрически близкие точки принадлежат реализациям одного образа.

Разобьем шестимерное пространство параметров на фиксированные параллелепипеды с ребрами, параллельными координатным осям. Длину ребер вдоль осей  $x_1 - x_5$  выберем равной 1, ребра вдоль оси  $x_0$  имеют длину 2. Центры параллелепипедов зафиксируем целочисленными по осям  $x_1 - x_5$  и четными по оси  $x_0$ .

Определим понятие  $\varepsilon$ -окрестности точки шестимерного пространства.  $\varepsilon$ -окрестностью произвольной точки  $\vec{X}^{(k)}(x_0^{(k)}, \dots, x_5^{(k)})$  шестимерного евклидова пространства  $\{x_0, \dots, x_5\}$  назовем область этого пространства, заключенную внутри набора параллелепипедов: а) которые имеют в качестве координаты центра по оси  $x_0$  округленную до ближайшего четного числа координату этой точки  $x_0^{(k)}$  и б) центры которых отстоят от точки  $\vec{X}^{(k)}$  не более чем на  $\varepsilon$  в подпространстве  $\{x_1, \dots, x_5\}$ .

Сформулируем решающее правило для распознавания сегментов  $\bar{X}^{(k)}$ . Контрольный объект  $\bar{X}^{(k)}$  считается принадлежащим тем образам, чьи эталоны попадут в его  $\varepsilon$ -окрестность.

Как обычно, решение задачи распознавания начинается с обработки обучающей последовательности. В качестве обучающей последовательности были взяты шестимерные векторы-сегменты, вручную вычлененные из реализаций речевого сигнала в количестве по несколько десятков сегментов на каждую фонему. Каждому из эталонных сегментов сопоставлялся тот параллелепипед в пространстве  $X$ , в который попал этот сегмент, а именно: центр параллелепипеда, содержащего сегмент  $\bar{X}^{(k)}$ , имел в качестве координат округленные до ближайшего целого числа координаты  $(x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \dots, x_5^{(k)})$  и до ближайшего четного числа координату  $x_0^{(k)}$ .

Ключевым моментом в алгоритме распознавания является установление соответствия между координатами параллелепипеда, в который попал эталон фонемы, и адресом в памяти ЭВМ, по которому хранится информация об этом эталоне. Соответствие устанавливается с помощью метода ассоциативного кодирования [5] следующим образом. По совокупности координат  $\bar{X}$  центра параллелепипеда, в который попал эталон фонемы, вычисляется значение функции расстановки  $f(\bar{X})$ ; областью значений этой функции является часть памяти ЭВМ, выделенная для хранения информации об эталонах. Конкретный вид функции расстановки выбран следующим образом [6]:

Из вектора  $\bar{X}$  составляется величина  $x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ . Все координаты выписываются подряд и образуют одно число, это число возводится в квадрат и выделяются средние знаки результата, которые и будут искомым (относительным) адресом в памяти ЭВМ.

Поясним сказанное числовым примером (для наглядности в десятичной системе). Пусть эталон фонемы "а" имеет следующие параметры:

$x_0 = 14,9; x_1 = 2,1; x_2 = 1,4; x_3 = 7,6; x_4 = 9,1; x_5 = 9,2$ . Центр параллелепипеда будет:

$x_0 = 14; x_1 = 2; x_2 = 1; x_3 = 8; x_4 = 9; x_5 = 9$ .

Составляем число  $X = 1421899$ . Вычисляем  $X^2 = (1421899)^2 = 2021796966201$  и выделяем средние знаки  $f(\bar{X}) = 969$ . Формируем двумерный массив эталонов. Элемент массива с индексом (1,969) имеет значение  $X = 1421899$  - для идентификации параллелепипеда в дальнейшем, а элемент с индексом (2,969) принимает значе-

ние "а" - принадлежность к фонеме "а". Объем памяти под массив эталонов определяется величиной обучающей выборки и соображениями по быстродействию, изложенными в [5].

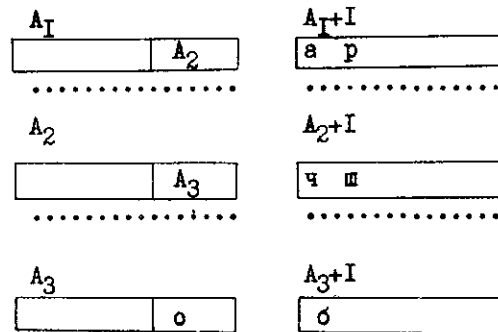


Рис. 2.

лелепипеду; при несовпадении используется списковый метод устранения неоднозначности - часть ячейки с признаком параллелепипеда отводится под адрес свободной ячейки массива эталонов, в которую пересылается информация о новом эталоне. Пример организации списковой структуры массива эталонов ( $X_1 \neq X_2 \neq X_3, f(X_1) = f(X_2) = f(X_3)$ ) приведен на рис.2. Эталоны "а" и "р" попали в один и тот же параллелепипед с числовым признаком  $X = X_1$ . Эталоны "ч" и "ш" попали также в один параллелепипед с числовым признаком  $X = X_2 \neq X_1$ . Значения функции расстановки для  $X_1$  и  $X_2$  совпали, поэтому в ячейке с адресом  $A_1$  имеется ссылка на адрес  $A_2$ , куда помещена информация об эталонах "ч" и "ш". Для эталона "б" с отличающимся признаком  $X = X_3 \neq X_1 \neq X_2$ , но с тем же значением  $f(X)$  дается очередная ссылка на  $A_3$ , где список заканчивается.

Процесс распознавания происходит следующим образом. Для контрольного объекта  $\bar{X}^{(k)}$  определяется его  $\varepsilon$ -окрестность, т.е. вычисляются центры параллелепипедов, образующих  $\varepsilon$ -окрестность точки  $\bar{X}^{(k)}$ . Затем для каждого параллелепипеда вычисляется значение функции расстановки и проверяется содержимое адресов массива эталонов. Совокупность фонем, чьи эталоны попали в  $\varepsilon$ -окрестность контрольного объекта, является результатом распознавания.

В случае, если новый эталон попадает в занятую ячейку массива, производится проверка совпадения параллелепипедов старого и нового эталонов по их числовым признакам. При совпадении добавляется информация о принадлежности нового эталона к прежнему параллелепипеду;

Для более полного описания алгоритма введем обозначения:

$E[x]$  – целая часть числа  $x$ ;

$\bar{X}^{(k)}(x_0^{(k)}, x_1^{(k)}, \dots, x_5^{(k)})$  – контрольный сегмент;

$\bar{X}^{(n)}(x_0^{(n)}, x_1^{(n)}, \dots, x_5^{(n)})$  – центр параллелепипеда, в котором находится контрольный сегмент  $\bar{X}^{(k)}$ ;  $x_i^{(n)} = E[x_i^{(k)} + 0,5]$

$i = 1, \dots, 5$ ,  $x_0^{(n)} = 2E[(x_0^{(k)} + 1)/2]$ ;

$\bar{X}^{(m)}(x_0^{(m)}, x_1^{(m)}, \dots, x_5^{(m)})$  – центр параллелепипеда, у которого  $x_0^{(m)} = x_0^{(n)}$ , а остальные координаты – округленные с недостатком координаты контрольного сегмента  $\bar{X}^{(k)}$ ;  $x_i^{(m)} = E[x_i^{(k)}]$ ,  $i = 1, \dots, 5$ ;

$\bar{X}(x_0, x_1, \dots, x_5)$  – центры параллелепипедов  $\varepsilon$ -окрестности контрольного сегмента  $\bar{X}^{(k)}$ ,  $\sqrt{\sum_{i=1}^5 (x_i - x_i^{(k)})^2} \leq \varepsilon$ .

Условимся употреблять слово "параллелепипед" при рассмотрении полного 6-мерного пространства, и слово "кубик" при переходе в 5-мерное подпространство  $(x_1, \dots, x_5)$ .

В качестве пороговой величины  $\varepsilon$  была выбрана минимальная величина, обеспечивающая существование  $\varepsilon$ -окрестности для любой точки пространства, а именно  $\sqrt{(0,5)^2 \cdot 5} = \sqrt{1,25}$ .

Было принято упрощающее условие: рассматривалась только часть  $\varepsilon$ -окрестности, состоящая из кубиков, чьи центры расположены по одну сторону с контрольным объектом от центра кубика, в котором находится контрольный объект  $\bar{X}^{(k)}$ , т.е. из  $x_i^{(k)} \geq x_i^{(n)}$  ( $x_i^{(k)} < x_i^{(n)}$ ) следует, что  $x_i \geq x_i^{(n)}$  ( $x_i < x_i^{(n)}$ ). Это упрощение несколько уменьшает величину  $\varepsilon$ -окрестности для точек, лежащих в небольшом объеме около центра кубика, но значительно сокращает вычисления.

Из принятого упрощения и значения  $\varepsilon = \sqrt{1,25}$  следует, что каждая из координат центров кубиков  $x_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ), составляющих  $\varepsilon$ -окрестность контрольного сегмента, может принимать одно из двух значений: либо  $x_i^{(m)}$ , либо  $x_i^{(m)} + 1$ . Действительно, если  $x_i^{(m)} = x_i^{(n)}$ , то при  $x_i \geq x_i^{(m)} + 2$  имеем  $x_i - x_i^{(k)} > 1,5 > \varepsilon$ ; при  $x_i \leq x_i^{(m)} - 1$  имеем  $x_i < x_i^{(n)}$ , хотя  $x_i^{(m)} \geq x_i^{(n)}$ ; если  $x_i^{(m)} < x_i^{(n)} = x_i^{(m)} + 1$ , то при  $x_i \geq x_i^{(m)} + 2$  имеем  $x_i > x_i^{(n)}$ , хо-

та  $x_i^{(k)} < x_i^{(n)}$ ; при  $x_i \leq x_i^{(m)} - 1$  имеем  $|x_i - x_i^{(k)}| > 1,5 > \varepsilon$ .

Общее число различных кубиков пятимерного пространства, могущих войти в  $\varepsilon$ -окрестность, составляет  $2^5 = 32$ . Прономеруем их в 5-разрядном двоичном коде, считая  $i$ -й разряд справа равным нулю, если  $x_i = x_i^{(m)}$ , и равным единице, если  $x_i = x_i^{(m)} + 1$ . Так, кубик  $26(26_{10} = 11010_2)$  имеет  $x_1 = x_1^{(m)}$ ,  $x_2 = x_2^{(m)} + 1$ ,  $x_3 = x_3^{(m)}$ ,  $x_4 = x_4^{(m)} + 1$ ,  $x_5 = x_5^{(m)} + 1$ . Для любого сегмента  $\bar{X}^{(k)}$  можно прямым перебором по 32 кубикам вычислить расстояния от  $\bar{X}^{(k)}$  до всех  $\bar{X}$  и установить номера кубиков, принадлежащих к  $\varepsilon$ -окрестности сегмента  $\bar{X}^{(k)}$ . Однако это громоздкий путь, требующий большого объема вычислений. Поэтому при реализации алгоритма был применен табличный метод поиска  $\varepsilon$ -окрестности.

Разобьем пятимерный кубик с центром  $\bar{X}^{(n)}$  на кубики со сторонами в 8 раз меньше, чем у единичного кубика. Можно рассмот-

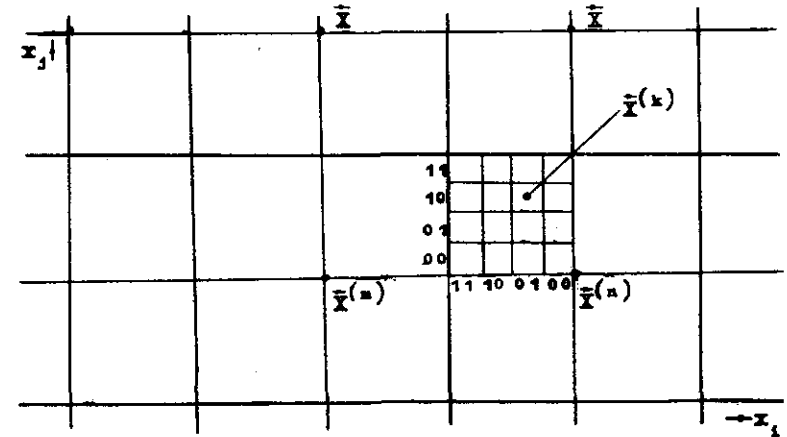


Рис. 3.

реть лишь часть кубика, лежащую по ту же сторону от центра кубика, что и контрольный сегмент  $\bar{X}^{(k)}$  (рис.3). Округлим значения координат  $\bar{X}_i^{(k)}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) до значений центра маленького кубика, в котором находится  $\bar{X}^{(k)}$ . При этом мы допустим абсолютную погрешность не более 0,0625 шенера по каждой координате. Введем нумерацию маленьких кубиков, однозначно характеризующую их положение относительно центра  $\bar{X}^{(n)}$ : сдвиг кубика относительно центра по координате  $\bar{X}_i$  задается двухразрядным двоич-

ным числом в диапазоне от 00 до 11 (рис.3), номер кубика равен десятиразрядному двоичному числу, составленному из значений по координатных сдвигов справа налево в порядке нумерации осей координат. Например, пусть (рис.3)  $j > i$ , тогда сегмент  $\tilde{X}^{(k)}$  находится в маленьком кубике с номером  $\dots \underbrace{10}_{x_j} \dots \underbrace{01}_{x_i} \dots$ . Для цент-

ра каждого из маленьких кубиков (и, следовательно, для любого возможного округленного значения  $\tilde{X}^{(k)}$ ) можно заранее определить номера всех единичных кубиков  $\tilde{X}$ , составляющих  $\varepsilon$ -окрестность  $\tilde{X}^{(k)}$ , и свести эту информацию в таблицу. Размер таблицы соответствует числу маленьких кубиков и равен  $2^{10} = 1024_{10}$  ячейкам. В каждой ячейке разряды, соответствующие номеру кубика, входящего в  $\varepsilon$ -окрестность, кодируются единицей, остальные - нулем (разряды нумеруются справа налево, начиная с нуля). Например, сформируем номер маленького кубика для сегмента  $\tilde{X}^{(k)}$  фонемы "а" с координатами  $x_1 = 2, 1$ ;  $x_2 = 1, 4$ ;  $x_3 = 7, 6$ ;  $x_4 = 9, 1$ ;  $x_5 = 9, 2$ ;  $\Delta x_1 = 0, 1$  - сдвиг 00,  $\Delta x_2 = 0, 4$  - сдвиг 11,  $\Delta x_3 = 0, 4$  - сдвиг 11,  $\Delta x_4 = 0, 1$  - сдвиг 00,  $\Delta x_5 = 0, 2$  - сдвиг 01, номер кубика 010011100<sub>2</sub> = 316<sub>10</sub>. В ячейке 316 (нумерация начинается с нуля) таблицы  $\varepsilon$ -окрестности находим число 5200125<sub>8</sub>, указывающее состав  $\varepsilon$ -окрестности - 7 кубиков  $\tilde{X}$  с номерами 0, 2, 4, 6, 16, 18, 20. Единичные кубики  $\tilde{X}$  пронумерованы в таблице относительно  $\tilde{X}^{(n)}$ , например, номер 18<sub>10</sub> = 10010<sub>2</sub> означает, что координаты  $x_1, x_3$  и  $x_4$  совпадают с координатами  $x_1^{(n)}, x_3^{(n)}$  и  $x_4^{(n)}$ , а координаты  $x_2$  и  $x_5$  отличаются от координат  $x_2^{(n)}$  и  $x_5^{(n)}$  на единицу в большую или меньшую сторону - это зависит от положения  $\tilde{X}^{(k)}$  относительно  $\tilde{X}^{(n)}$ . Переведем нумерацию единичных кубиков относительно  $\tilde{X}^{(n)}$  в нумерацию относительно  $\tilde{X}^{(m)}$ , которую мы рассматривали ранее и которая однозначно определяет возможное изменение на единицу только в большую сторону. Для этого поразрядно сложим по модулю 2 пятиразрядный код номера единичного кубика относительно  $\tilde{X}^{(n)}$  с пятиразрядным кодом номера кубика  $\tilde{X}^{(n)}$  относительно  $\tilde{X}^{(m)}$ . В приведенном примере для сегмента "а"  $\tilde{X}^{(n)}$  отличается от  $\tilde{X}^{(m)}$  по координате  $x_3$ , следовательно, его номер относительно  $\tilde{X}^{(m)}$  равен 00100<sub>2</sub> = 4<sub>10</sub>. Номер 18-го единичного кубика относительно  $\tilde{X}^{(m)}$  равен 10010<sub>2</sub> + 00100<sub>2</sub> (mod 2) = 10110<sub>2</sub> = 22<sub>10</sub> и однозначно определяет его координаты  $x_1 = 2, x_2 = 1 + 1 = 2, x_3 = 7 + 1 = 8, x_4 = 9, x_5 = 9 + 1 = 10$ . Проверив, находим что рас-

стояние от  $\tilde{X}$  до округленного  $\tilde{X}^{(k)}$  равно  $\sim \sqrt{1,18}$  и не превышает  $\varepsilon$ .

Для быстрого нахождения числового признака  $X$ , используемого при вычислении функции расстановки  $f(X)$ , составлена таблица поправок, содержащая поправки к числовому признаку  $\tilde{X}^{(m)}$  в зависимости от номера кубика  $\tilde{X}$  относительно  $\tilde{X}^{(m)}$ . Объем таблицы 32 ячейки - по числу возможных номеров. Эта таблица позволяет находить числовой признак для  $\tilde{X}$  за одну машинную операцию циклического сложения поправки с числовым признаком  $\tilde{X}^{(m)}$ .

В окончательном виде алгоритм распознавания контрольного сегмента  $\tilde{X}^{(k)}$  состоит из следующих этапов:

1. Формирование числового признака параллелепипеда  $\tilde{X}^{(m)}$  путем:

- а) округления  $x_0^{(k)}$  до ближайшего четного числа;
- б) округления с недостатком до целого числа остальных координат  $x_i^{(k)}$ ,  $i = 1, \dots, 5$ ;
- в) составления числового признака - величины  $x_0^{(m)} x_1^{(m)} \dots x_5^{(m)}$ .

2. Вычисление номера маленького кубика, содержащего  $\tilde{X}^{(k)}$ , путем:

- а) определения сдвигов координат  $x_i^{(k)}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) относительно  $x_i^{(n)}$  и округления этих сдвигов до двух двоичных разрядов;
- б) объединения всех сдвигов в десятиразрядный двоичный код - номер кубика;
- в) попутного определения номера единичного кубика  $\tilde{X}^{(n)}$  относительно  $\tilde{X}^{(m)}$  по направлению сдвигов в п.2а в большую или меньшую сторону от  $\tilde{X}^{(n)}$ .

3. Табличное определение  $\varepsilon$ -окрестности  $\tilde{X}^{(k)}$  по номеру маленького кубика, содержащего  $\tilde{X}^{(m)}$ .

4. Просмотр содержимого  $\varepsilon$ -окрестности контрольного сегмента  $\tilde{X}^{(k)}$  путем:

- а) поочередного определения номеров единичных кубиков  $\tilde{X}$   $\varepsilon$ -окрестности относительно  $\tilde{X}^{(n)}$ ;
- б) перевода номеров относительно  $\tilde{X}^{(n)}$  в номера относительно  $\tilde{X}^{(m)}$ ;
- в) табличного определения поправок к числовому признаку  $\tilde{X}^{(m)}$  для получения числовых признаков кубиков  $\tilde{X}$  в  $\varepsilon$ -окрестности;

г) вычисления числовых признаков параллелепипедов  $\bar{X}$  ;  
 д) вычисления значений функции расстановки  $f(X)$  ;  
 е) определения содержимого параллелепипедов  $\bar{X}$  по массиву эталонов (как описано в разделе, посвященном процедуре обучения).

После выполнения п.4е получаем результат распознавания в виде набора (может быть, пустого) решений о принадлежности сегмента  $\bar{X}^{(k)}$  к определенным фонемам.

При выбранном  $\varepsilon$  может быть подсчитано среднее число кубиков в  $\varepsilon$ -окрестности как отношение объема 5-мерного шара  $V_5$  радиусом  $\varepsilon$  к объему единичного кубика, т.е. к 1

$$V_5 = \frac{2^3 \cdot \pi^2}{5 \cdot 3 \cdot 1} (1,25)^{5/2} \approx 9,$$

что хорошо согласуется с результатами эксперимента.

Оценим количество операций, требуемых для распознавания:

- п.1а - 1 сложение,
- п.1б - 5 сложений,
- п.2а - 15 сложений,
- п.4д - в среднем 9 умножений,

всего около 30 арифметических операций. Остальные части алгоритма используют логические операции, которые в БЭСМ-6 выполняются значительно быстрее арифметических. Общая длина блока распознавания сегмента - 104<sub>8</sub> ячейки с командами. Число операций не зависит ни от числа образов, ни от числа эталонов.

Основную часть памяти, требуемой для решения задачи, занимает таблица  $\varepsilon$ -окрестности - 2000<sub>8</sub> ячеек и массив эталонов, число ячеек которого  $\sim$  в 2 раза больше числа эталонов (в нашем эксперименте 10000<sub>8</sub> ячеек).

Приведем количественные результаты экспериментов на ЭВМ БЭСМ-6.

В качестве материала обучения была взята последовательность из 63 слов, специально подобранных таким образом, чтобы при сравнительно небольшом объеме словаря обеспечить возможно более равномерную представительность всех фонем русского языка в различных сочетаниях. Эталоном фонем служили 1619 шестимерных векторов-сегментов, вручную вычлененных из обучающей последовательности. Они попали примерно в 1100 различных параллелепипедов.

Контрольным материалом служила та же последовательность слов, вторично произнесенная тем же диктором. Она содержала 3308 сегментов.

Число образов (фонем) взято равным 37. Были объединены в группы:

- а) каждая ударная гласная со своей безударной;
- б) "п", "т", "к" и глухая смичка;
- в) твердые и мягкие сонорные "м", "м'", "н", "н'".

Для 27% сегментов наблюдался отказ - в  $\varepsilon$ -окрестности этих сегментов не оказалось эталонов. Отказы в основном приходились на начало и конец слова и переходы между фонемами. Неоднозначность распознавания характеризуется общим числом принятых решений 5314, что составляет в среднем 1,6 фонемы на сегмент и 2,2 фонемы на непустой сегмент. Нужная фонема входила в число решений для 79% непустых сегментов. Эта цифра характеризует надежность распознавания. В примере, приведенном на рис.1, соответствующие значения следующие: число отказов 17 (34%), общее число решений 57 (1,14 фонемы на сегмент и 1,72 фонемы на непустой сегмент), нужные фонемы (верхняя строка) входят в число решений 24 раза (73%). Основная доля неоднозначных решений падает на участки звонкой смички, гласные "и", "н", "э", шипящие "ч", "ш", "щ", хотя, как правило, численное преимущество было за нужной фонемой.

Отмечается некоторое увеличение надежности распознавания (с 72,5% до 79%) по сравнению с прежними экспериментами на том же материале [7] за счет увеличения числа отказов с 22% до 27%. Разница между алгоритмами заключается в уменьшении и фиксации ребра параллелепипеда по оси  $x_0$  - в экспериментах 1972 г. ребра параллелепипедов по оси  $x_0$  имели длину 3 (по сравнению с 2 в вышеописанном алгоритме) в плавающей области  $\pm 1,5$  вокруг контрольного сегмента.

Сравнение результатов данного эксперимента с предыдущим (например, с [4]) и пример использования алгоритма для распознавания большого словаря [3] показывают, что полученное качество представления речевого материала вполне удовлетворительное, а время принятия решения (около 7% от длительности сигнала) достаточно мало.

Метод может быть применен не только при обработке речевого сигнала, но и в других задачах распознавания образов, в которых выполняется гипотеза компактности [5]. Положительные результаты иллюстрируют целесообразность использования современных способов представления, размещения и поиска информации (см. например, [8]) в задачах распознавания образов, в частности, речевых.

В заключение автор выражает благодарность Н.Г.Загоруйко, В.С.Лозовскому, В.Д.Гусеву, Ю.Г.Косареву и Т.Н.Титковой за полезные советы, обсуждения и дискуссии.

#### Л и т е р а т у р а

1. ВЫСОЦКИЙ Г.Я., РУДНЫЙ Б.Н., ТРУНИН-ДОНСКОЙ В.Н., ЦЕ - МЕЛЬ Г.И. Алгоритм опознавания 40 слов на ЦВМ БЭСМ-3М. - В сб.: Работы по технической кибернетике. Вып.2.М., ВЦ АН СССР, 1968.
2. VICENS P. Aspects of Speech Recognition by Computer . Stanford Artificial Inte
3. ВЕЛИЧКО В.М., ЗАГОРУЙКО Н.Г. Распознавание больших словарей. - В кн.: Автоматическое распознавание слуховых образов (АРСО-УШ), часть 3. Тезисы докл. УШ Всесоюзного семинара 16 - 23 сен., 1974 г. Львов, 1974, с.9-13.
4. ВЕЛИЧКО В.М., ЗАГОРУЙКО Н.Г. Автоматическое распознавание ограниченного набора устных команд. - В сб.: Вычислительные системы. Вып.36, Новосибирск, 1969, с.101-110.
5. ВЕЛИЧКО В.М., ГУСЕВ В.Д., КОСАРЕВ Ю.Г., ЛОЗОВСКИЙ В.С., ТИТКОВА Т.Н. Ассоциативное кодирование: реализация и применение. - Настоящий сборник, с. 3-37.
6. MAURER W.D. An improved hash code for scatter storage. - "Comm.ACM", 1968,
7. ВЕЛИЧКО В.М. Применение функции расстановки для обработки речи на ЭВМ. - В кн.: Труды УШ Всесоюзной школы-семинара "Автоматическое распознавание слуховых образов" (АРСО-УШ), Алма-Ата, 18-23 сен., 1972 г. Алма-Ата, изд-во "Наука" Каз.ССР, 1973, с.35-38.
8. БЕРЗТИСС А.Г. Структура данных. М., "Статистика", 1974.

Поступила в ред.-изд.отд.  
23 декабря 1974 года