

УДК 004

**ФЕДОРОВ Е.Е. д.т.н., доцент,**  
*Донецкая академия автомобильного транспорта*

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАСНЫХ ЗВУКОВ КОМАНД ВОДИТЕЛЯ ПОСРЕДСТВОМ НЕРАСШИРЯЮЩИХ РАВНОМЕРНО НЕПРЕРЫВНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ MFCC**

*В статье проводится численное исследование гласных звуков команд водителя посредством нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, основанных на мел-частотных кепстральных коэффициентах (MFCC) для формирования вектора вещественных признаков и преобразовании вектора вещественных признаков к вектору целых признаков посредством нормирования, масштабирования и округления*

**Ключевые слова:** *распознавание команд водителя, область звуков, нерасширяющие равномерно непрерывные отображения, мел-частотные кепстральные коэффициенты, обучающие образцы звуков*

### **Постановка проблемы**

В настоящее время широкое распространение получают системы человеко-машинного общения, в частности, для управления транспортными объектами. Важную роль в таких системах играет идентификация речевых команд. Для эффективной идентификации вербальных команд водителя принятие решений должно производиться с высоким быстродействием и высокой вероятностью. Параметры системы идентификации команд водителя определяются по результатам численного исследования.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Существующие методы и модели распознавания речевых образов обычно основаны на скрытых марковских моделях (СММ), алгоритме динамического программирования DTW, и нейросетях и обладают одним или несколькими из перечисленных ниже недостатков [1-6]:

- длительность обучения;
- хранения большого количества эталонов звуков или слов, а также весовых коэффициентов;
- длительность распознавания;
- неудовлетворительная вероятность распознавания.
- необходимость большого количества обучающих данных.

С другой стороны, в литературе обычно не проводятся исследования, связанные с определением множеств векторов значений признаков, относящихся к разным звукам речи. Это связано с тем, что обычно значения признаков являются непрерывными, хотя и ограниченными сверху и снизу. Таким образом, множества векторов признаков разных звуков являются несчетными.

### **Цель статьи**

Для вербального управления транспортными объектами провести численное исследование гласных звуков речевых команд водителя посредством нерасширяющих равномерно непрерывных отображений, основанных на мел-частотных кепстральных коэффициентах (MFCC).

### **Структура нерасширяющих равномерно непрерывных отображений**

В работе [7] были впервые введены нерасширяющие равномерно непрерывные отображения, действующие в компактных метрических пространствах образцов сигналов. В данной ста-

т.е. эти отображения используются с точки зрения преобразования и распознавания образов звуков речи.

Нерасширяющее равномерно непрерывное отображение  $\phi: S^N \rightarrow V^K$  соответствует функции формирования вектора признаков, т.е. отображает вектор целых значений дискретного сигнала  $\mathbf{s} = (s_1, \dots, s_N)$ , в вектор вещественных признаков  $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_K)$ , причем каждая компонента вектора  $\mathbf{v}$  вычисляется как MFCC в виде

$$v_i = \phi_i(\mathbf{s}) = MFCC_{i-1}, i \in \overline{1, K},$$

$$\text{где } MFCC_0 = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P E_i, MFCC_j = \sum_{i=1}^P E_i \cos(j(i-0.5)\pi/P), j \in \overline{1, K-1},$$

$$E_i = \lg \left( \sum_{k=k1_i}^{k2_i} \left( \sum_{m=0}^{N-1} (s_{m+1} - 2^{r_s}) w1(m) e^{-j(2\pi/N)km} \right)^2 w2(k) \right), i \in \overline{1, P} - \text{логарифмированная энергия}$$

$i$ -й мел-частотной полосы Фурье-спектра,

$$w1(m) = 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi m}{N} - \text{окно Хемминга,}$$

$$w2(k) = \begin{cases} 0, & k < k1_i \\ \frac{k - k1_i}{\Delta k_i / 2}, & k1_i \leq k \leq k1_i + \Delta k_i / 2 \\ \frac{k2_i - k}{\Delta k_i / 2}, & k1_i + \Delta k_i / 2 \leq k \leq k2_i \\ 0, & k > k2_i \end{cases} - \text{треугольное окно,}$$

$P$  – количество мел-частотных полос спектра,

$r_s$  – количество разрядов (бит) для одного значения сигнала,

$k1_i, k2_i$  – границы частотных диапазонов  $i$ -й полосы,  $\Delta k_i = k2_i - k1_i$ .

Нерасширяющее равномерно непрерывное отображение  $\psi: V^K \rightarrow X^K$  соответствует функции нормирования, масштабирования и округления вектора вещественных признаков, т.е. отображает вектор вещественных признаков  $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_K)$ , в вектор целых признаков  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_K)$ , причем каждая  $i$ -я компонента вектора  $\mathbf{x}$  вычисляется в виде

$$x_i = \psi_i(\mathbf{v}) = \begin{cases} \left\lceil \frac{v_i - \min_{k \in \overline{1, K}} v_k}{\max_{k \in \overline{1, K}} v_k - \min_{k \in \overline{1, K}} v_k} \cdot \alpha \right\rceil, & \max_{k \in \overline{1, K}} v_k > \min_{k \in \overline{1, K}} v_k, i \in \overline{1, K}, \\ 0. & \max_{k \in \overline{1, K}} v_k = \min_{k \in \overline{1, K}} v_k \end{cases}$$

где  $\alpha \in \{2^{r_x-1}, \dots, 2^{r_x}\}$  – коэффициент масштаба,  $\lceil \cdot \rceil$  означает округление.

$r_x$  – количество разрядов (бит) для одного значения признака.

Нерасширяющее равномерно непрерывное отображение  $\phi: X^K \rightarrow Y^M$  соответствует функции классификации вектора целых признаков, т.е. отображает вектор целых признаков  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_K)$  в номер класса образца звука речи, представленный булевым вектором с одной

ненулевой компонентой  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_M)$ , причем каждая  $i$ -я компонента вектора  $\mathbf{y}$  вычисляется в виде

$$y_i = \varphi_i(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1, & \inf_{\tilde{\mathbf{x}} \in X_i^K} \rho(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = 0 \\ 0, & \inf_{\tilde{\mathbf{x}} \in X_i^K} \rho(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = 1 \end{cases}, i \in \overline{1, M}, \rho(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = \begin{cases} 1, & d(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) \geq 0 \\ 0, & d(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) < 0 \end{cases}, d(\mathbf{x}, \tilde{\mathbf{x}}) = \sum_{k=1}^K |\mathbf{x}_k - \tilde{\mathbf{x}}_k|.$$

где  $X_i^K$  – класс эквивалентности, соответствующий  $i$ -му звуку речи.

### Формирование областей гласных звуков в признаковом пространстве

Области гласных звуков речи в признаковом пространстве  $X^K$  формируются на основе обучающего множества образцов соответствующих звуков. В статье исследуются гласные звуки |и|, |у|, |о|, |а|, |о|, |а|, не содержащие переходных участков, на примере вербального управления прокатным станом. Параметры для нерасширяющих равномерно непрерывных отображений определены в работе [7] следующим образом:  $K = 13, r_s = 8, r_x = 4, \alpha = 10$ .

В табл.1 и на рис.1 приведены обучающие образцы звука |и| слова «включить» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |и| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_u = \{\mathbf{x} \mid x_1 \in \{2,3,4\}, x_2 \in \{2,4,5,6,7,8,9\}, x_3 \in \{6,7,8,9,10\}, x_4 \in \{9,10\}, \\ x_5 \in \{8,9,10\}, x_6 \in \{0,1\}, x_7 \in \{7,8,9,10\}, x_8 \in \{0,1,2,3\}, x_9 \in \{6,7,8\}, \\ x_{10} \in \{0,1,2,3,4,5\}, x_{11} \in \{3,4,5,6,7\}, x_{12} \in \{1,2,3,4\}, x_{13} \in \{6,7,8\}\}$$

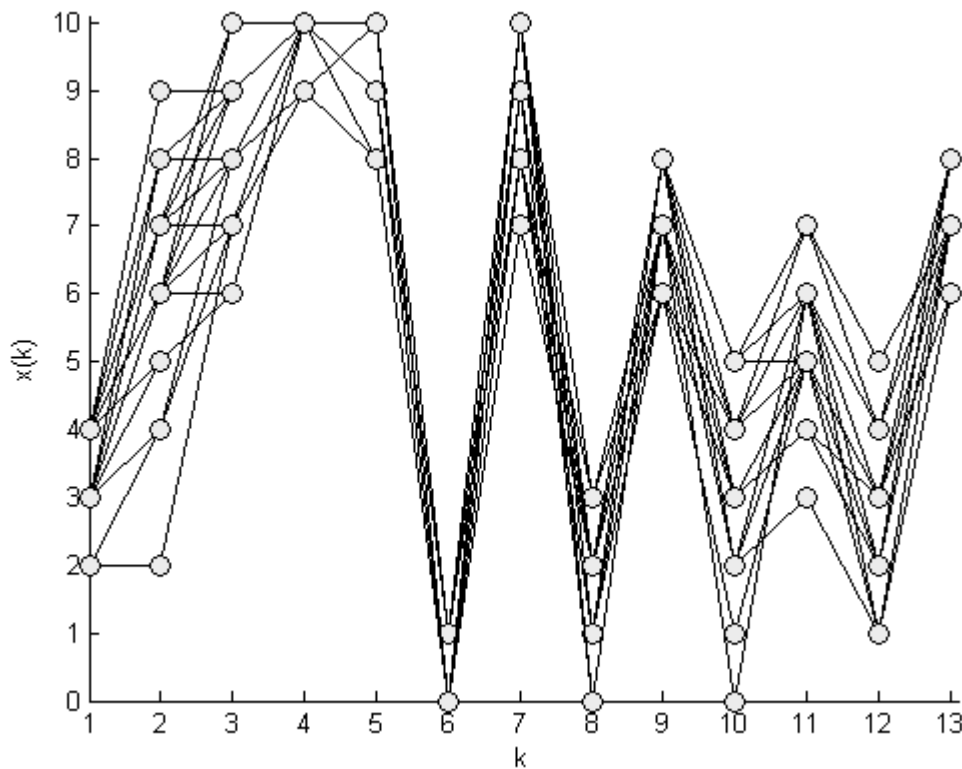


Рис. 1. Обучающие образцы звука |и| слова «включить»

Таблица 1

Обучающие образцы звука |и| слова «включить»

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	2	2	7	10	8	0	7	2	6	1	5	1	6
2	2	4	8	10	10	1	8	3	7	0	6	1	7
3	3	4	7	10	9	0	9	2	8	4	6	3	7
4	3	5	6	10	9	0	9	2	7	2	3	1	6
5	3	6	6	10	10	0	9	2	7	3	4	2	7
6	3	6	7	10	10	0	8	1	7	2	5	3	8
7	3	6	7	10	10	0	8	3	7	3	5	2	7
8	3	6	8	10	8	0	8	2	7	3	4	3	7
9	3	6	8	10	10	0	10	1	7	4	6	3	7
10	3	6	9	10	9	0	10	1	8	3	5	3	7
11	3	6	10	10	10	0	10	2	8	5	6	3	8
12	3	7	7	10	9	0	8	1	7	3	5	3	7
13	3	7	7	9	8	0	10	1	6	3	5	2	7
14	3	7	8	9	10	0	10	3	7	2	5	3	7
15	3	7	8	10	9	0	10	1	7	3	5	3	6
16	3	7	8	10	9	0	10	1	7	4	5	3	7
17	3	7	8	10	9	0	10	1	8	3	5	3	7
18	3	7	9	10	10	0	10	2	7	4	5	3	7
19	3	7	9	10	9	1	9	0	7	4	6	3	7
20	3	7	10	10	9	0	10	1	7	3	5	3	8
21	3	8	8	10	10	0	10	1	8	2	6	2	8
22	3	8	9	10	10	0	10	2	7	4	5	2	8
23	3	8	9	10	9	1	10	0	7	3	5	3	7
24	4	5	6	10	10	0	9	2	8	5	7	5	7
25	4	6	7	10	10	0	10	2	7	4	6	3	7
26	4	7	8	10	10	0	10	2	8	4	6	4	7
27	4	7	8	10	10	0	9	2	8	4	6	4	7
28	4	7	8	9	10	0	10	3	6	4	5	3	8
29	4	7	8	10	9	0	10	2	8	5	5	3	7
30	4	7	9	10	9	0	10	2	7	3	5	3	8
31	4	8	8	10	10	0	10	2	8	3	5	3	7
32	4	9	9	10	10	0	10	2	7	4	7	4	8

В табл.2 и на рис.2 приведены обучающие образцы звука |у| слова «включить» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |у| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_y = \{ \mathbf{x} \mid x_1 \in \{3,4,5\}, x_2 \in \{8,9,10\}, x_3 \in \{5,6,7,9,10\}, x_4 \in \{3,4,5,6,7,8\}, \\ x_5 \in \{7,9,10\}, x_6 \in \{0,1,3\}, x_7 \in \{7,8,9,10\}, x_8 \in \{0,3,4,5\}, x_9 \in \{5,6,7,8,9\}, \\ x_{10} \in \{1,2,3,4,5,6\}, x_{11} \in \{6,7,8\}, x_{12} \in \{3,4,5\}, x_{13} \in \{7,8\} \}$$

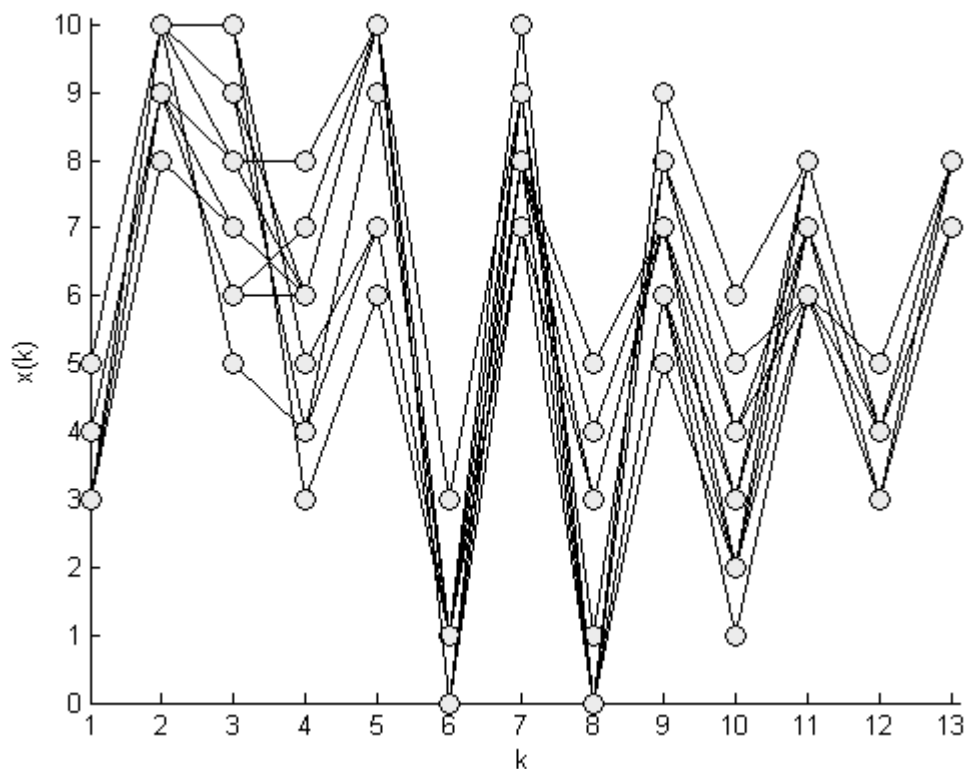


Рис. 2. Обучающие образцы звука |y| слова «включить»

Таблица 2

Обучающие образцы звука |y| слова «включить»

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	3	8	7	6	10	0	8	5	7	2	8	4	7
2	3	9	7	6	10	0	7	3	7	3	7	4	7
3	3	10	5	4	9	1	7	0	6	3	7	3	7
4	3	10	9	4	7	1	9	0	5	2	7	4	7
5	3	10	9	6	10	0	9	1	8	5	6	3	8
6	3	10	10	3	6	1	8	0	6	2	6	4	7
7	3	10	10	5	7	1	10	0	6	1	6	5	8
8	4	9	6	7	10	0	8	4	7	4	7	4	8
9	4	9	6	6	10	1	8	0	8	4	6	3	7
10	4	9	8	6	10	0	8	3	7	3	8	4	8
11	5	10	8	8	10	3	9	0	9	6	8	4	8

В табл.3 и на рис.3 приведены обучающие образцы звука |o| слова «со» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука |o| в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_o = \{ \mathbf{x} \mid x_1 \in \{2,3,4\}, x_2 \in \{10\}, x_3 \in \{6,7,8,9\}, x_4 \in \{1,2,3,4,5\}, \\ x_5 \in \{3,4,5,6\}, x_6 \in \{0,1\}, x_7 \in \{6,7,8\}, x_8 \in \{2,3,4\}, x_9 \in \{4,5,6,7\}, \\ x_{10} \in \{1,2,3,4,5\}, x_{11} \in \{3,4,5,6,7\}, x_{12} \in \{0,1,2,3\}, x_{13} \in \{5,6,7\} \}$$

Таблиця 3

Обучающие образцы звука |о| слова «со»

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	2	10	9	2	6	1	7	2	6	2	4	0	5
2	3	10	6	1	4	0	7	2	5	2	3	1	5
3	3	10	7	3	6	0	7	3	7	4	5	3	7
4	3	10	7	1	3	0	7	2	5	2	5	2	6
5	3	10	7	1	4	0	6	2	6	2	5	2	5
6	3	10	7	2	5	0	7	2	6	3	4	1	5
7	3	10	7	2	4	0	6	3	6	3	6	2	6
8	3	10	8	1	4	0	7	2	6	2	5	2	6
9	3	10	8	1	4	0	8	3	6	2	5	1	5
10	3	10	8	2	5	0	6	3	6	2	5	2	5
11	3	10	8	2	5	0	6	2	6	3	5	2	5
12	3	10	8	3	4	0	7	2	5	3	5	2	6
13	3	10	8	3	4	0	7	3	5	2	5	3	5
14	3	10	8	3	5	0	7	2	6	3	5	2	6
15	3	10	8	4	5	0	7	2	5	2	5	3	6
16	3	10	9	2	4	0	6	2	6	3	5	1	5
17	4	10	6	2	4	0	7	3	6	4	5	2	6
18	4	10	6	1	4	0	6	3	6	3	5	2	6
19	4	10	7	3	4	0	7	4	6	4	6	3	6
20	4	10	7	1	5	0	8	4	8	5	6	3	7
21	4	10	7	2	3	0	7	3	6	3	5	3	6
22	4	10	7	2	4	0	7	2	5	3	5	2	5
23	4	10	7	3	5	0	7	4	6	4	6	3	5
24	4	10	7	3	4	0	7	2	6	3	6	3	5
25	4	10	8	1	4	0	6	3	7	3	5	2	6
26	4	10	8	1	4	0	7	3	6	3	5	2	6
27	4	10	8	1	4	0	7	3	7	4	6	3	6
28	4	10	8	1	5	0	8	3	6	3	6	3	7
29	4	10	8	2	3	0	7	3	6	3	5	3	6
30	4	10	8	2	4	0	6	3	6	3	5	2	5
31	4	10	8	2	4	0	7	3	6	3	5	2	5
32	4	10	8	2	5	0	7	3	7	3	5	1	5
33	4	10	8	2	6	0	6	2	5	1	5	2	6
34	4	10	8	3	4	0	6	4	7	4	6	3	6
35	4	10	8	4	4	0	8	2	4	3	5	3	6
36	4	10	8	4	4	0	7	3	5	2	5	3	6
37	4	10	8	4	5	0	7	3	6	4	6	3	6
38	4	10	9	3	5	0	7	4	7	4	7	3	7
39	4	10	9	3	5	0	6	3	6	3	6	2	6
40	4	10	9	5	4	0	7	4	6	4	6	3	6

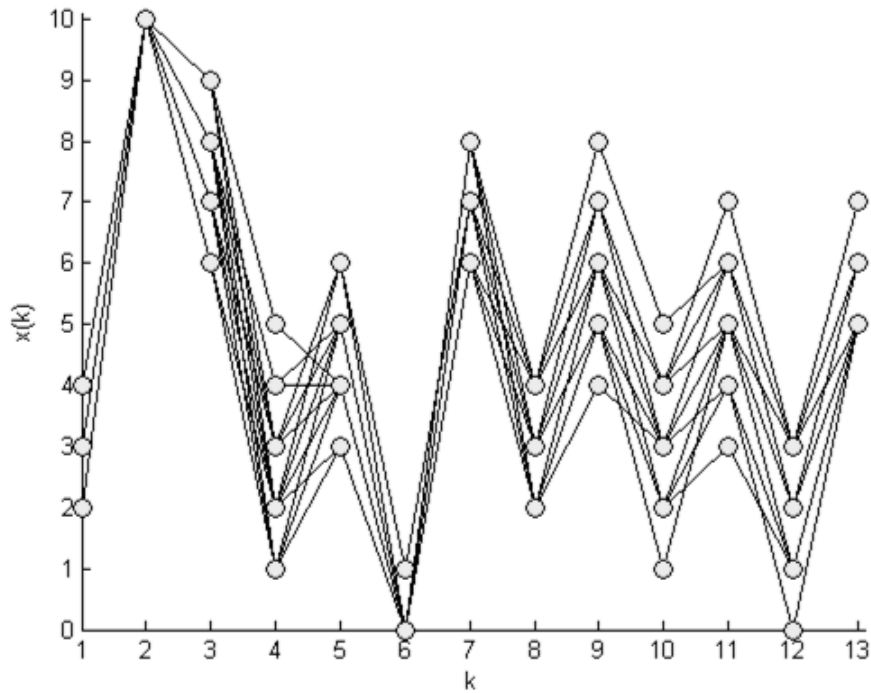


Рис. 3. Обучающие образцы звука |о| слова «со»

В табл.4 и на рис.4 приведены обучающие образцы звука «а» слова «на» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука «а» в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_a = \{ \mathbf{x} \mid x_1 \in \{2,3,4,5,6\}, x_2 \in \{10\}, x_3 \in \{3,4,5,6,7,9\}, x_4 \in \{0,1,2\}, \\ x_5 \in \{4,5,6\}, x_6 \in \{0,1,2,3,4\}, x_7 \in \{6,7,8,9,10\}, x_8 \in \{1,2,3,4,5\}, x_9 \in \{4,5,6,7,8\}, \\ x_{10} \in \{1,2,3,4,5,7\}, x_{11} \in \{6,7,8,9\}, x_{12} \in \{2,3,4,5,6\}, x_{13} \in \{5,6,7,8,9\} \}$$

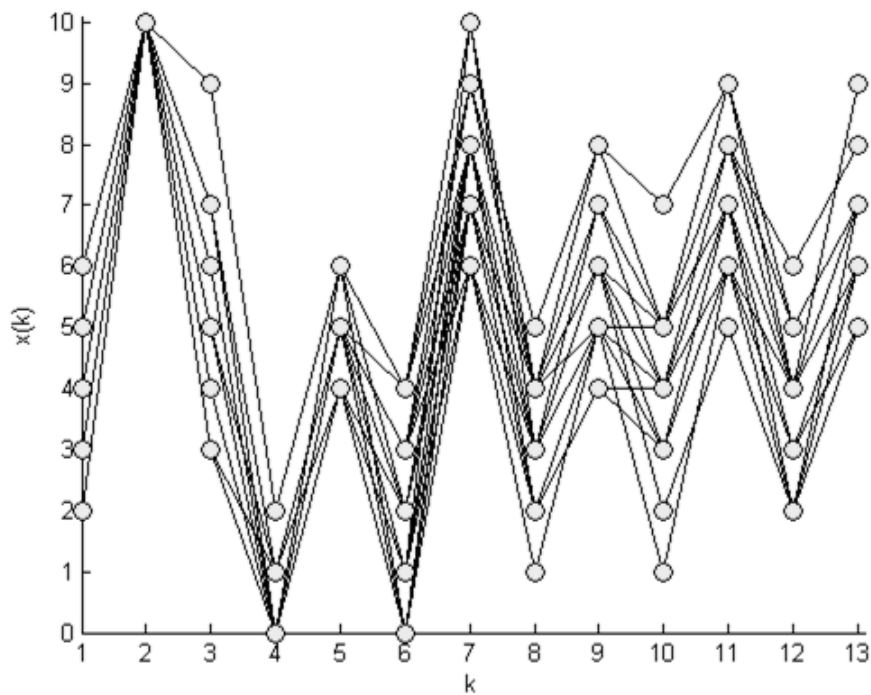


Рис. 4. Обучающие образцы звука |а| слова «на»

Таблиця 4

Обучающие образцы звука |а| слова «на»

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	2	10	9	2	6	0	6	1	5	1	6	2	5
2	3	10	3	1	5	0	8	2	4	3	6	2	5
3	3	10	3	1	5	0	7	2	4	4	6	2	6
4	3	10	4	0	5	1	7	3	5	3	6	2	5
5	3	10	5	0	5	1	6	2	4	3	6	2	5
6	3	10	5	0	5	3	6	2	5	3	6	3	5
7	3	10	5	0	6	2	7	3	5	3	6	3	5
8	3	10	5	1	5	0	6	3	5	3	6	2	5
9	3	10	6	0	5	2	7	3	6	2	5	2	5
10	3	10	6	0	4	1	7	3	5	3	6	3	5
11	3	10	7	1	4	0	7	2	5	3	7	3	6
12	3	10	7	0	4	2	8	3	6	3	6	4	7
13	4	10	3	0	5	1	10	3	5	5	7	2	7
14	4	10	3	1	5	0	8	3	5	4	6	2	5
15	4	10	4	0	4	2	8	3	5	3	6	3	5
16	4	10	4	0	5	1	8	3	5	3	6	2	5
17	4	10	4	0	5	1	7	3	5	3	6	2	6
18	4	10	4	0	5	2	7	3	6	4	6	3	6
19	4	10	5	0	5	1	8	3	5	3	7	2	5
20	4	10	5	0	5	2	7	4	5	3	6	3	5
21	4	10	5	0	5	2	7	3	5	4	7	3	6
22	4	10	5	0	5	2	8	4	5	4	7	3	5
23	4	10	5	0	5	2	8	3	6	4	7	3	6
24	4	10	5	0	5	2	8	3	6	5	7	4	7
25	4	10	5	0	5	3	7	3	6	4	7	3	6
26	4	10	5	0	5	3	7	3	6	3	7	4	6
27	4	10	5	0	5	3	8	4	6	4	7	4	6
28	4	10	5	0	5	3	8	3	6	5	7	4	7
29	4	10	6	0	5	2	7	3	6	4	6	3	6
30	4	10	6	0	5	4	8	3	6	5	7	4	7
31	4	10	6	0	5	2	8	4	7	5	8	4	7
32	4	10	6	0	4	1	8	3	6	4	7	3	6
33	4	10	6	0	4	2	8	3	5	4	7	3	6
34	5	10	4	0	5	2	8	4	6	5	8	4	7
35	5	10	6	0	5	3	8	4	7	4	7	4	6
36	5	10	6	0	5	3	8	3	7	5	7	4	7
37	5	10	6	0	5	3	8	4	7	5	8	5	7
38	5	10	6	0	5	3	9	4	7	4	8	4	6
39	5	10	6	0	6	4	9	4	7	5	9	5	7
40	5	10	7	0	6	4	9	5	8	5	8	6	8
41	6	10	6	0	6	4	10	4	8	7	9	4	9



В табл.5 и на рис.5 приведены обучающие образцы звука [э] слова «печь» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука [э] в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_9 = \{ \mathbf{x} \mid x_1 \in \{4,5,6\}, x_2 \in \{8,9,10\}, x_3 \in \{5,6,7,8\}, x_4 \in \{7,8,9,10\}, \\ x_5 \in \{9,10\}, x_6 \in \{0\}, x_7 \in \{7,8,9\}, x_8 \in \{2,3,4,5\}, x_9 \in \{6,7,8,9\}, \\ x_{10} \in \{3,4,5,6\}, x_{11} \in \{5,6,7,8\}, x_{12} \in \{3,4,5,6\}, x_{13} \in \{7,8,9\} \}$$

Таблица 5

**Обучающие образцы звука [э] слова «печь»**

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	4	10	8	9	10	0	8	3	6	3	6	3	7
2	5	8	6	10	10	0	9	3	7	4	7	5	8
3	5	9	5	8	10	0	7	3	8	4	8	6	7
4	5	9	6	9	10	0	8	4	7	4	7	4	8
5	5	9	6	10	10	0	9	4	8	5	7	5	8
6	5	9	6	10	10	0	9	4	8	5	7	4	8
7	5	9	6	10	10	0	9	4	7	5	7	5	8
8	5	9	7	9	10	0	7	4	8	5	8	5	8
9	5	10	5	7	10	0	7	3	8	4	7	5	7
10	5	10	5	8	9	0	9	3	8	4	6	5	8
11	5	10	5	8	10	0	8	3	8	4	7	5	7
12	5	10	5	9	10	0	9	4	8	5	8	6	8
13	5	10	5	10	10	0	9	4	8	5	7	5	9
14	5	10	6	8	9	0	7	2	7	4	7	4	7
15	5	10	6	8	10	0	8	4	7	4	7	3	7
16	5	10	6	9	10	0	8	5	8	5	7	5	8
17	5	10	6	9	10	0	8	2	6	3	6	3	7
18	5	10	6	10	10	0	9	3	9	5	7	5	8
19	5	10	6	10	10	0	9	4	8	5	7	5	8
20	5	10	7	9	10	0	8	4	8	5	8	5	9
21	5	10	7	9	10	0	8	5	9	5	8	5	9
22	5	10	7	9	10	0	8	4	7	4	7	4	8
23	5	10	7	10	10	0	9	4	9	5	7	5	8
24	5	10	7	10	10	0	9	4	8	5	7	5	8
25	5	10	7	10	10	0	8	4	7	4	7	5	8
26	5	10	7	10	10	0	9	3	7	4	6	4	8
27	5	10	7	10	10	0	8	3	7	3	5	4	8
28	5	10	8	9	10	0	8	3	6	3	6	3	7
29	5	10	8	9	9	0	8	4	7	4	7	5	8
30	5	10	8	10	10	0	8	4	7	4	6	4	8
31	6	9	6	10	10	0	9	4	9	5	7	5	9
32	6	9	7	8	10	0	8	5	8	4	8	4	8
33	6	10	5	9	10	0	8	4	8	6	7	5	8

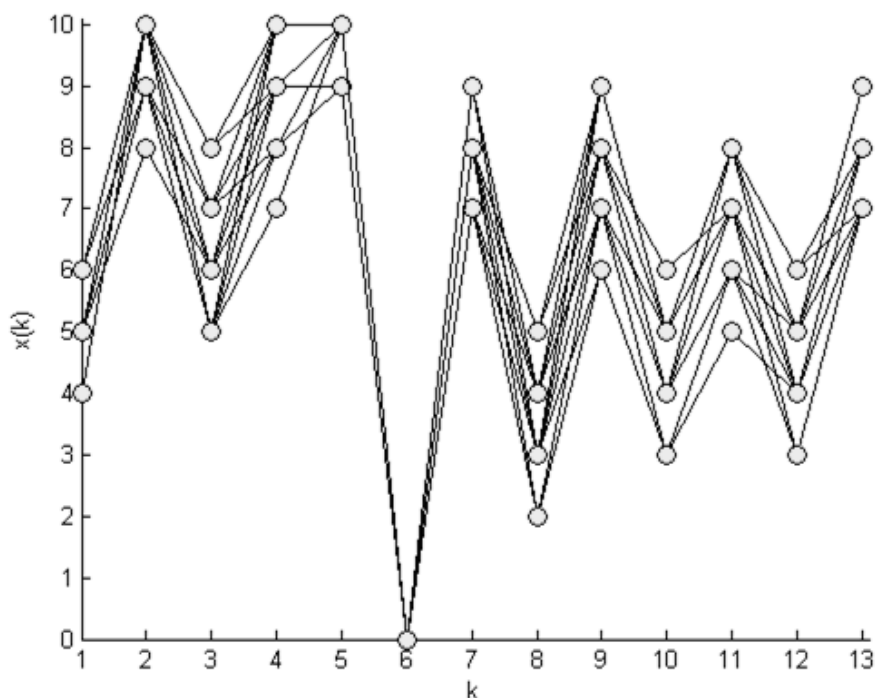


Рис. 5. Обучающие образцы звука [э] слова «печь»

В табл.6 и на рис.6 приведены обучающие образцы звука [ы] слова «уложить» после выполнения нормирования, масштабирования и округления. Каждый образец представляет собой вектор признаков, вычисленный на основе логарифмированной меры контрастности. Область звука [ы] в признаковом пространстве представлена в виде

$$A_{b1} = \{ \mathbf{x} \mid x_1 \in \{2,3,4\}, x_2 \in \{7,8,9,10\}, x_3 \in \{4,5,6,7,8,9\}, x_4 \in \{3,4,5,6,7,8,9,10\}, \\ x_5 \in \{10\}, x_6 \in \{0,1,2,3,5\}, x_7 \in \{5,6,7,8,9\}, x_8 \in \{0,1,2,3,4\}, x_9 \in \{5,6,7,8\}, \\ x_{10} \in \{0,1,2,3,4,5\}, x_{11} \in \{4,5,6,8,9\}, x_{12} \in \{0,1,2,3,4\}, x_{13} \in \{4,5,6,7,8,9\} \}$$

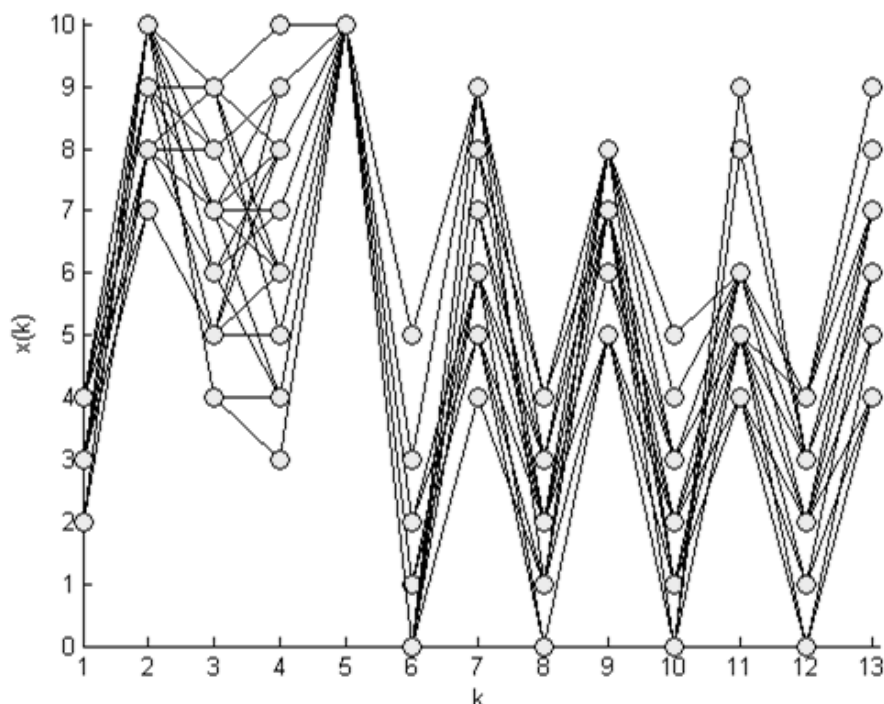


Рис. 6. Обучающие образцы звука [ы] слова «уложить»

**Обучающие образцы звука |ы| слова «уложить»**

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$
1	2	8	6	7	10	0	6	2	7	2	4	2	5
2	2	10	4	4	10	1	5	1	5	0	5	1	4
3	2	10	4	3	10	1	5	0	5	1	5	1	4
4	2	10	7	4	10	2	6	0	5	1	6	2	4
5	3	7	5	8	10	0	7	3	8	3	5	3	7
6	3	8	7	8	10	0	7	2	6	2	5	2	6
7	3	8	7	9	10	0	9	4	7	3	5	2	7
8	3	8	8	9	10	0	8	4	8	3	6	3	7
9	3	9	5	6	10	0	6	2	7	2	4	1	6
10	3	9	5	5	10	0	6	2	7	3	5	3	7
11	3	9	7	7	10	0	7	2	6	3	5	2	6
12	3	9	8	6	10	1	6	2	7	1	4	0	5
13	3	9	9	8	10	0	6	3	8	1	4	2	6
14	3	9	9	6	10	0	6	2	7	2	5	2	6
15	3	10	4	4	10	0	6	2	5	2	6	2	5
16	3	10	6	4	10	2	5	2	5	1	5	0	4
17	3	10	7	6	10	3	9	1	7	0	8	3	6
18	3	10	8	6	10	0	6	3	7	2	5	4	7
19	3	10	9	5	10	0	4	1	8	1	5	2	5
20	4	7	5	9	10	0	9	3	8	5	6	4	9
21	4	8	9	10	10	0	9	4	8	4	6	4	8
22	4	9	7	7	10	5	9	3	7	0	9	3	7
23	4	10	6	8	10	0	8	2	8	3	6	4	7

**Выводы**

*Научная новизна.* В статье для вербального управления транспортными объектами предложен метод преобразования и идентификации речевых команд водителя посредством нерасширяющих равномерно непрерывных отображений на основе MFCC, который включает в себя: отображение вектора целых значений дискретного сигнала в вектор вещественных признаков; отображение вектора вещественных признаков в вектор целых признаков; отображение вектор целых признаков в номер класса образца звука речи. Для предложенного метода в статье проведено численное исследование. В статье проведено численное исследование значений векторов целых признаков гласных звуков и определены области каждого гласного звука в признаковом пространстве.

*Практическое значение.* Система идентификации речевых команд водителя, разработанная на основе предложенного метода, может использоваться в системах человеко-машинного общения для различных отраслей (угольной и металлургической промышленности, авиастроения и судостроения, нефтепроводов и газопроводов, атомных, тепловых и гидроэлектростанций и др.), а также в криминалистике для фоноскопической экспертизы.

**Список литературы**

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
3. Комарцова Л.Г. Нейрокомпьютеры / Л.Г. Комарцова, А.В. Максимов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
4. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 288 с.
5. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов / С. Малла. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
6. Федоров Е.Е. Методология создания мультиагентной системы речевого управления: монография / Е.Е. Федоров. – Донецк: изд-во «Ноулидж», 2011. – 356 с.
7. Федоров Е.Е. Метод обработки сигнала на основе нерасширяющих равномерно непрерывных отображений / Е.Е. Федоров // Труды Междунар. науч.-техн. конф. «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта)» (РТПСАС'2012). – Киев. – 2012. – С. 343-346.

**Федоров Є.Є. Чисельне дослідження голосних звуків команд водія за допомогою нерозширюючих рівномірно безперервних відображень на підставі MFCC**

*Анотація.* У статті проводиться чисельне дослідження голосних звуків команд водія за допомогою нерозширювальних рівномірно безперервних відображень, заснованих на мел-частотних кепстральних коефіцієнтах (MFCC) для формування вектора речовинних ознак і перетворенні вектора речовинних ознак до вектора цілих ознак за допомогою нормування, масштабування й округлення

*Ключові слова:* розпізнавання команд водія, область звуків, нерозширюючі рівномірно безперервні відображення, мел-частотні кепстральні коефіцієнти, навчальні зразки звуків

**Fedorov E.E. Numerical research of vowel sounds of commands of the driver through of not expanding uniformly continuous mapping based on MFCC**

*Abstract.* In the article carried out numerical research of vowel sounds of commands of the driver through not expanding uniformly continuous mapping, based on mel-frequency cepstral coefficients (MFCC) for formation of a vector of real features and transformation of a vector of real features to a vector of integer features by means of rationing, scaling and a rounding

*Keywords:* recognition of driver's commands, domain of sounds, non-expandable uniformly continuous maps, mel-frequency cepstral coefficients, training patterns of sounds

Стаття надійшла до редакції 08.07.2013 р.