

УДК 004.934.1'1

Е.Е. ФЕДОРОВ

*Донецкий государственный институт искусственного интеллекта, Украина***МЕТОДИКА СИНТЕЗА СЛОВ**

Приведен аналитический обзор исследований по проблеме создания естественно-языкового (ЕЯ) интерфейсов для управления гибкими производственными системами (ГПС). Команды ЕЯ-интерфейса содержат описания процессов, протекающих в ГПС, и предметов, участвующих в этих процессах. При формировании описаний процессов и предметов важную роль играет словообразование. В данной статье излагается методика синтеза слов, включающая в себя формальное представление языковых конструкций, присвоение им количественных оценок, закрепление взаимосвязей между элементами синтеза слов, разработку структуры синтеза слов, формирование структуры нейросети, реализующей правила синтеза слов, разработку процедуры обучения.

Ключевые слова: *естественно-языковой интерфейс, ГПС, синтез слов, формальное представление языковых конструкций, морфонологические преобразования, процедура обучения нейросети.*

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время актуальной становится разработка естественно-языкового (ЕЯ) интерфейса для управления гибкой производственной системой (ГПС), имеющей в своем составе робототехнические комплексы (РТК). Команды ЕЯ-интерфейса содержат описания процессов, протекающих в ГПС, и предметов, участвующих в этих процессах [1 – 3]. При формировании описаний процессов и предметов важную роль играет словообразование, изучающее правила формирования слов, входящих в состав этих описаний [4 – 6].

Анализ исследований. Анализ последних достижений и публикаций [7, 8], посвященных этой проблеме, позволяет сделать вывод, что эти модели синтеза и анализа слов не учитывают морфонологические преобразования и не используют количественные оценки языковых структур.

Нерешенным является вопрос, связанный с созданием методики синтеза слов, базирующейся на правилах словообразования русского языка.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является формирование методологических положений синтеза слов.

Решение задачи

В данной статье излагается методика синтеза слов, включающая в себя: 1) формальное представление языковых конструкций; 2) присвоение им количественных оценок; 3) закрепление взаимосвязей между элементами синтеза слов; 4) разработку структуры синтеза слов; 5) формирование структуры нейросети, реализующей правила синтеза слов; 6) разработку процедуры обучения.

1. Формальное представление языковых конструкций

При синтезе слов осуществляется формальное представление следующих языковых конструкций ($s = 1$ – если буква, $s = 2$ – если фонема):

- частей речи $H_i, i \in \overline{1, \eta(H)}$ и их наборов $\overline{H}_n, n \in \overline{1, \eta(\overline{H})}$;
- букв $A_i, i \in \overline{1, \eta(A)}$ и фонем $\Phi_i, i \in \overline{1, \eta(\Phi)}$;
- порождающих слов $\overline{Q}_e^s, e \in \overline{1, \eta(\overline{Q}^s)}$ и их наборов $\overline{QI}_e^s, e \in \overline{1, \eta(\overline{QI}^s)}$;
- основ слов $\overline{L}_q, q \in \overline{1, \eta(\overline{L}^s)}$ и их наборов $\overline{LI}_q^s, q \in \overline{1, \eta(\overline{LI}^s)}$;
- форм основ слов $\overline{L}_q^s, q \in \overline{1, \eta(\overline{L}^s)}, \overline{L}_q^s, q \in \overline{1, \eta(\overline{L}^s)}$ и их наборов $\overline{LI}_q^s, q \in \overline{1, \eta(\overline{LI}^s)}, \overline{LI}_q^s, q \in \overline{1, \eta(\overline{LI}^s)}$ полученных при линейных и нелинейных морфонологических преобразованиях;
- неосновных частей слов $\overline{V}_u^s, u \in \overline{1, \eta(\overline{V}^s)}$ и их наборов $\overline{VI}_u^s, u \in \overline{1, \eta(\overline{VI}^s)}$;
- словообразовательных аффиксов (префиксов $\overline{B}_p^{s1}$, интерфиксов $\overline{B}_p^{s2}$, суффиксов $\overline{B}_p^{s3}$, флексий $\overline{B}_p^{s4}$, постфиксов $\overline{B}_p^{s5}, p \in \overline{1, \eta(\overline{B}^{sk})}, k \in \overline{1, 5}$) и их наборов $\overline{BI}_p^s, p \in \overline{1, \eta(\overline{BI}^s)}$;

– усекаемых/наращиваемых $\overline{D}_w^{s1} / \overline{D}_w^{s2}$, $w \in 1, \eta(\overline{D})$,
 $k \in \overline{1,2}$ и чередующихся $\overline{D}_v^{s1} / \overline{D}_v^{s2}$, $v \in 1, \eta(\overline{D})$,
 $k \in \overline{1,2}$ буквенных и фонемных последовательностей
и их наборов $\overline{Dl}_w^s$, $w \in 1, \eta(\overline{Dl})$, $\overline{Dl}_v^s$, $v \in 1, \eta(\overline{Dl})$,
участвующих в линейных и нелинейных морфонологических преобразованиях основ слов;
– порожденных слов $\overline{C}_r^s$, $r \in 1, \eta(\overline{C})$.

2. Присвоение языковым конструкциям количественных оценок

Языковым конструкциям присваиваются количественные оценки в виде:

а) рангов – $r(H_i)$, $r(A_i)$, $r(\Phi_i)$;

б) информационных мер, сформированных на основе рангов, – $M(\overline{Q}_e^s)$, $M(\overline{L}_q^s)$, $M(\overline{L}_q^s)$, $M(\overline{L}_q^s)$,
 $M(\overline{V}_u^s)$, $M(\overline{B}_p^{sk})$, $M(\overline{D}_w^{sk})$, $M(\overline{D}_v^{sk})$, $M(\overline{C}_r^s)$ в виде

$$M(\overline{\xi}^s) = \|\mu(\overline{\xi}^s)\| = \sum_{t=1}^{|\overline{\xi}^s|} \left(r(\xi_t^s) * 2^{(|\overline{\xi}^s| - t)n} \right); \quad (1)$$

в) информационных мер, сформированных из информационных мер (1):

$M(\overline{Hl}_n)$, $M(\overline{Ql}_e^s)$, $M(\overline{Ll}_q^s)$, $M(\overline{Ll}_q^s)$, $M(\overline{Vl}_u^s)$, $M(\overline{Bl}_p^s)$,

$M(\overline{Dl}_w^s)$, $M(\overline{Dl}_v^s)$ в виде

$$M(\overline{\xi l}^s) = \|\mu(\overline{\xi l}^s)\| = \sum_{t=1}^{|\overline{\xi l}^s|} \left(M(\overline{\xi l}_t^s) * 2^{(|\overline{\xi l}^s| - t)n} \right), \quad (2)$$

где n – количество бит, приходящихся на один элемент синтеза слов; $|\overline{\xi}^s|$, $|\overline{\xi l}^s|$ – длина элемента синтеза слов; t – номер компонента $\overline{\xi}^s$, $\overline{\xi l}^s$.

3. Закрепление взаимосвязей между языковыми конструкциями

Для закрепления взаимосвязей между языковыми конструкциями вводятся:

а) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{Ql}_e^s, \overline{C}_r^s)$:

$$\Gamma(\overline{Ql}_e^s, \overline{C}_r^s) = \|\Gamma(\overline{Ql}_e^s, \overline{C}_r^s)\|, \quad (3)$$

$$M(\overline{Ql}_{e-1}^s) < M(\overline{Ql}_e^s) < M(\overline{Ql}_{e+1}^s),$$

$$M(\overline{C}_{r-1}^s) < M(\overline{C}_r^s) < M(\overline{C}_{r+1}^s),$$

$$\forall \overline{Ql}_e^s \wedge \overline{C}_r^s$$

$$\exists \Gamma(\overline{Ql}_e^s, \overline{C}_r^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{Ql}_e^s \text{ существует } \overline{C}_r^s, s \in \overline{1,2}. \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

б) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Ql}_e^s)$:

$$\Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Ql}_e^s) = \|\Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Ql}_e^s)\|, \quad (4)$$

$$r(\overline{Hl}_{n-1}) < r(\overline{Hl}_n) < r(\overline{Hl}_{n+1}),$$

$$M(\overline{Ql}_{e-1}^s) < M(\overline{Ql}_e^s) < M(\overline{Ql}_{e+1}^s),$$

$$\forall \overline{Hl}_n \wedge \overline{Ql}_e^s$$

$$\exists \Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Ql}_e^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{Hl}_n \text{ существует } \overline{Ql}_e^s, s \in \overline{1,2}. \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

в) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Vl}_u^s)$:

$$\Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Vl}_u^s) = \|\Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Vl}_u^s)\|, \quad (5)$$

$$r(\overline{Hl}_{n-1}) < r(\overline{Hl}_n) < r(\overline{Hl}_{n+1}),$$

$$M(\overline{Vl}_{u-1}^s) < M(\overline{Vl}_u^s) < M(\overline{Vl}_{u+1}^s),$$

$$\forall \overline{Hl}_n \wedge \overline{Vl}_u^s$$

$$\exists \Gamma(\overline{Hl}_n, \overline{Vl}_u^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{Hl}_n \text{ существует } \overline{Vl}_u^s, s \in \overline{1,2}. \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

г) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{Bl}_p^s)$:

$$\Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{Bl}_p^s) = \|\Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{Bl}_p^s)\|, \quad (6)$$

$$r(\overline{Hl}_{i-1}) < r(\overline{Hl}_i) < r(\overline{Hl}_{i+1}),$$

$$M(\overline{Bl}_{p-1}^s) < M(\overline{Bl}_p^s) < M(\overline{Bl}_{p+1}^s),$$

$$\forall \overline{Hl}_i \wedge \overline{Bl}_p^s$$

$$\exists \Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{Bl}_p^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{Hl}_i \text{ существует } \overline{Bl}_p^s, s \in \overline{1,2}. \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

д) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{C}_r^s)$:

$$\Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{C}_r^s) = \|\Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{C}_r^s)\|, \quad (7)$$

$$r(\overline{Hl}_{i-1}) < r(\overline{Hl}_i) < r(\overline{Hl}_{i+1}),$$

$$M(\overline{C}_{r-1}^s) < M(\overline{C}_r^s) < M(\overline{C}_{r+1}^s),$$

$$\forall \overline{Hl}_i \wedge \overline{C}_r^s$$

$$\exists \Gamma(\overline{Hl}_i, \overline{C}_r^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{Hl}_i \text{ существует } \overline{C}_r^s, s \in \overline{1,2}. \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

4. Разработка структуры синтеза слов

На основе формализации, количественного оценивания и закрепления взаимосвязи языковых конструкций разработана структура синтеза слов (рис. 1). Технологическая карта (блок 1) содержит в себе задания на все уровни управления производством и характеризуется определенным набором слов, который уже, чем общий словарь русского языка. Конструирование слов, описывающих технологические агрегаты и операции над ними, происходит следующим образом.

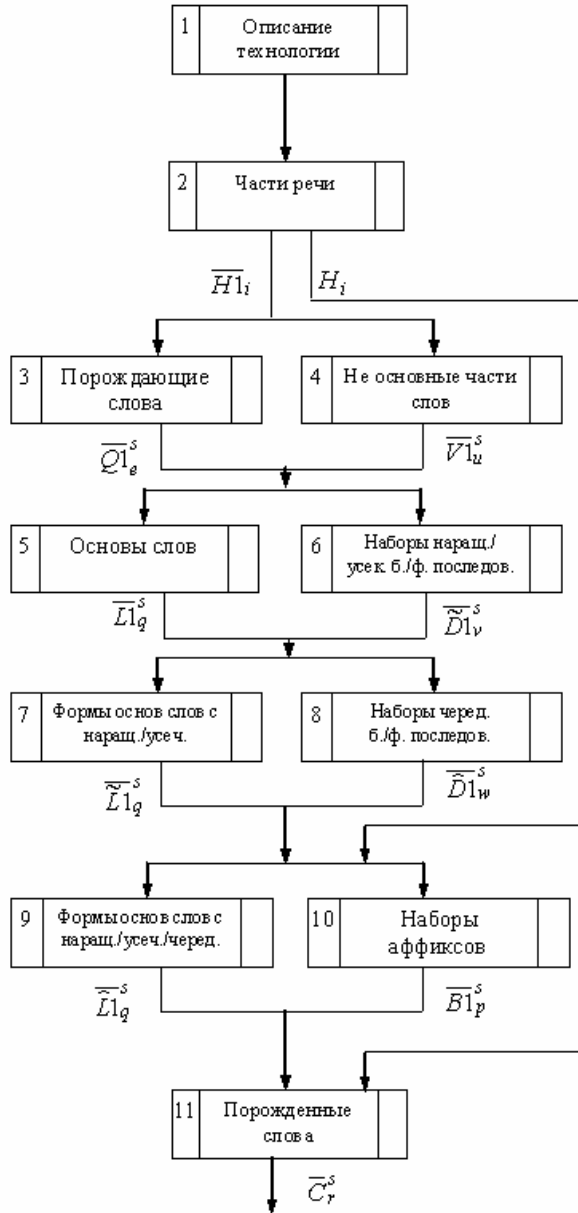


Рис. 1. Структурная детализация синтеза слов

Из порождающих слов (блок 3), согласно паре частей речи порождающих слов (блок 2), выделяется основа (блок 5) путем усеечения неосновной части (блок 4). Эта основа преобразуется к своим формам (блоки 7, 9) посредством наборов наращиваемых/усекаемых (блок 6) и чередующихся (блок 8) буквенно/фонемных последовательностей. К полученной форме основы добавляется набор словообразовательных аффиксов (блок 10) в соответствии с частью речи (блок 2) порождаемого слова (блок 11).

5. Разработка структуры нейросети, реализующей правила синтеза слов

На основе разработанной структуры синтеза слов разработана нейронная сеть синтеза слов (рис. 2) - пятислойная полносвязная с прямыми свя-

зями. В первом осуществляется выделение основ порождающих слов путем отсечения неосновной части. Во втором – преобразование основ с учетом линейных морфонологических преобразований. В третьем – преобразование основ с учетом нелинейных морфонологических преобразований. В четвертом – формирование порожденного слова путем добавления к основе набора словообразовательных аффиксов. В пятом – формирование множества слов, непосредственно порожденных от входного слова (словообразовательная парадигма).

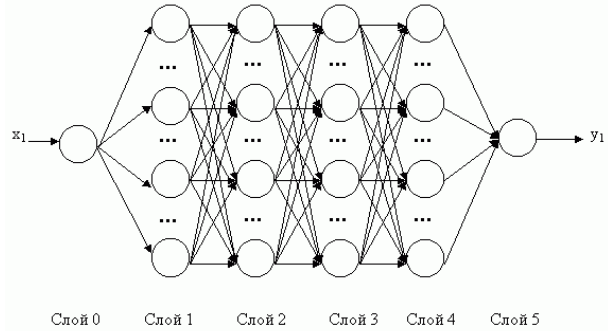


Рис. 2. Нейронная сеть синтеза слов

6. Процедура обучения нейросети

После формирования структуры сети произведено ее обучение, заключающееся в закреплении установившихся ассоциативных связей для данной технологической карты путем настройки весовых коэффициентов. Наиболее вероятная цепочка характеризуется самыми высокими весовыми коэффициентами. Процедура обучения сети состоит из инициализации, прямого и обратного хода.

Инициализация

Производится инициализация весов связей (8) и коэффициентов для слоя 1 (9), слоя 2 (10), слоя 3 (11), слоя 4 (12).

$$w_{ij}^{(t)} = 1, t \in \overline{1,5}; \quad (8)$$

$$M(\beta_j^{(1)}) = M(\overline{L1}_q^s); q = [j/\eta(\overline{V1}^s)] + 1; \quad (9)$$

$$M(\beta_j^{(2)}) = M(\overline{L1}_q^s); q = [j/\eta(\overline{D1}^s)] + 1; \quad (10)$$

$$M(\beta_j^{(3)}) = M(\overline{L1}_q^s); q = [j/\eta(\overline{D1}^s)] + 1; \quad (11)$$

$$M(\beta_j^{(4)}) = M(\overline{C1}_r^s); r = [j/\eta(\overline{B1}^s)] + 1, \quad (12)$$

где $[]$ – целая часть

Прямой ход

Первый слой состоит из $\eta(\overline{L1}^s)$ групп, каждая из которых содержит $\eta(\overline{V1}^s)$ нейронов, соответствующих векторам пар неосновных частей слов. В этом слое вычисляется информационная мера пары основ порождающих слов, используя функцию активации (13). При этом информационная мера $\psi_j^{(1)}$

определена в виде (14). Информационная мера $\zeta_1^{(0)}$ (15) вычисляется в виде конкатенации информационных мер основ (16) – (17).

$$M(x_j^{(1)}) = f(M(\psi_j^{(1)})) = \begin{cases} M(\beta_j^{(1)}), & M(\beta_j^{(1)}) = M(\psi_j^{(1)}); \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (13)$$

где $j \in \overline{1, N^{(1)}}$, $N^{(1)} = \eta(\overline{L1}) \cdot \eta(\overline{V1})$;

$$M(\psi_j^{(1)}) = w_{1j}^{(1)} M(\zeta_1^{(0)}), \quad (14)$$

$$M(\zeta_1^{(0)}) = M(\xi_1^s) \diamond M(\xi_2^s), \quad (15)$$

$$M(\xi_1^s) = M(x_{11}) \circ M(v_{u1}^s), u = j \bmod \eta(\overline{V1}), \quad (16)$$

$$M(\xi_2^s) = M(x_{12}) \diamond M(v_{u2}^s), u = j \bmod \eta(\overline{V1}), \quad (17)$$

где $\circ$ – усечение справа, $\diamond$ – конкатенация, $\bmod$ – деление по модулю.

Второй слой состоит из $\eta(\overline{L1})$ групп, каждая

из которых содержит $\eta(\overline{D1})$ нейронов, соответствующих векторам наращиваемых/усекаемых буквенных/фонемных последовательностей. В этом слое формируется информационная мера пары форм основ порождающих слов (с наращением/усечением букв/фонем), используя функцию активации (18). При этом информационная мера $\psi_j^{(2)}$ определена в виде (19). Информационная мера $\zeta_i^{(1)}$ (20) вычисляется в виде конкатенации информационных мер форм основ (21) – (22).

$$M(x_j^{(2)}) = f(M(\psi_j^{(2)})) = \begin{cases} M(\beta_j^{(2)}), & M(\beta_j^{(2)}) \in M(\psi_j^{(2)}); \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (18)$$

где $j \in \overline{1, N^{(2)}}$, $N^{(2)} = \eta(\overline{L1}) \cdot \eta(\overline{D1})$,

$$M(\psi_j^{(2)}) = \bigcup_{i=1}^{N^{(1)}} w_{ij}^{(2)} M(\zeta_i^{(1)}), \quad (19)$$

$$M(\zeta_i^{(1)}) = M(\xi_1^s) \diamond M(\xi_2^s), \quad (20)$$

$$M(\xi_1^s) = ((M(\tilde{d}_{m1}^s) \diamond M(x_{il}^{(1)})) \circ M(\tilde{d}_{m3}^s)) \diamond M(\tilde{d}_{m2}^s), \quad (21)$$

$$m = j \bmod \eta(\overline{D1}),$$

$$M(\xi_2^s) = ((M(\tilde{d}_{m4}^s) \diamond M(x_{i2}^{(1)})) \circ M(\tilde{d}_{m6}^s)) \diamond M(\tilde{d}_{m5}^s), \quad (22)$$

$$m = j \bmod \eta(\overline{D1}).$$

Третий слой состоит из $\eta(\overline{L1})$ групп, каждая

из которых содержит $\eta(\overline{D1})$ нейронов, соответствующих векторам чередующихся буквенных/фонемных последовательностей. В этом слое

формируется информационная мера пары форм основ порождающих слов (с наращением/усечением/чередованием букв/фонем), используя функцию активации (23). При этом информационная мера $\psi_j^{(3)}$

определена в виде (24). Информационная мера $\zeta_i^{(2)}$ (25) вычисляется в виде конкатенации информационных мер форм основ (26) – (27), формируемых на базе векторов рангов форм основ (28) – (29), которые получены в соответствии с правилами нелинейных морфонологических преобразований (30) – (32).

$$M(x_j^{(3)}) = f(M(\psi_j^{(3)})) = \begin{cases} M(\beta_j^{(3)}), & M(\beta_j^{(3)}) \in M(\psi_j^{(3)}); \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (23)$$

где $j \in \overline{1, N^{(3)}}$, $N^{(3)} = \eta(\overline{L1}) \cdot \eta(\overline{D1})$

$$M(\psi_j^{(3)}) = \bigcup_{i=1}^{N^{(2)}} w_{ij}^{(3)} M(\zeta_i^{(2)}), \quad (24)$$

$$M(\zeta_i^{(2)}) = M(\xi_1^s) \diamond M(\xi_2^s), \quad (25)$$

$$M(\xi_1^s) = \|\mu(\xi_1^s)\| = \sum_{t=1}^{|\xi_1^s|} \left(r(\xi_{1t}^s) * 2^{(|\xi_1^s| - t)n} \right), \quad (26)$$

$$M(\xi_2^s) = \|\mu(\xi_2^s)\| = \sum_{t=1}^{|\xi_2^s|} \left(r(\xi_{2t}^s) * 2^{(|\xi_2^s| - t)n} \right), \quad (27)$$

$$\mu(\xi_1^s) = (r(\xi_{11}^s), \dots, r(\xi_{1t}^s), \dots, r(\xi_{1M}^s)), \quad (28)$$

$$\mu(\xi_2^s) = (r(\xi_{21}^s), \dots, r(\xi_{2t}^s), \dots, r(\xi_{2M}^s)), \quad (29)$$

а) если $M(\tilde{d}_{v1}^s) = 0 \wedge M(\tilde{d}_{v2}^s) \neq 0$ (в форме основы первого слова появляется гласная между согласными), $v = j \bmod \eta(\overline{D1})$, то

$$\begin{aligned} |x_{il}^{(2)}| = \text{len} \wedge (r(x_{ilc}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{il,c+1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\}) \wedge \\ \wedge ((c+1 = \text{len}) \vee (\bigwedge_{k=c+1}^{\text{len}-1} \neg(r(x_{ilk}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{il,k+1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\}))) \rightarrow \\ \rightarrow \left(\bigwedge_{p=1}^j r(\xi_{1p}^s) = r(x_{ilp}^{(2)}) \right) \wedge r(\xi_{1,c+1}^s) = r(\tilde{d}_{v21}^s) \wedge \\ \wedge \left(\bigwedge_{b=c+2}^{\text{len}} r(\xi_{1b}^s) = r(x_{il,b-1}^{(2)}) \right), c \in \overline{1, |x_{il}^{(2)}| - 1}, \end{aligned} \quad (30)$$

где $\{r(T_i^1)\} \subset \{r(A_i)\}$, $\{r(T_i^2)\} \subset \{r(\Phi_i)\}$ – множество рангов согласных

Аналогично для формы основы второго слова

б) если $M(\tilde{d}_{v1}^s) \neq 0 \wedge M(\tilde{d}_{v2}^s) = 0$ (в форме основы первого слова исчезает гласная между согласными), то

$$|x_{il}^{(2)}| = \text{len} \wedge (r(x_{il,c-1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{ilc}^{(2)}) =$$

$$\begin{aligned}
&= r(\tilde{d}_{v11}^s) \wedge r(x_{il,c=1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge \\
&\wedge ((c+1 = \text{len}) \vee \bigwedge_{k=c+1}^{\text{len}-1} \neg(r(x_{il,k-1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{ilk}^{(2)})) = \\
&= r(\tilde{d}_{v11}^s) \wedge r(x_{il,k+1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \vee \dots) \rightarrow \\
&\rightarrow \left(\bigwedge_{p=1}^j r(\xi_{lp}^s) = r(x_{ilp}^{(2)}) \right) \wedge \left(\bigwedge_{b=c+1}^{\text{len}-1} r(\xi_{lb}^s) = r(x_{il,b+1}^{(2)}) \right), \\
&\quad c \in 2, |x_{il}^{(2)}| - 1. \quad (31)
\end{aligned}$$

Аналогічно для форми основи другого слова

в) если $M(\tilde{d}_{v1}^s) \neq 0 \wedge M(\tilde{d}_{v2}^s) \neq 0$ (в форме основы первого слова заменяются буквенные последовательности), то

$$\begin{aligned}
&|\tilde{d}_{v1}^s| = \text{len}1 \wedge |\tilde{d}_{v2}^s| = \text{len}2 \wedge |x_{il}^{(2)}| = \text{len}3 \wedge \\
&\wedge \left(\bigwedge_{m=1}^{\text{len}1} r(x_{il,c+m}^{(2)}) = r(\tilde{d}_{v1m}^s) \right) \wedge \\
&\wedge \left((c + \text{len}1 = \text{len}3) \vee \bigwedge_{k=c+1}^{\text{len}3} \neg \left(\bigwedge_{n=1}^{\text{len}1} r(x_{il,k+n}^{(2)}) = r(\tilde{d}_{v1n}^s) \right) \right) \rightarrow \\
&\rightarrow \left(c = 0 \vee \left(\bigwedge_{p=1}^j r(\xi_{lp}^s) = r(x_{ilp}^{(2)}) \right) \right) \wedge \\
&\wedge \left(\bigwedge_{z=1}^{\text{len}2} r(\xi_{l,(c+1)+z}^s) = r(\tilde{d}_{v2z}^s) \right) \wedge \\
&\wedge \left(\bigwedge_{b=1}^{\text{len}3-(c+\text{len}1)} r(\xi_{l,(c+\text{len}2+1)+b}^s) = r(\tilde{d}_{v1b}^s) \right), \\
&\quad c \in 0, |x_{il}^{(2)}| - 1. \quad (32)
\end{aligned}$$

Аналогічно для формы основы второго слова.

Четвертый слой состоит из $\eta(\overline{C}^s)$ групп, каждая из которых содержит $\eta(\overline{B1}^s)$ нейронов, соответствующих векторам аффиксов. В этом слое формируется информационная мера порожденного слова, используя функцию активации (33). При этом информационная мера $\psi_j^{(4)}$ определена в виде (34). Информационная мера $\zeta_i^{(3)}$ (35) вычисляется в виде конкатенации информационных мер форм основ и аффиксов.

$$\begin{aligned}
M(x_j^{(4)}) &= f(M(\psi_j^{(4)})) = \\
&= \begin{cases} M(\beta_j^{(4)}), & M(\beta_j^{(4)}) \in M(\psi_j^{(4)}); \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (33)
\end{aligned}$$

где $j \in \overline{1, N^{(4)}}$, $N^{(4)} = \eta(\overline{C}^s) \cdot \eta(\overline{B1}^s)$,

$$M(\psi_j^{(4)}) = \bigcup_{i=1}^{N^{(3)}} w_{ij}^{(4)} M(\zeta_i^{(3)}), \quad (34)$$

$$\begin{aligned}
M(\zeta_i^{(3)}) &= M(b_{p1}^s) \diamond M(x_{il}^{(2)}) \diamond M(b_{p2}^s) \diamond M(x_{il2}^{(2)}) \diamond \\
&\diamond M(b_{p3}^s) \diamond M(b_{p4}^s) \diamond M(b_{p5}^s), \quad p = j \bmod \eta(\overline{B1}^s). \quad (35)
\end{aligned}$$

Пятый (выходной) слой содержит один нейрон. В этом слое формируется словообразовательная парадигма y_1 , используя функцию активации (36).

При этом информационная мера $\psi_j^{(5)}$ определена в виде (37):

$$M(y_1) = f(M(\psi_1^{(5)})) = \begin{cases} M(\psi_1^{(5)}), & |M(\psi_1^{(5)})| > 0; \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \quad (36)$$

$$M(\psi_1^{(5)}) = \bigcup_{i=1}^{N^{(4)}} w_{i1}^{(5)} M(x_i^{(4)}). \quad (37)$$

Обратный ход

Весовые коэффициенты пятого слоя вычисляются согласно (38), четвертого – согласно (39), третьего – согласно (40), второго – согласно (41), первого – согласно (42).

$$w_{il}^{(5)} = \begin{cases} 1, & M(x_i^{(4)}) \in M(y_1), \quad i \in \overline{1, N^{(4)}}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (38)$$

$$\begin{aligned}
w_{ij}^{(4)} &= \begin{cases} 1, & M(\zeta_i^{(3)}) = M(x_j^{(4)}), \quad i \in \overline{1, N^{(3)}}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (39) \\
&j \in \overline{1, N^{(4)}},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
w_{ij}^{(3)} &= \begin{cases} 1, & M(\zeta_i^{(2)}) = M(x_j^{(3)}), \quad i \in \overline{1, N^{(2)}}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (40) \\
&j \in \overline{1, N^{(3)}},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
w_{ij}^{(2)} &= \begin{cases} 1, & M(\zeta_i^{(1)}) = M(x_j^{(2)}), \quad i \in \overline{1, N^{(1)}}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (41) \\
&j \in \overline{1, N^{(2)}},
\end{aligned}$$

$$w_{lj}^{(1)} = \begin{cases} 1, & M(\zeta_l^{(0)}) = M(x_j^{(1)}), \quad j \in \overline{1, N^{(1)}}; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (42)$$

После процедуры обучения сеть методологически готова для синтеза слов, характеризующих технологическую карту. Процедура прогноза проводится аналогично прямому ходу процедуры обучения.

В результате процедуры обучения формируются ассоциативные связи «порождающее слово – порожденное слово» вида

$$\overline{Q}_e^s \rightarrow \overline{L}_q^s \rightarrow \overline{L}_v^s \rightarrow \overline{L}_w^s \rightarrow \overline{C}_r^s.$$

В дальнейшем на основе этих связей создается база знаний и осуществляется синтез слов.

Заключение

Новизна. Основным результатом данной статьи является методика синтеза слов, входящих в описание объектов и действий команд производственной системы, которая включает в себя: формальное представление языковых конструкций; присвоение им количественных оценок; закрепление взаи-

мосвязей между языковыми конструкциями; разработку структуры синтеза слов; формирование структуры нейросети, реализующей правила синтеза слов; разработку процедуры обучения. Впервые формализованы правила линейных и нелинейных морфонологических преобразований слов.

Практическое значение. Представляется перспективным дальнейшее изучение и разработка правил анализа и синтеза языковых структур. Основные положения работы могут быть реализованы в интеллектуальной системе в виде алгоритмов, обеспечивающих общение с пользователем на естественном языке.

Литература

1. Афанасьев В.Н. Математическая теория конструирования систем управления / В.Н. Афанасьев, В.Б. Колмановский, В.Р. Носов. – М.: Высшая школа, 2003. – 615 с.
2. Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федоров, Б.Е. Федунцов – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 352 с.

сов, Б.Е. Федунцов – М.: Физико-математическая литература, 2000. – 352 с.

3. Riedel U.T. Finite element modelling of the effect of non-metallic inclusions in metal forming processes / U.T. Riedel, W. Bleck, J.E. Morgan // Comput. Mater. Sci. – 1999. – №16. – P. 32-38.
4. Криводубский О.А. Формальное представление русского языка и речи / О.А. Криводубский, Е.Е. Федоров // Искусственный интеллект. – 2003. – № 4. – С. 402-410.
5. Современный русский язык / В.А. Белошапкова, Е.А. Брызгунова, Е.А. Земская и др.; под ред. В.А. Белошапковой. – М.: Азбуковник, 1997. – 928 с.
6. Русская грамматика: В 2т.; т.1: Фонетика. Словообразование. Морфология. – М.: Наука, 1980. – 784 с.
7. Бондаренко М.Ф. Основы теории синтеза над швидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту: моногр. / М.Ф. Бондаренко, З.Д. Конопляно, Г.Г. Четвериков. – К.: ІЗМН, 1997. – 264 с.
8. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. О проблемах теории интеллекта / Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Проблемы бионики. – Вып.44. – 1990. – С. 3-10.

Поступила в редакцию 12.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. кафедры электронной техники Н.И. Чичикало, Донецкий национальный технический университет, Донецк.

МЕТОДИКА СИНТЕЗУ СЛІВ

Є.Є. Федоров

Наведено аналітичний огляд досліджень по проблемі створення природно-мовних (ПМ) інтерфейсів для керування гнучкими виробничими системами (ГВС). Команди ПМ-інтерфейсу містять опис процесів, що протікають у ГВС, і предметів, що беруть участь у цих процесах. При формуванні описів процесів і предметів важливу роль грає словотвір. У даній статті викладається методика синтезу слів, що включає в себе формальне подання мовних конструкцій, присвоєння їм кількісних оцінок, закріплення взаємозв'язків між елементами синтезу слів, розробку структури синтезу слів, формування структури нейромережі, що реалізує правила синтезу слів, розробку процедури навчання.

Ключові слова: природно-мовний інтерфейс, ГВС, синтез слів, формальне подання мовних конструкцій, морфонологічні перетворення, процедура навчання нейромережі.

METHOD OF SYNTHESIS WORDS

E.E. Fedorov

The state-of-the-art review of researches on a problem of creation natural language (NL) of interfaces for control flexible machine systems (FMS) is adduced. The commands of the NL-interface contain the descriptions of processes which are flowing past in FMS, and subjects participating in these processes. At formation of the descriptions of processes and subjects the important role plays word formation. In the given article the technique of synthesis of words including formal representation of language designs, appropriation by him(it) of quantitative assessments, fastening of correlations between elements of synthesis of words, development of a structure of synthesis of words, formation of a structure neuronet, realizing rules of synthesis of words, development of a procedure of training is stated.

Key words: the natural language interface, FMS, synthesis of words, formal representation of language designs, morphonologic transformations, procedure of training neuronet.

Федоров Евгений Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры, Донецкий государственный институт искусственного интеллекта, Донецк, Украина, e-mail: fee75@mail.ru.