

МЕТОДИКА СИНТЕЗА СЛОВ

© Е.Е. Федоров

Донецкий государственный институт искусственного интеллекта,
КАФЕДРА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ
УЛ.АРТЕМА, 118-В, ДОНЕЦК, УКРАИНА, 340048
E-MAIL: fee@iai.donetsk.ua

For mining a natural language interface of the automatic control system (ACS) in the article the techniques synthesis of words Russian language is offered.

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, 2, 3]. При формировании описаний процессов и предметов важную роль играет словообразование, изучающее правила формирования слов, входящих в состав этих описаний [4, 5, 6].

Анализ исследований. Анализ последних достижений и публикаций, 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 $H_i, i \in \overline{1, \eta(\mathbf{H})}$ и их наборов $\overline{H1_n}, n \in \overline{1, \eta(\overline{\mathbf{H1}})}$;
- букв $A_i, i \in \overline{1, \eta(\mathbf{A})}$ и фонем $\Phi_i, i \in \overline{1, \eta(\overline{\mathbf{\Phi}})}$;
- порождающих слов $\overline{Q_e^s}, e \in \overline{1, \eta(\mathbf{Q}^s)}$ и их наборов $\overline{Q1_{e,s}}, e \in \overline{1, \eta(\overline{\mathbf{Q1}^s})}$;

- основ слов $\bar{L}_q^s, q \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{L}}^s)$ и их наборов $\bar{L}\bar{1}_q^s, q \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{L}}\bar{1}^s)$;
- форм основ слов $\widetilde{\bar{L}}_q^s, q \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{L}}}^s), \widetilde{\bar{L}}_q^s, q \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{L}}}^s)$ и их наборов $\widetilde{\bar{L}}\bar{1}_q^s, q \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{L}}}\bar{1}^s), \widetilde{\bar{L}}\bar{1}_q^s, q \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{L}}}\bar{1}^s)$ полученных при линейных и нелинейных морфонологических преобразованиях;
- неосновных частей слов $\bar{V}_u^s, u \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{V}}^s)$ и их наборов $\bar{V}\bar{1}_u^s, u \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{V}}\bar{1}^s)$;
- словообразовательных аффиксов (префиксов \bar{B}_p^{s1} , интерфиксов \bar{B}_p^{s2} , суффиксов \bar{B}_p^{s3} , флексий \bar{B}_p^{s4} , постфиксов $\bar{B}_p^{s5}, p \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{B}}^{sk}), k \in \bar{1}, \bar{5}$) и их наборов $\bar{B}\bar{1}_p^s, p \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{B}}\bar{1}^s)$;
- усекаемых/наращиваемых $\widetilde{\bar{D}}_w^{s1}/\widetilde{\bar{D}}_w^{s2}, w \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{D}}}^{sk}), k \in \bar{1}, \bar{2}$ и чередующихся $\widetilde{\bar{D}}_v^{s1}/\widetilde{\bar{D}}_v^{s2}, v \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{D}}}^{sk}), k \in \bar{1}, \bar{2}$ буквенных и фонемных последовательностей и их наборов $\widetilde{\bar{D}}\bar{1}_w^s, w \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{D}}}\bar{1}^s), \widetilde{\bar{D}}\bar{1}_v^s, v \in \bar{1}, \eta(\widetilde{\bar{\mathbf{D}}}\bar{1}^s)$, участвующих в линейных и нелинейных морфонологических преобразованиях основ слов;
- порожденных слов $\bar{C}_r^s, r \in \bar{1}, \eta(\bar{\mathbf{C}}^s)$.

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, – $M(\bar{Q}_e^s), M(\bar{L}_q^s), M(\widetilde{\bar{L}}_q^s), M(\bar{V}_u^s), M(\bar{B}_p^{sk}), M(\widetilde{\bar{D}}_w^{sk}), M(\widetilde{\bar{D}}_v^{sk}), M(\bar{C}_r^s)$ в виде

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

- в) информационных мер, сформированных из информационных мер (1) – $M(\bar{H}\bar{1}_n), M(\bar{Q}\bar{1}_e^s), M(\bar{L}\bar{1}_q^s), M(\widetilde{\bar{L}}\bar{1}_q^s), M(\bar{V}\bar{1}_u^s), M(\bar{B}\bar{1}_p^s), M(\widetilde{\bar{D}}\bar{1}_w^s), M(\widetilde{\bar{D}}\bar{1}_v^s)$ в виде

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

где n – количество бит, приходящихся на один элемента синтеза слов; $|\bar{\xi}^s|, |\bar{\xi}\bar{1}^s|$ – длина элемента синтеза слов; t – номер компонента $\bar{\xi}^s, \bar{\xi}\bar{1}^s$.

3. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЯЗЫКОВЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

Для закрепления взаимосвязей между языковыми конструкциями вводятся:

а) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{\mathbf{QI}}^s, \overline{\mathbf{C}}^s)$

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

$$M(\overline{\mathbf{QI}}_{e-1}^s) \prec M(\overline{\mathbf{QI}}_e^s) \prec M(\overline{\mathbf{QI}}_{e+1}^s), \quad M(\overline{\mathbf{C}}_{r-1}^s) \prec M(\overline{\mathbf{C}}_r^s) \prec M(\overline{\mathbf{C}}_{r+1}^s),$$

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

б) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{\mathbf{HI}}, \overline{\mathbf{QI}}^s)$

$$\Gamma(\overline{\mathbf{HI}}, \overline{\mathbf{QI}}^s) = \|\Gamma(\overline{\mathbf{HI}}_n, \overline{\mathbf{QI}}_e^s)\|, \quad (4)$$

$$r(\overline{\mathbf{HI}}_{n-1}) \prec r(\overline{\mathbf{HI}}_n) \prec r(\overline{\mathbf{HI}}_{n+1}), \quad M(\overline{\mathbf{QI}}_{e-1}^s) \prec M(\overline{\mathbf{QI}}_e^s) \prec M(\overline{\mathbf{QI}}_{e+1}^s),$$

$$\forall \overline{\mathbf{HI}}_n \wedge \overline{\mathbf{QI}}_e^s \quad \exists \Gamma(\overline{\mathbf{HI}}_n, \overline{\mathbf{QI}}_e^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{\mathbf{HI}}_n \text{ существует } \overline{\mathbf{QI}}_e^s \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad s \in \overline{1, 2}.$$

в) матрица бинарных отношений $\Gamma(\overline{\mathbf{HI}}, \overline{\mathbf{VI}}^s)$

$$\Gamma(\overline{\mathbf{HI}}, \overline{\mathbf{VI}}^s) = \|\Gamma(\overline{\mathbf{HI}}_n, \overline{\mathbf{VI}}_u^s)\|, \quad (5)$$

$$r(\overline{\mathbf{HI}}_{n-1}) \prec r(\overline{\mathbf{HI}}_n) \prec r(\overline{\mathbf{HI}}_{n+1}), \quad M(\overline{\mathbf{VI}}_{u-1}^s) \prec M(\overline{\mathbf{VI}}_u^s) \prec M(\overline{\mathbf{VI}}_{u+1}^s),$$

$$\forall \overline{\mathbf{HI}}_n \wedge \overline{\mathbf{VI}}_u^s \quad \exists \Gamma(\overline{\mathbf{HI}}_n, \overline{\mathbf{VI}}_u^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } \overline{\mathbf{HI}}_n \text{ существует } \overline{\mathbf{VI}}_u^s \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad s \in \overline{1, 2}.$$

г) матрица бинарных отношений $\Gamma(\mathbf{H}, \overline{\mathbf{BI}}^s)$

$$\Gamma(\mathbf{H}, \overline{\mathbf{BI}}^s) = \|\Gamma(H_i, \overline{\mathbf{BI}}_p^s)\|, \quad (6)$$

$$r(H_{i-1}) \prec r(H_i) \prec r(H_{i+1}), \quad M(\overline{\mathbf{BI}}_{p-1}^s) \prec M(\overline{\mathbf{BI}}_p^s) \prec M(\overline{\mathbf{BI}}_{p+1}^s),$$

$$\forall H_i \wedge \overline{\mathbf{BI}}_p^s \quad \exists \Gamma(H_i, \overline{\mathbf{BI}}_p^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } H_i \text{ существует } \overline{\mathbf{BI}}_p^s \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad s \in \overline{1, 2}.$$

д) матрица бинарных отношений $\Gamma(\mathbf{H}, \overline{\mathbf{C}}^s)$

$$\Gamma(\mathbf{H}, \overline{\mathbf{C}}^s) = \|\Gamma(H_i, \overline{\mathbf{C}}_r^s)\|, \quad (7)$$

$$r(H_{i-1}) \prec r(H_i) \prec r(H_{i+1}), \quad M(\overline{\mathbf{C}}_{r-1}^s) \prec M(\overline{\mathbf{C}}_r^s) \prec M(\overline{\mathbf{C}}_{r+1}^s),$$

$$\forall H_i \wedge \overline{C}_r^s \quad \exists \Gamma(H_i, \overline{C}_r^s) = \begin{cases} 1, & \text{для } H_i \text{ существует } \overline{C}_r^s, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad s \in \overline{1,2}$$

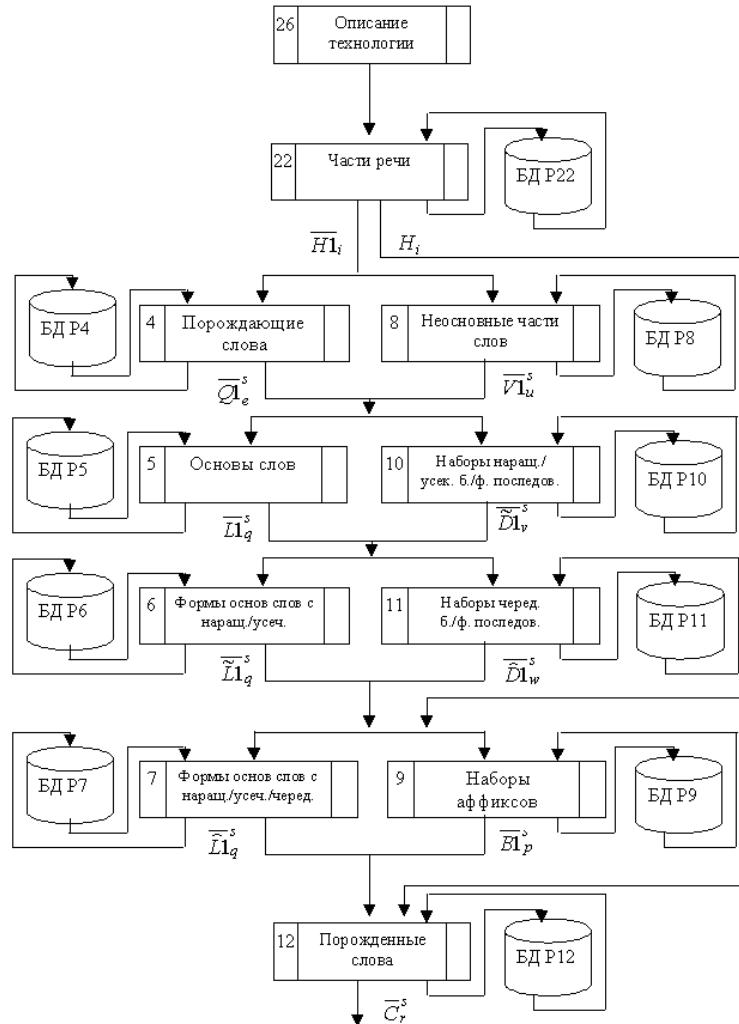


Рис. 1: Структурная детализация синтеза слов

4. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИНТЕЗА СЛОВ

На основе формализации, количественного оценивания и закрепления взаимосвязи языковых конструкций разработана структура синтеза слов (рис. 1). Технологическая карта (блок 26) 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. Из порождающих слов

(блок 4), согласно паре частей речи порождающих слов (блок 22), выделяется основа (блок 5) путем усечения неосновной части (блок 8). Эта основа преобразуется к своим формам (блоки 6, 7) посредством наборов наращиваемых/усекаемых (блок 10) и чередующихся (блок 11) буквенно/фонемных последовательностей. К полученной форме основы добавляется набор словообразовательных аффиксов (блок 9) в соответствии с частью речи (блок 22) порождаемого слова (блок 12). Результаты синтеза слов помещаются в соответствующие разделы базы данных (БД).

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 связями. 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).

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).

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

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

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

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

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

где $\lfloor \rfloor$ – целая часть
Прямой ход

Первый слой состоит из $\eta(\overline{\mathbf{L1}}^s)$ групп, каждая из которых содержит $\eta(\overline{\mathbf{V1}}^s)$ 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).

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

$$j \in \overline{1, N^{(1)}}, \quad N^{(1)} = \eta(\overline{\mathbf{L1}}^s) \cdot \eta(\overline{\mathbf{V1}}^s)$$

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

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

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

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

где \circ - усечение справа, \diamond - конкатенация, \bmod - деление по модулю

Второй слой состоит из $\eta(\widehat{\mathbf{L1}}^s)$ групп, каждая из которых содержит $\eta(\widehat{\mathbf{D1}}^s)$ 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).

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

$$j \in \overline{1, N^{(2)}}, \quad N^{(2)} = \eta(\widehat{\mathbf{L1}}^s) \cdot \eta(\widehat{\mathbf{D1}}^s),$$

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

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

$$M(\xi_1^s) = ((M(\widehat{d}_{m1}^s) \diamond M(x_{i1}^{(1)})) \circ M(\widehat{d}_{m3}^s)) \diamond M(\widehat{d}_{m2}^s), \quad m = j \bmod \eta(\widehat{\mathbf{D1}}^s), \quad (21)$$

$$M(\xi_2^s) = ((M(\widehat{d}_{m4}^s) \diamond M(x_{i2}^{(1)})) \circ M(\widehat{d}_{m6}^s)) \diamond M(\widehat{d}_{m5}^s), \quad m = j \bmod \eta(\overline{\mathbf{D1}}^s) \quad (22)$$

Третий слой состоит из $\eta(\overline{\mathbf{L1}}^s)$ групп, каждая из которых содержит $\eta(\overline{\mathbf{D1}}^s)$ 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).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$|x_{i1}^{(2)}| = len \wedge (r(x_{i1c}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{i1,c+1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\}) \wedge \quad (30)$$

$$\left((c+1 = len) \vee \left(\bigwedge_{k=c+1}^{len-1} \neg (r(x_{i1k}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{i1,k+1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\}) \right) \right) \rightarrow$$

$$\left(\bigwedge_{p=1}^j r(\xi_{1p}^s) = r(x_{i1p}^{(2)}) \right) \wedge r(\xi_{1,c+1}^s) = r(\widetilde{d}_{v21}^s) \wedge \left(\bigwedge_{b=c+2}^{len} r(\xi_{1b}^s) = r(x_{i1,b-1}^{(2)}) \right), \quad c \in \overline{1, |x_{i1}^{(2)}| - 1},$$

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

$$|x_{i1}^{(2)}| = len \wedge (r(x_{i1,c-1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{i1c}^{(2)}) = r(\tilde{d}_{v11}^s) \wedge r(x_{i1,c=1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\}) \wedge \quad (31)$$

$$\left((c+1 = len) \vee \left(\bigwedge_{k=c+1}^{len-1} \neg (r(x_{i1,k-1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\} \wedge r(x_{i1k}^{(2)}) = r(\tilde{d}_{v11}^s) \wedge r(x_{i1,k+1}^{(2)}) \in \{r(T_i^s)\}) \right) \right) \rightarrow$$

$$\left(\bigwedge_{p=1}^j r(\xi_{1p}^s) = r(x_{i1p}^{(2)}) \right) \wedge \left(\bigwedge_{b=c+1}^{len-1} r(\xi_{1b}^s) = r(x_{i1,b+1}^{(2)}) \right), \quad c \in \overline{2, |x_{i1}^{(2)}| - 1}$$

Аналогично для формы основы второго 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

$$|\tilde{d}_{v1}^s| = len1 \wedge |\tilde{d}_{v2}^s| = len2 \wedge |x_{i1}^{(2)}| = len3 \wedge \left(\bigwedge_{m=1}^{len1} r(x_{i1,c+m}^{(2)}) = r(\tilde{d}_{v1m}^s) \right) \wedge \quad (32)$$

$$\left((c + len1 = len3) \vee \bigwedge_{k=c+1}^{len3} \neg \left(\bigwedge_{n=1}^{len1} (r(x_{i1,k+n}^{(2)}) = r(\tilde{d}_{v1n}^s)) \right) \right) \rightarrow$$

$$\left(c = 0 \vee \left(\bigwedge_{p=1}^j r(\xi_{1p}^s) = r(x_{i1p}^{(2)}) \right) \right) \wedge \left(\bigwedge_{z=1}^{len2} r(\xi_{1,(c+1)+z}^s) = r(\tilde{d}_{v2z}^s) \right) \wedge$$

$$\left(\bigwedge_{b=1}^{len3-(c+len1)} r(\xi_{1,(c+len2+1)+b}^s) = r(x_{i1,(c+len1+1)+b}^{(2)}) \right), \quad c \in \overline{0, |x_{i1}^{(2)}| - 1}$$

Аналогично для формы основы второго слова

Четвертый слой состоит из $\eta(\overline{\mathbf{C}}^s)$ групп, каждая из которых содержит $\eta(\overline{\mathbf{B1}}^s)$ 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.

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

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

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

$$M(\zeta_i^{(3)}) = M(b_{p1}^s) \diamond M(x_{i1}^{(3)}) \diamond M(b_{p2}^s) \diamond M(x_{i2}^{(3)}) \diamond M(b_{p3}^s) \diamond M(x_{i3}^{(3)}) \diamond M(b_{p4}^s) \diamond M(x_{i4}^{(3)}) \diamond M(b_{p5}^s), \quad (35)$$

$$p = j \bmod \eta(\overline{\mathbf{B1}}^s)$$

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).

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

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

Обратный ход

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

$$w_{i1}^{(5)} = \begin{cases} 1, & M(x_i^{(4)}) \in M(y_1) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad i \in \overline{1, N^{(4)}} \quad (38)$$

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

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

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

$$w_{1j}^{(1)} = \begin{cases} 1, & M(\zeta_1^{(0)}) = M(x_j^{(1)}) \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad j \in \overline{1, N^{(1)}} \quad (42)$$

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Н. Афанасьев, В.Б. Колмановский, В.Р. Носов. Математическая теория конструирования систем управления. - М.:Высшая школа, 2003. - 615 с.
2. Интеллектуальное управление динамическими системами / Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунов Б.Е. - М.:Физико-математическая литература, 2000. - 352 с.
3. Finite element modelling of the effect of non-metallic inclusions in metal forming processes / Riedel Ulrich T., Bleck Wolfgang, Morgan John E. // Comput. Mater. Sci. - 1999. - №16 - pp.32 - 38.
4. Криводубский О.А., Федоров Е.Е. Формальное представление русского языка и речи // 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.- М.:Наука, 1980. - т.1: Фонетика. Словообразование. Морфология. - 784 с.

Статья поступила в редакцию 04.11.2006