

## Нейросетевая оценка сложности IDEF-диаграмм

Рассмотрена нейросетевая система для оценки сложности восприятия IDEF-моделей человеком, отличающаяся применением экспертного метода на основе парных сравнений для получения данных, используемых для обучения многослойного перцептрона, что позволяет для произвольной IDEF-диаграммы прогнозировать ее коэффициент сложности восприятия, по которому можно проводить сравнение и оптимизацию IDEF-моделей. Результаты, изложенные в статье, могут быть полезны при построении IDEF-моделей, а также проектировании CASE-средств на их основе.

**Ключевые слова:** CASE-средства, искусственная нейронная сеть, коэффициент сложности восприятия, экспертный метод, метод парных сравнений

### Введение

Визуальные модели, выполненные согласно группе стандартов IDEF (Integrated Computer-Aided Manufacturing) (далее IDEF-модели), широко используются в практике моделирования сложных систем, CASE+-средствах и при реинжиниринге бизнес-процессов [1–4]. Среди IDEF-моделей наибольшее распространение имеют: SADT (IDEF0) — функциональные модели, DFD — диаграммы потоков данных, IDEF3 — модели процессов. IDEF-модели представляют собой набор диаграмм, связанных между собой по иерархическому принципу. Каждая из диаграмм содержит от двух до восьми блоков, а также как внешние связи, так и между блоками.

При построении IDEF-моделей важной проблемой является представление диаграмм таким образом, чтобы обеспечить наилучшее понимание модели пользователем-человеком. Предлагается характеризовать сложность для понимания диаграммы человеком скалярным положительным параметром — коэффициентом сложности восприятия (КСВ). Чем больше КСВ для данной диаграммы, тем сложнее она воспринимается человеком.

Для прогнозирования КСВ исходя из структуры диаграммы предлагается использовать нейросетевую систему на основе многослойного перцептрона. Для получения обучающей выборки используется экспертный метод и метод парных сравнений, так как экспертам достаточно тяжело в абсолютной шкале точно оценить КСВ для большого числа диаграмм.

В статье далее подробно рассмотрены процесс получения обучающей выборки, а также разработка искусственной нейронной сети на основе пакета расширения MATLAB Neural Network Toolbox [5].

### Формирование обучающей выборки

В соответствии со стандартами IDEF-диаграммы содержат не более восьми блоков. Структура диаграммы представляется вектором  $\mathbf{s} = [n_1, n_2, \dots, n_8]$ , где  $n_j$  — число связей  $j$ -го блока ( $j = 1, 2, \dots, 8$ ). Блок обязательно должен содержать связи таким образом, если на диаграмме имеется  $k$  блоков, то  $n_j = 0$  при  $j > k$ .

Процесс формирования обучающей выборки состоит из следующих шагов.

**Шаг 1.** Генерируются  $N$  IDEF-диаграмм со случайным числом блоков (от 2 до 8) и случайными внешними и межблочными связями (от 2 до 20 на один блок). Указанным диаграммам сопоставляются векторы  $\mathbf{S}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ).

**Шаг 2.** В соответствии с методом парных сравнений экспертам последовательно представляются диаграммы с номерами  $l$  и  $m$ , после чего предлагается оценить, во сколько раз КСВ  $l$ -й диаграммы  $Q_l$  больше, чем  $m$ -й —  $Q_m$ , в виде коэффициента  $a_{lm} = Q_l/Q_m$  ( $a_{lm}$  выбирается из множества значений  $\{1, 2, 3, \dots, 9\}$ ) [6]. Всего экспертам необходимо сделать оценку  $M = C_N^2$  раз,  $C_N^2$  — число сочетаний из  $N$  по 2. Например, при  $N = 200$  экспертам необходимо ответить на  $M = 19\,900$  вопросов, что занимает порядка 100 человеко-часов.

**Шаг 3.** Строится обратная симметричная матрица парных сравнений [6]:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Для нахождения КСВ согласно методу парных сравнений необходимо найти главный собственный вектор  $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_N)^T$  матрицы  $\mathbf{A}$  (см. (1)), который определяется уравнением [6]:

$$\mathbf{A}\mathbf{q} = \lambda_{\max}\mathbf{q}, \quad (2)$$

где  $\lambda_{\max}$  — максимальное собственное значение матрицы  $\mathbf{A}$ .

В силу того, что матрица  $\mathbf{A}$  имеет большую размерность, нахождение ее главного собственного вектора представляет определенные сложности. Для решения уравнения (2) использовался степенной метод (счет на установление) — метод простых итераций с нормированием на каждом шаге [7].

В качестве начального приближения выбирается вектор

$$\mathbf{q}_0 = \frac{1}{N}(1, 1, \dots, 1)^T.$$

Итерационная процедура описывается формулами

$$\begin{cases} \mathbf{y}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{q}_k, \\ \mathbf{q}_{k+1} = \mathbf{y}_{k+1} / \|\mathbf{y}_{k+1}\|_1, \end{cases} \quad (3)$$

где  $\|\mathbf{y}\|_1 = \sum_{n=1}^N |y_{(n)}|$  —  $l_1$ -норма вектора;  $y_{(n)}$  —  $n$ -я компонента вектора  $\mathbf{y}$ .

Отметим, что даже проведение одной итерации процедуры (3) может дать приемлемый по точности результат [6].

Для получения результата с заданной точностью  $\varepsilon$  необходима реализация итерационной процедуры (3) до выполнения неравенства  $\|\mathbf{q}_{k+1}\| - \|\mathbf{q}_k\| < \varepsilon$  [7].

Для оценки того, насколько согласованно мнение экспертов при ответе на вопросы, необходимо найти наибольшее собственное значение матрицы  $\mathbf{A}$  [6]

$$|\lambda_{\max}| = \|\mathbf{q}_{k+1}\| / \|\mathbf{q}_k\|$$

и индекс согласованности

$$I_S = \frac{\lambda_{\max} - N}{N - 1}.$$

Мнение экспертов считается согласованным при выполнении соотношения

$$I_S / I_{SL} < 0,1,$$

где  $I_{SL}$  — случайный индекс (средний индекс согласованности сгенерированных случайным образом по шкале от 1 до 9 обратно симметричных матриц размерности  $N$ ).

В результате описанных выше действий получена обучающая выборка

$$\langle \mathbf{s}_i, Q_i \rangle, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (4)$$

где  $\mathbf{s}$  — вектор структуры  $i$ -й диаграммы;  $Q_i$  — КСВ  $i$ -й диаграммы.

### Проектирование искусственной нейронной сети

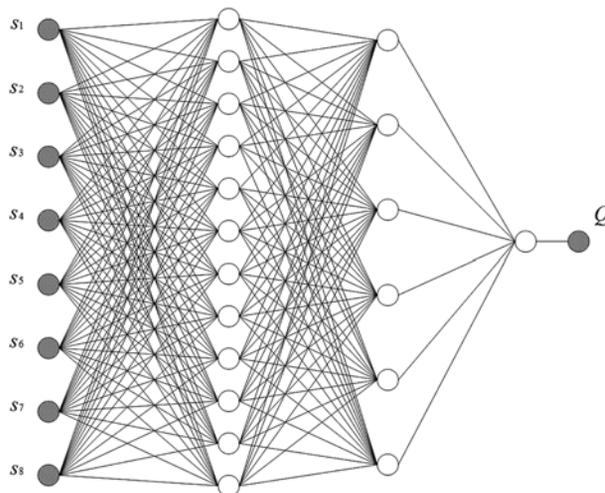
В качестве искусственной нейронной сети выберем многослойный перцептрон с сигмоидальными функциями принадлежности [5]. Данный тип нейронной сети хорошо показал себя при решении задач аппроксимации сложных зависимостей, если имеется обучающая выборка достаточного объема. Кроме того, имеется большое число пакетов программ, в которых реализована эмуляция многослойного перцептрона.

Для выбора структуры нейронной сети существует несколько эмпирических формул, воспользуемся следующими из них [5]:

$$\begin{cases} \frac{mN}{1 + \log_2 N} \leq L_w \leq m \left( \frac{N}{n} + 1 \right) (n + m + 1) + m; \\ L = \frac{L_w}{m + n}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{n}{2} \leq L_S \leq 3n, \quad (6)$$

где  $n$  — размерность входного вектора;  $m$  — размерность выходного вектора;  $N$  — объем обучаю-



Структура искусственной нейронной сети

щей выборки;  $L_w$  — число весов нейронной сети;  $L$  — число нейронов сети;  $L_S$  — число нейронов в скрытых слоях.

Подставляя в формулы (5) и (6) числовые значения  $N = 200$ ,  $n = 9$ ,  $m = 1$ , получим:  $3 \leq L \leq 29$ ,  $4 \leq L_S \leq 24$ .

Выберем трехслойный перцептрон со структурой 12—6—1. Число нейронов в первом скрытом слое — 12, во втором скрытом слое — 6, в выходном слое — 1, общее число нейронов — 19. Структура искусственной нейронной сети приведена на рисунке. Закрашенными кружками показаны входы и выход сети, незакрашенными кружками — нейроны.

Данная сеть эмулировалась с применением пакета MATLAB Neural Network Toolbox и обучалась на основе данных выборки (4) [5].

Обученная нейронная сеть может использоваться для прогнозирования КСВ IDEF-диаграмм на основе их структуры.

### Заключение

Предложенная в статье нейросетевая система для оценки коэффициента сложности восприятия IDEF-диаграмм [8] может найти применение при разработке CASE-средств. В частности, предполагается разработать алгоритмы и реализующие их программные приложения, которые позволят в процессе взаимодействия с пользователем в диалоговом режиме строить оптимальные с точки зрения сложности восприятия IDEF-модели, что улучшит технологии разработки программного обеспечения.

### Список литературы

1. Stahlknecht P., Hasenkamp U. Einführung in die Wirtschaftsinformatik. Berlin—Heidelberg—New York: Springer-Verlag, 2012. 327 p.
2. Sommerville I. Software Engineering (9th Edition). Boston—Columbus—Indianapolis—New York: Addison—Wesley, 2011. 790 p.
3. Вендров А. М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2006. 544 с.

4. Черемных С. В., Семенов И. О., Ручкин В. С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии: практикум. М.: Финансы и статистика, 2006. 192 с.

5. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP22 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. М.: Солон-Пресс, 2006. 456 с.

6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

7. Калиткин Н. Н. Численные методы. М.: Наука, 1978. 512 с.

8. Усков А. А., Жукова А. Г. Матричное представление иерархических визуальных моделей для CASE-средств // Информационные технологии. 2014. № 11. С. 36–39.

9. Усков А. А., Жукова А. Г., Кондратова Н. В. Программный модуль "Оценка коэффициента сложности восприятия визуальных моделей". Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ в Федеральной службе по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) № 2014618234 от 13.08.2014.

A. A. Uskov, Professor, e-mail: prof.uskov@gmail.com, A. G. Zhukova, Russian University of Cooperation

## Neural Network Assessment Challenges IDEF-Charts

*Considered neural network system for estimating the complexity of perception IDEF-human model, characterized by the use of expert-based method of paired comparisons for the data used for training multilayer perceptron, which allows for arbitrary IDEF-charts to predict its factor of perception, where you can make a comparison and optimization IDEF-models. The results presented in this paper may be useful in the construction of IDEF-models as well as the design of CASE-tools based on them.*

*When constructing models IDEF-important issue is to present the diagrams so as to ensure the best understanding of the model a human user. It is proposed to characterize the complexity of human-to-understand diagrams positive scalar parameters — degree of difficulty of perception. Than it is for this chart is, the more difficult it is perceived by man.*

*In order to predict the perception of degree of difficulty, based on the structure of the diagram, it is proposed to use the neural network system based on multilayer perceptron. For the training sample is used expert method and the method of paired comparisons, as the experts is rather difficult to accurately estimate the absolute scale factor of the perception of a large number of diagrams. The article discussed in detail the process of obtaining the training sample, as well as the development of an artificial neural network based on the expansion pack MATLAB Neural Network Toolbox.*

*The proposed article neural network system for evaluating factor of perception IDEF-diagrams can be used in the development of CASE-tools. In particular, it is proposed to develop algorithms and implement their software applications that allow a process of interaction with the user interactively construct optimal from the point of view of the complexity of perception IDEF-model, which will improve the software development technology.*

**Keywords:** CASE-tools, artificial neural network, factor of perception, expert method, the method of paired comparisons

### References

1. Stahlknecht P., Hasenkamp U. *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. Berlin—Heidelberg—New York: Springer-Verlag, 2012. 327 p.

2. Sommerville I. *Software Engineering* (9th Edition). Boston—Columbus—Indianapolis—New York: Addison—Wesley, 2011. 790 p.

3. Vendrov A. M. *Proektirovanie programmnogo obespechenja ekonomicheskikh informacionnyh sistem*. 2-e izd., pererab. i dop. M.: Finansy i statistika, 2006. 544 p.

4. Cheremnyh S. V., Semenov I. O., Ruchkin V. S. *Modelirovanie i analiz sistem. IDEF-tehnologii: praktikum*. M.: Finansy i statistika, 2006. 192 p.

5. D'jakonov V. P., Kругlov V. V. *MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Instrumenty iskusstvennogo intellekta i bioinformatiki*. M.: Solon-Press, 2006. 456 p.

6. Saati T. *Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij*. M.: Radio i svjaz', 1993. 278 p.

7. Kalitkin N. N. *Chislennye metody*. M.: Nauka, 1978. 512 p.

8. Uskov A. A., Zhukova A. G. *Matrichnoe predstavlenie ierarchicheskikh vizual'nyh modelej dlja CASE-sredstv. Informacionnye tehnologii*. 2014. N. 11. P. 36–39.

9. Uskov A. A., Zhukova A. G., Kondratova N. V. *Programmnyj modul' "Ocenka koefefficienta slozhnosti vosprijatija vizual'nyh modelej"*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM v Federal'noj sluzhbe po intellektual'noj sobstvennosti (ROSPATENT) N 2014618234 ot 13.08.2014.

### Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Технический редактор *Е. В. Конова*.

Корректор *Е. В. Комиссарова*.

Сдано в набор 08.04.2015. Подписано в печать 25.05.2015. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 8,86. Заказ IT615. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Оригинал-макет ООО "Авансд солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансд солюшнз".

119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.