ОПТИМИЗАЦИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

А. А. Усков
Смоленский филиал РЭУ им. Г. В. Плеханова, Российская Федерация

И. Н. Денисова
Московский институт бизнеса и права, Российская Федерация

И. Е. Петрова
Смоленский филиал РЭУ им. Г. В. Плеханова, Российская Федерация

Визуальные модели, выполненные согласно группе стандартов IDEF (*далее* – IDEF-модели), широко используются в практике моделирования сложных систем, CASE-средствах и при реинжиринге бизнес-процессов металлургических и машиностроительных предприятий [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 2 до 8 блоков, а также связи, как внешние, так и между блоками.

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

Для прогнозирования КСВ исходя из структуры диаграммы предлагается использовать нейросетевую систему на основе многослойного персептрона. Для получения обучающей выборки используется экспертный метод и метод парных сравнений, так как экспертам достаточно сложно в абсолютной шкале точно оценить КСВ для большого числа диаграмм. В статье подробно рассмотрен процесс получения обучающей выборки, а также разработка искусственной нейронной сети на основе пакета расширения MATLAB Neural Network Toolbox [5].

В соответствии со стандартами IDEF, диаграммы содержат не более 8 блоков. Структура диаграммы представляется вектором $S = [n_1, n_2, ..., n_8]$, где n_j – число связей j-го блока (j = 1, 2, ... , 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 вектора $\vec{S}_i$ (i = 1, 2, ... , 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 больше, чем m-й в виде коэффициента $a_{lm} = Q_l / Q_m$ (a_{lm} выбирается из множества значений {1, 2, ... , 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 обратно симметричная матрица парных сравнений [6]:

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

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

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

где $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение матрицы **A**.

В силу того, что матрица **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: $\vec{q}_0 = \frac{1}{N}(1, 1, \dots, 1)^T$.

Итерационная процедура описывается формулами:

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

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

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

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

Для оценки того, насколько согласовано мнение экспертов при ответе на вопросы, необходимо найти наибольшее собственное значение матрицы **A** [6]

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

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:

$$\left\langle \vec{S}_i, Q_i \right\rangle, \quad i = 1, 2, \dots N, \qquad (4)$$

где $\vec{S}_i$ – вектор структуры i-й диаграммы;
Q_i – КСВ i-й диаграммы.

В качестве искусственной нейронной сети выберем многослойный персептрон с сигмоидальными функциями принадлежности [5–10]. 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 персептрона.

Для выбора структуры нейронной сети существует несколько эмпирических формул, воспользуемся следующими из них [5–12]:

$$\begin{cases} \dfrac{mN}{1 + \log_2 N} \le L_w \le m\left(\dfrac{N}{n} + 1\right)(n + m + 1) + m, \\ L = \dfrac{L_w}{m + n}, \end{cases} \qquad (5)$$

$$\frac{n}{2} \le L_S \le 3n \qquad (6)$$

где n – размерность входного вектора;
m – размерность выходного вектора;,
N – объем обучающей выборки;
L_w – число весов нейронной сети;
L – число нейронов сети;
L_s – число нейронов в скрытых слоях.

Подставляя в формулы (5) и (6) следующие численные значения: N = 200, n = 8, m =1, получим: $3 \le L \le 29$; $4 \le L_S \le 24$.

Выберем трехслойный персептрон 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.

Предложенная в статье нейросетевая система для оценки коэффициента сложности восприятия IDEF-диаграмм может найти применение при разработке CASE-средств и оптимизации бизнес-процессов металлургических и машиностроительных предприятий. В частности, предполагается разработать алгоритмы и реализующие их программные приложения, которые позволят в диалоговом режиме строить оптимальные с точки зрения сложности восприятия IDEF-модели.

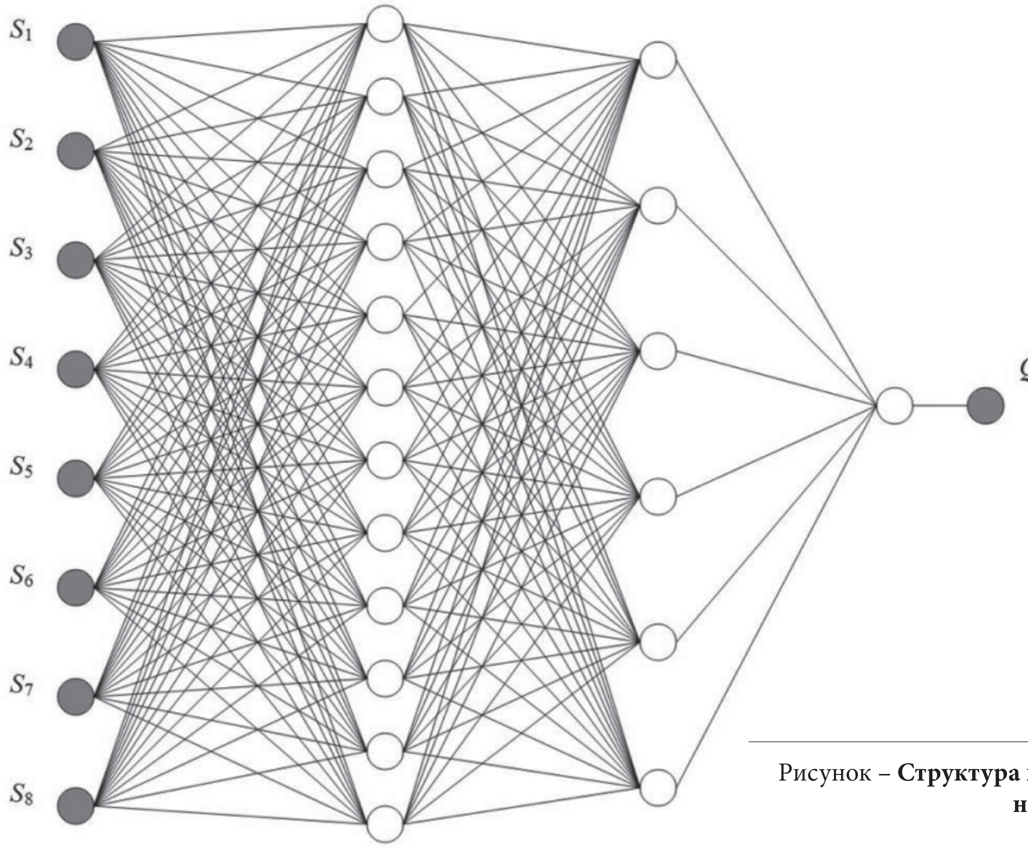

Рисунок – **Структура искусственной нейронной сети**

Литература

1. **Stahlknecht, P.** Einführung in die Wirtschaftsinformatik / P. Stahlknecht., U. Hasenkamp. – Berlin–Heidelberg–New York : Springer-Verlag, 2012. – 327 s.
2. **Sommerville, I.** Software Engineering / I. Sommerville. – 9th ed. – Boston – Columbus – Indianapolis – New York : Addison-Wesley, 2011. – 790 p.
3. **Вендров А. М.** Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем / А. М. Вендров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 544 с.
4. **Черемных, С. В.** Моделированиеи анализ систем. IDEF-технологии : практикум / С. В. Черемных, И. О. Семенов, В.С. Ручкин. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 192 с.
5. **Дьяконов, В. П.** MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. – М. : Солон-Пресс, 2006. – 456 с.
6. **Саати, Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
7. **Калиткин, Н. Н.** Численные методы / Н. Н. Калиткин. – М. : Наука, 1978. – 512 с.