

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ NEUROTECHNOLOGIES

УДК 004.03

DOI: 10.17587/it.25.107-116

А. Б. Барский, д-р техн. наук, проф., e-mail: arkbarsk@mail.ru,
Д. И. Мельник, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: mdi_dim@mail.ru,
А. В. Решетников, канд. техн. наук, доц., e-mail: andyresh2014@yandex.ru,
НИИЦ (г. Москва) ЦНИИ ВВКО Минобороны России

Нейросетевые методы управления качеством при модернизации и развитии сложных систем в условиях финансовых и технологических ограничений

Рассматривается сложная система массового обслуживания, представляющая собой комплекс взаимодействующих объектов, решающих общую задачу в соответствии с целевой функцией и с требуемыми значениями параметров обслуживания. Вводится понятие рейтинга объекта, отображающего степень его участия в обеспечении высокого качества сложной системы. Для каждого типа объектов с использованием предложенных экспертов строится рейтинговая система на логической нейронной сети. С ее помощью по результатам мониторинга определяется текущий рейтинг объекта. Если рейтинг опустился ниже допустимого, объект претендует на ремонт, замену, модернизацию и пр. В условиях финансовых и технологических ограничений оптимальное решение по многим объектам принимается на основе шкалы их важности.

Ключевые слова: сложная система, объект, деградация, рейтинг объекта, логическая нейронная сеть, рейтинговая система, шкала важности

Введение

Под *сложной системой* будем понимать комплекс, как правило, функционально различных средств, объединенных для совместного решения общей задачи в соответствии с *оптимизируемой целевой функцией* [1–3]. Как на теоретическом, так и на практическом уровнях выделяется класс сложных систем, образующих многоканальные системы массового обслуживания: оборонные, энергетические, транспортные, связи, социальные и пр. В общем случае сложные системы обладают органом централизованного управления и образуют централизованную сеть, узлы которой отображают ее *объекты* [4]. Это представление является условным, так как отдельным объектом, например, справедливо считать комплекс средств связи. Таким образом, понятие "объект" может быть более широким, включающим подсистему средств и даже подсистему объектов.

Целевая функция отображает конкретное назначение сложной системы с требуемыми значениями основных параметров обслуживания

в соответствии с техническим заданием (ТЗ) на ее разработку. Относительно значений этих параметров может быть задано условие их максимизации или минимизации. Это и имеется в виду, когда говорят об оптимизации целевой функции. Например, требуется создать комбинированную сложную систему связи с минимальным временем и с максимальной вероятностью выполнения заявки, соответственно не выше и не ниже заданных значений.

Целевая функция отражает текущие технологические и финансовые возможности. Достижение заданных критериев, обусловленных целевой функцией, говорит о *максимальном качестве обслуживания* сегодня. Тогда очевидно, что перспективное планирование развития сложных систем требует своевременного обоснования финансируемых направлений исследования и разработок.

На начальном этапе эксплуатации системы могут приниматься решения об уточнении ТЗ, о доработке средств и методик испытаний и пр.

Для оптимизации целевой функции целесообразно ввести строго не определяемое поня-

тие *текущего качества* объекта как во многом интуитивную, не измеряемую степень его участия в достижении требуемого максимального качества функционирования (обслуживания) сложной системы в целом. Такие оценки определяют *текущий рейтинг объекта*, который находится экспертным путем.

В общем случае сложная система обладает конечным жизненным циклом, в течение которого, в результате ее деградации, предоставляемое ею качество обслуживания падает до недопустимого уровня. Продление жизни по результатам мониторинга или в соответствии с планом регламентных работ достигается за счет ремонта и замены отдельных объектов. Однако продления жизни недостаточно, и задача ставится шире: о модернизации и развитии системы в соответствии с современными требованиями, уточняющими целевую функцию, а также с учетом финансовых, технических и технологических возможностей. Модернизация системы противостоит двум основным процессам деградации: "физическому" старению и старению моральному. Однако в процессе эксплуатации сложной системы могут вскрываться конструктивные недоработки объектов и их средств управления, а также ошибки программного обеспечения.

Таким образом, необходимо управлять поддержанием и развитием качества (обслуживания) сложной системы.

Идея такого управления заключается в следующем.

1. Организуется периодический контроль объектов сложной системы.

2. Для каждого объекта определяется его текущий *рейтинг* в системе на основе оценки качества выполнения его функций в соответствии с техническими требованиями (ТТ) к системе.

3. Если этот рейтинг опустился ниже допустимого уровня, данный объект нуждается в принятии решения о ремонте, замене, смене технологии его изготовления, об изменении алгоритма функционирования системы и др.

4. Однако в условиях ограниченного финансирования и доступности технологий решение принимается по некоторой стратегии комплексно, по множеству объектов недопустимо низкого рейтинга с учетом *шкалы важности*. При этом, чтобы удовлетворить потребности большего числа "важных" объектов, замена может выполняться по принципу "из того что есть и подешевле".

1. Рейтинг объектов сложной системы

В основе определения рейтинга отдельного объекта сложной системы лежит ряд показателей, образующих *вектор характеристик качества*. Как правило, значение этих характеристик или их ограничения обусловлены техническими требованиями (ТТ) или техническим заданием (ТЗ) на разработку системы [5]. К такому уточняемому и расширяемому ряду показателей качества могут относиться:

- пропускная способность или реальная производительность объекта;
- реальная производительность встроенных вычислительных средств объекта;
- среднее время обслуживания запроса;
- вероятность обслуживания;
- частота неудачного решения своей частной задачи;
- частота или число ложных срабатываний объекта;
- частота отказов объекта с переходом (с требованием перехода) на резерв;
- теоретический расчет текущей надежности объекта, например, при пуассоновском потоке отказов;
- приближение теоретически рассчитанного или объявленного разработчиком срока жизненного цикла объекта;
- применение в основе разработки объекта зарубежной технологии, ставшей "запрещенной";
- снижение отказоустойчивости;
- снижение уровня помехозащищенности;
- нарушение безопасности вычислений встроенных вычислительных средств;
- неудовлетворительные результаты функционального контроля и др.

Для снижения трудоемкости исследования возможно укрупнение объектов — их объединение в сложные объекты или разбиение всей системы на подсистемы, интерпретируемые как отдельные объекты. Это требует введения некоторой "рейтинговой" алгебры объединения объектов:

1. Два объекта участвуют в работе сложной системы по схеме "И", если их совместная функция не может быть выполнена ими по разнь. Тогда

$$\begin{aligned} & \text{Рейтинг}(\text{объект1}) \text{ И } (\text{объект2}) = \\ & = \min \{ \text{рейтинг}(\text{объект1}), \text{рейтинг}(\text{объект2}) \}. \end{aligned}$$

2. Два объекта участвуют в работе сложной системы по схеме "ИЛИ", если их совместная

функция может быть выполнена хотя бы одним из них. Тогда

$$\text{Рейтинг}((\text{объект1}) \text{ ИЛИ } (\text{объект2})) = \\ = \max \{ \text{рейтинг}(\text{объект1}), \text{рейтинг}(\text{объект2}) \}.$$

Укрупнение объектов тем более актуально, что характер их взаимодействия часто не позволяет чисто механически проводить замену одного объекта более совершенным. Отсутствие сопряжения некоторых характеристик (например, более высокая пропускная способность "нового" объекта) приводит к дисбалансу и к необходимости перенастройки всей подсистемы.

2. Рейтинговая система на основе интервалов значений показателей качества объектов сложной системы

Построение рейтинговых систем как класса систем принятия решений на основе аппарата логических нейронных сетей показано в работе [6]. Отметим, что все системы принятия решений строятся на однослойных нейронных сетях. Их обработка сводится к простейшей обработке легко модифицируемых матриц следования.

Рассмотрим пример построения типовой рейтинговой системы.

Пусть для данного типа объектов задан вектор характеристик качества $\{D_1, D_2, D_3, D_4\}$. Диапазон изменения каждой характеристики (типа *real*) на основе экспертных рекомендаций разбит на три интервала (строго математически, интервалы — полуоткрытые или закрытые), принадлежность которым говорит о неизменном рейтинге по данной характеристике на данном интервале ее значений:

$$D_i \rightarrow [d_{i0} - d_{i1}), [d_{i1} - d_{i2}), [d_{i2} - d_{i3}], i = 1, \dots, 4.$$

В частности, исходя из смысла d_{i3} может быть равно 0 или ∞ .

Интервал $[d_{i0} - d_{i1})$ соответствует диапазону значений характеристики D_i (например, производительности), обусловленной ТЗ. Интервал $[d_{i1} - d_{i2})$ соответствует временно допустимому значению этой характеристики. Интервал $[d_{i2} - d_{i3}]$ соответствует области значений характеристики D_i , где измерения не проведены, либо их значения ниже допустимых (например, производительность снизилась до нуля).

Пусть для построенных интервалов, рассматриваемых совместно как возможные си-

туации на основе вектора характеристик, эксперты установили значения рейтинга из некоторого множества значений: *рейтинг высокий*, *рейтинг средний*, *рейтинг низкий*. Иными словами, для каждой возможной ситуации, описываемой множеством из четырех интервалов, соответствующих каждый своей характеристике, задано одно из трех значений рейтинга.

Отобразим на схеме (рис. 1) пример такого соответствия, причем все возможные связи воспроизводить не следует, так как низкий рейтинг проявится даже во многих не указанных случаях.

От статического описания базы знаний (БЗ), содержащей связи "ситуация → рейтинг", перейдем к динамической модели ассоциативного мышления, сформировав логическую нейронную сеть. Для этого предположим, что левый столбец пронумерованных овалов соответствует рецепторам, возбуждаемым извне, а правый — нейронам, возбуждение которых от связанных с ними рецепторов указывает на значение рейтинга.

Напомним, что возбуждение рецепторов интерпретируется как достоверность высказываний о принадлежности данных, а нейрон представляет собой прибор, выполняющий пороговую функцию активации.

Ситуация же представляет собой набор в данном случае четырех значений характеристик объекта, принадлежащих соответствующим интервалам.

Для "оживления" модели введем пороговую функцию активации нейрона. Для данного прибора такая функция имеет вид:

$$V_i = \begin{cases} \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 v_{jk}, & \text{если эта величина} \\ \text{не меньше значения порога } h, & \\ 0, & \text{в противном случае } (i = 1, \dots, 11). \end{cases}$$

Здесь V_i — возбуждение i -го нейрона; v_{jk} ($k = 1, \dots, 4, j_k \in \{1, \dots, 12\}$) — возбуждение одного из четырех рецепторов, связанных с i -м нейроном. Порог h выбирается экспериментально в процессе эксплуатации рейтинговой системы так, чтобы исключить лишние вычисления.

Для иллюстрации выберем некоторый объект, т. е. некоторую ситуацию, заданную конкретными значениями характеристик качества. Не вдаваясь в "физический смысл", предположим, что значение d_1 характеристики D_1 принадлежит интервалу $[d_{10} - d_{11})$. Задаем

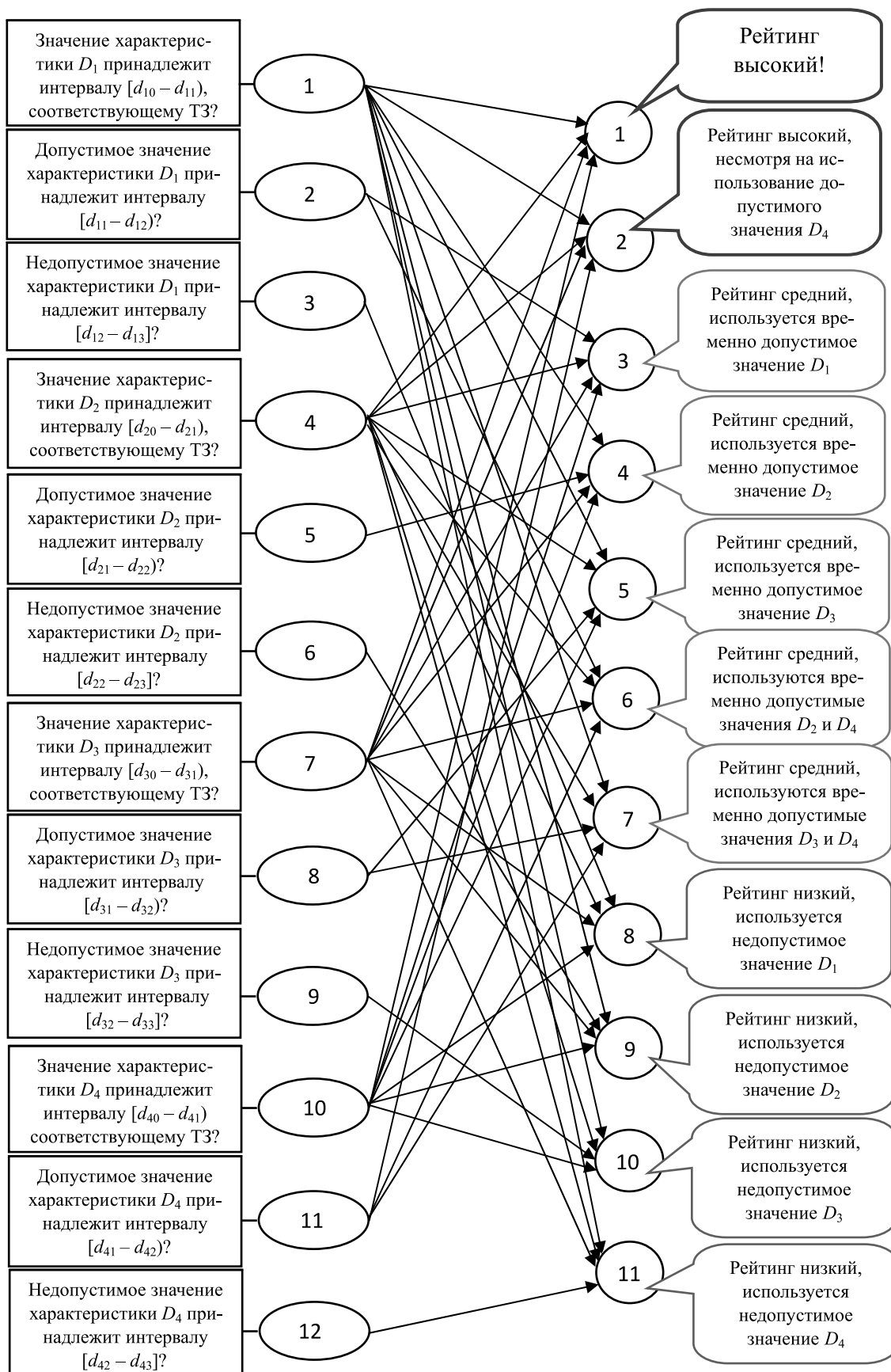


Рис. 1. Логическая нейронная сеть рейтинговой системы

возбуждение рецептора: $v_1 = 1$. Пусть точно не определена принадлежность значения d_2 характеристики D_2 , однако есть предположение, что с вероятностью 0,6 это значение принадлежит интервалу $[d_{20} - d_{21})$, а с вероятностью 0,4 — интервалу $[d_{21} - d_{22})$. Возбуждаем рецепторы: $v_4 = 0,6$, $v_5 = 0,4$. Пусть известно, что значение d_3 характеристики D_3 принадлежит интервалу $[d_{30} - d_{31})$, а значение d_4 характеристики D_4 принадлежит интервалу $[d_{40} - d_{41})$. Полагаем $v_7 = v_{10} = 1$. Пусть из соображений трудоемкости дальнейшего анализа экспериментально выбран порог $h = 0,7$. Рассчитаем значение функции активации всех нейронов: $V_1 = 0,9$, $V_2 = V_3 = 0$, $V_4 = 0,85$, $V_5 = V_6 = V_7 = V_8 = V_9 = V_{10} = V_{11} = 0$. Максимально возбуждшийся нейрон 1 формально указывает на высокий рейтинг объекта. Однако тревожность ситуации нельзя не заметить по высокому возбуждению нейрона 4, указывающего на средний рейтинг.

В рассмотренной рейтинговой системе вместо интервалов могут указываться данные типа *integer*, *Boolean* в любой комбинации, могут быть указаны объекты, входящие в данный объект, и т. д. Так, например, может учитываться наличие или отсутствие аппаратного контроля

вычислительных средств, применение кодов, корректирующих ошибки, наличие и состояние специальных подъездных путей и др.

Развитие рейтинговой системы связано с введением весов связей как степени влияния разных характеристик качества или даже их значений на общий показатель рейтинга объекта. Как правило, эти веса определяются в результате длительной эксплуатации системы. Не желая загромождать рис. 1, легко представить на стрелках, наличие которых указывает на единичные веса, веса ω_{ji} ($0 < \omega_{ji} < 1$) связей, ведущих от j -го рецептора к i -му нейрону. С учетом весов связей функция активации i -го нейрона имеет следующий вид:

$$V_i = \begin{cases} \left(\frac{\sum_{k=1}^4 \omega_{jk} v_{jk}}{\sum_{k=1}^4 \omega_{jk}} \right), & \text{если это отношение не меньше} \\ & \text{значения порога } h, \\ 0, & \text{в противном случае } (i = 1, \dots, 11). \end{cases}$$

При обработке логической нейронной сети используется *матрица связей*. Для данного примера, но для случая, когда некоторые веса меньше единицы (выяснилось в процессе эксплуатации), такая матрица имеет вид, представленный в табл. 1.

Таблица 1

Матрица связей, примерный вид

Рецепторы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Решение нейрона 1	1			1			1			1		
Решение нейрона 2	1			1			1				1	
Решение нейрона 3		1		1			1			1		
Решение нейрона 4	1				1		1			0,8		
Решение нейрона 5	1			1				1		1		
Решение нейрона 6		1		1			1				1	
Решение нейрона 7	1			1				1			1	
Решение нейрона 8			1	1			1			0,9		
Решение нейрона 9	1					1	1			1		
Решение нейрона 10	1			1					1	1		
Решение нейрона 11	1			1			1					1

3. Отображение на экране системы концентрических областей одинакового рейтинга

Наглядное отображение рейтинга объекта на экране основано на попадании точки, соответствующей характеристикам объекта, в некоторую рейтинговую область (рис. 2, см. третью сторону обложки). Однако в этом случае затруднены текстовые комментарии к выводам, объясняющие принимаемые решения о рейтинге, как это показано на рис. 1.

Для построения системы концентрических рейтинговых областей используется плоская, "сплюснутая" по размеру экрана сферическая система координат. Каждая точка характеризуется значением радиуса r и угла φ .

В рейтинговых областях сначала произвольно размещаются точки, которым затем ставятся в соответствие условные объекты-эталоны с численными значениями показателей качества. Так формируются связи "вектор значений показателей качества — сферические координаты точки на экране". В результате нейросе-

тевой обработки испытываемого объекта с его показателями качества в соответствующей ему рейтинговой области формируется точка.

В работе [6] рассмотрен пример возможного банковского мониторинга с помощью концентрических рейтинговых областей. В качестве эталонных банков различного рейтинга там могли использоваться как существующие, так и предполагаемые банки в соответствии с оценкой экспертов. Так как в рассматриваемой постановке задачи не допускается существование действующей сложной системы с низким рейтингом, то за эталоны должны приниматься условные объекты, для которых численные характеристики качества входят в указанные выше интервалы, образуя варианты этих объектов различного рейтинга. Таким образом, множество эталонных объектов различного рейтинга, соответствующих точкам R_1, \dots, R_{13} на экране, строится с помощью логической нейронной сети (см. рис. 1).

Продолжая рассмотрение примера, предположим, что значения характеристик $a_{11} \in [d_{10}, d_{11})$, $a_{21} \in [d_{20}, d_{21})$, $a_{31} \in [d_{30}, d_{31})$, $a_{41} \in [d_{40}, d_{41})$ определяют эталонный вариант 1 исследуемого объекта, которому на экране соответствует точка $R_1(r_1, \varphi_1)$ в области *высокого рейтинга*.

Предположим, что тем же интервалам принадлежат значения характеристик $a_{12}, a_{22}, a_{32}, a_{42}$, определяющие эталонный вариант 2 исследуемого объекта, которому на экране соответствует точка $R_2(r_2, \varphi_2)$ в области *высокого рейтинга*. То же предположим относительно значений характеристик $a_{13}, a_{23}, a_{33}, a_{43}$, определяющих эталонный вариант 3 исследуемого объекта, которому на экране соответствует точка $R_3(r_3, \varphi_3)$ в области *высокого рейтинга*. Для точки $R_4(r_4, \varphi_4)$ предположим, что значение a_{44} характеристики D_4 принадлежит интервалу $[d_{41}, d_{42})$.

Аналогично выбираются значения характеристик качества объекта, принадлежащие диапазонам их изменения, определяющим *средний рейтинг*:

пусть значения $a_{15}, a_{25}, a_{35}, a_{45}$ соответствуют точке $R_5(r_5, \varphi_5)$;

 значения $a_{18}, a_{28}, a_{38}, a_{48}$ соответствуют точке $R_8(r_8, \varphi_8)$.

Таким же образом точками объектов-эталонов $R_9(r_9, \varphi_9) - R_{13}(r_{13}, \varphi_{13})$ наполняется область *низкого рейтинга*. Точке R_9 соответствует набор значений $a_{19}, a_{29}, a_{39}, a_{49}, \dots$, точке R_{13} соответствует набор $a_{1,13}, a_{2,13}, a_{3,13}, a_{4,13}$.

Построенное соответствие векторов характеристик качества объекта точкам различного рейтинга на экране определило содержимое БЗ.

Для формирования логической нейронной сети упорядочим в порядке возрастания все значения $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1,13}$ характеристики D_1 , фигурирующие в выше приведенных построениях. Предположим, что при выборе значений характеристик качества для эталонных точек не допускалось повторение одних и тех же значений. Обозначим в новом порядке полученную возрастающую последовательность $b_{11}, \dots, b_{1,13}$. Выполним такую же операцию над всеми фигурирующими значениями характеристик D_2, D_3, D_4 . Получим возрастающие последовательности $b_{21}, \dots, b_{2,13}$; $b_{31}, \dots, b_{3,13}$; $b_{41}, \dots, b_{4,13}$. Поскольку точки R_1, \dots, R_{13} на рис. 2 выбраны произвольно, представим эти точки их столь же условными, приближительными координатами, необходимыми для несложных расчетов: $R_1(2, 60^\circ)$, $R_2(8, 15^\circ)$, $R_3(7, 210^\circ)$, $R_4(4, 310^\circ)$, $R_5(9, 120^\circ)$, $R_6(13, 20^\circ)$, $R_7(14, 200^\circ)$, $R_8(12, 320^\circ)$, $R_9(16, 120^\circ)$, $R_{10}(16, 30^\circ)$, $R_{11}(16, 330^\circ)$, $R_{12}(15, 230^\circ)$, $R_{13}(17, 170^\circ)$.

За каждым членом совокупной последовательности значений характеристик качества закрепим рецептор (рис. 3). Для данного примера требуется 52 рецептора. Введем 13 нейронов, каждый из которых своим возбуждением указывает на соответствующую точку экрана. Соединим рецепторы, определяющие отдельные точки, с нейронами, соответствующими этим точкам. Тем самым зададим единичные веса связей в полученной логической нейронной сети. Так как пример не отражает реальные показатели качества, на рис. 3 показан лишь возможный вариант связей.

Воспользуемся ранее использованной функцией активации для единичных весов связей. Однако положим $h = 0$, так как для большей точности попадания в "свою" рейтинговую область желательно сравнивать ситуацию (b_1, b_2, b_3, b_4) , рейтинг которой следует определить, с большим числом точек базы знаний.

Алгоритм оценки рейтинга объекта сложной системы

1. Находятся значения показателей качества объекта, представляющие вектор с численными значениями компонентов.
2. Проводится возбуждение рецепторов логической нейронной сети. А именно, для данного испытываемого значения b_i , где i — индекс показателя качества, находится рецептор,

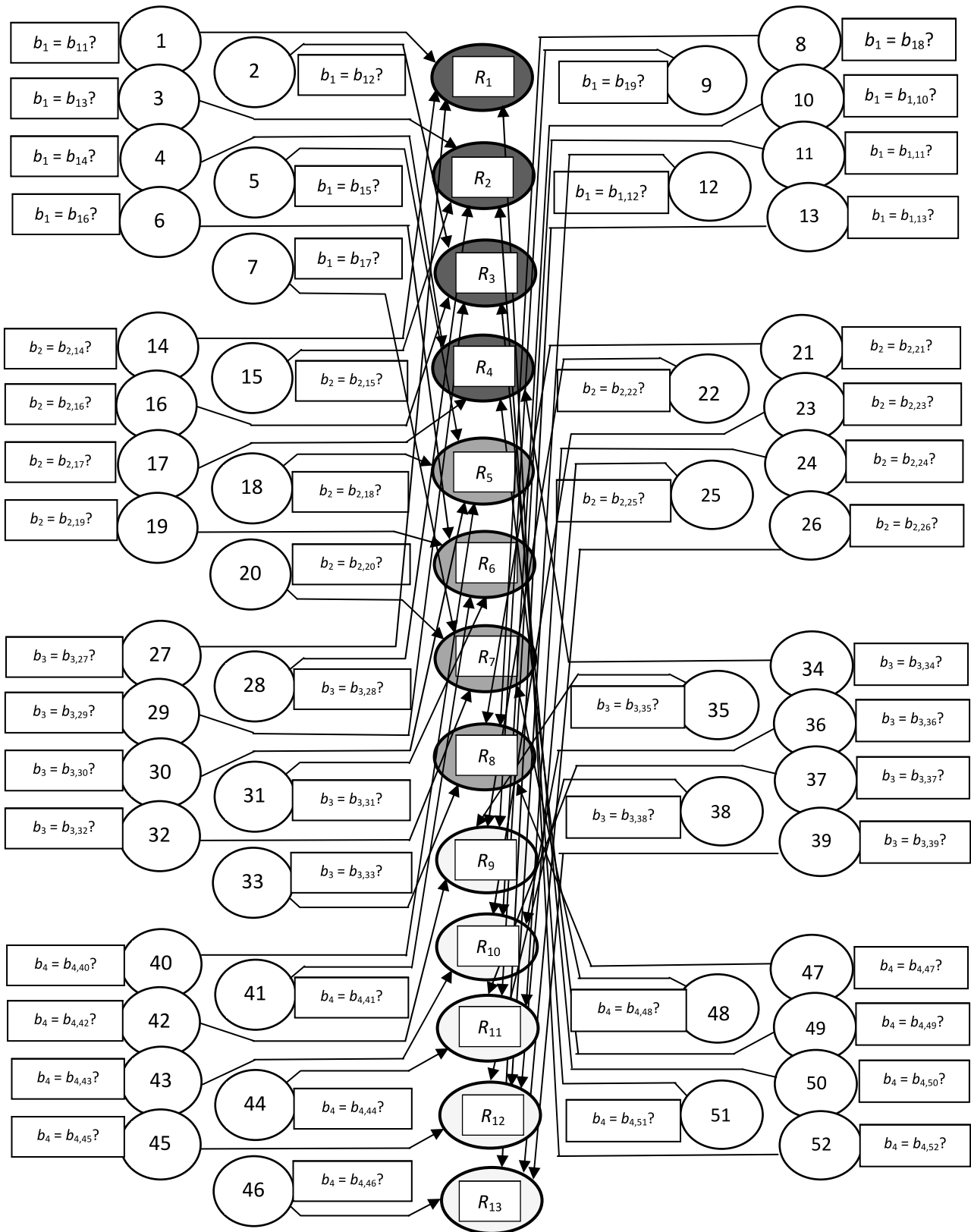


Рис. 3. Логическая нейронная сеть экранной рейтинговой системы

закрепленный за этим значением показателя. Если такой рецептор существует, значение его возбуждения принимается равным единице. Возбуждение других рецепторов данного показателя качества равно нулю. Если такого рецептора нет, находятся два рецептора, закрепленных за меньшим $b_{i\mu}$ и большим $b_{i(\mu+1)}$ значениями относительно b_i . "Единица" распределяется обратно пропорционально "расстоянию" b_i до данных рецепторов, образуя их значения возбуждения: возбуждение $b_{i(\mu+1)}$ принимается равным $(b_i - b_{i\mu}) / (b_{i(\mu+1)} - b_{i\mu})$, а возбуждение $b_{i\mu}$ дополняет это отношение до единицы. Возбуждение других рецепторов данного показателя качества остается нулевым. Так находится возбуждение рецепторов для всех показателей качества (для всех i).

3. С помощью функции активации находится возбуждение всех нейронов, каждый из которых указывает на эталонную точку экрана.

4. Для "возбуждившихся" нейронов находится среднее значение радиуса r и угла φ . В качестве весов в формуле нахождения среднего (математического ожидания) используются значения возбуждения нейронов. (Благодаря выбору сферической системы координат средняя точка не выйдет за пределы рейтинговых областей, которым принадлежат усредняемые точки.)

5. Точка $R(r, \varphi)$ воспроизводится на экране, попав в некоторую область рейтинга объекта.

4. О стратегии повышения качества сложных систем

Тревожное состояние объекта, обусловленное снижением его рейтинга, служит лишь сигналом о необходимости принятия мер по ремонту, замене, модернизации и пр. Меры принимаются комплексно по состоянию всех объектов. Для этого существует или подразумевается шкала важности объектов, определяющая приоритеты при восстановлении или развитии средств сложной системы. Например, предаварийное состояние силового агрегата электростанции требует его ремонта или замены в первую очередь. Однако предаварийное состояние плотины гидроэлектростанции вызывает неотложность мер, ибо прорыв плотины ведет не к аварии, а к катастрофе.

Важную роль здесь играет человеческий фактор, неотделимый от политических, экономических и военных задач. Не следует забывать о приоритетах научных исследований.

Можно сформулировать математическую задачу оптимизации очередности принятия мер по повышению качества на основе важности объектов в условиях финансовых ограничений. Объекты следует выстроить в очередь по важности и по рейтингу и последовательно вычерпывать выделенные финансы затратами на повышение качества объектов. Однако при этом должна учитываться важность самой сложной системы, и математические выкладки вряд ли произведут впечатление на лицо, принимающее решение (ЛПР). Ведь следует учитывать ущерб, наносимый задержкой или полным отсутствием реакции на сигнал о снижении рейтинга объекта.

Таким образом, поиск оптимальной стратегии повышения качества сложной системы после установления рейтинга ее объектов превращается в конкретную, но трудно формализуемую задачу высокой сложности. Это задача о разработке системы принятия решений на основе анализа многих информационно трудно совместимых факторов, характеризующихся нечеткими данными. Представляется, что аппарат логических нейронных сетей направлен именно на разработку таких систем принятия решений.

Заключение

1. Управление качеством сложной системы направлено на своевременное принятие мер по сохранению и развитию высоких показателей многоканального обслуживания и, прежде всего, по удовлетворению высокой пропускной способности и производительности, а также высокой надежности и безопасности.

2. Мониторинг качества обслуживания способствует обоснованию технической политики по разработке базовых средств сложных систем, а также по планированию фундаментальных и прикладных исследований.

3. Большое число факторов, лежащих в основе функционирования сложных систем, их целевое, технологическое и типовое разнообразие, неполная возможность численных оценок превращают задачу управления качеством в трудно формализуемую задачу высокой сложности. При решении подобных задач целесообразно применять такие методы и средства искусственного интеллекта, как логические нейронные сети, с использованием экспертных оценок там, где объективные численные измерения невозможны.

4. Для каждого типа средств, входящих в состав сложной системы, составляется своя рейтинговая система на основе логической нейронной сети. При этом используются характеристики, свойственные данному типу средств: вычислительных, оборонных, энергетических, строительных и транспортных сооружений и т. д.

5. Подчеркнем, что логические нейронные сети строятся обученными, так как реализуют систему принятия решений на основе развиваемой базы знаний (БЗ). Отсутствует этап обучения как основная теоретическая проблема, свойственная "классическим" нейронным сетям. Для начального заполнения БЗ, т. е. для некоторого множества точек факторного пространства (ситуаций) и принимаемых по ним успешных решений, используется накопленный опыт или оценки экспертов.

6. Весьма важно то, что в процессе эксплуатации логической нейронной сети в составе рейтинговой системы эта система (ее база знаний) легко развивается, уточняются веса связей, а решения модифицируются для большей результативности.

7. По установленным экспертами условным весам средств системы и на основе текущих

рейтингов отдельных объектов по формуле нахождения среднего может быть получен *рейтинг сложной системы*. Однако он свидетельствует лишь о качестве работы *этой* системы и не может служить абсолютной мерой качества при сравнении с другими, даже аналогичными системами, в том числе с системой "идеальной". Ведь все системы обладают своей целевой функцией!

Список литературы

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 400 с.
2. Шаракшанэ А. С., Железнов И. Г., Ивницкий В. А. Сложные системы. М.: Высшая школа, 1977. 246 с.
3. Шаракшанэ А. С., Халецкий А. К., Морозов И. А. Оценка характеристик сложных автоматизированных систем. М.: Машиностроение, 1993. 272 с.
4. Григоренко В. М., Мельник Д. И. Основные проблемы моделирования систем и средств воздушно-космической обороны на основе перспективных информационных технологий // Военная мысль. 2015. № 6. С. 62—67.
5. Барский А. Б., Железнов Б. В., Шаменков Н. А. Высоконадежные управляющие компьютерные сети с нейросетевой адаптивной маршрутизацией на базе перспективных моделей серии "Эльбрус" // Информационные технологии. 2018. Т. 24, № 5. С. 291—299.
6. Барский А. Б. Нейросетевые методы оптимизации решений. СПб.: ИЦ "Интермедия", 2016. 312 с.

A. B. Barsky, D. Sc., Professor, e-mail: arkbarsk@mail.ru,

D. I. Melnik, Ph. D., Senior Researcher, e-mail: mdi_dim@mail.ru,

A. V. Reshetnikov, Ph. D., Associate Professor, e-mail: andyresh2014@yandex.ru,

Scientific Research Institute (Moscow) Central Research Institute VVKO, Ministry of Defense of Russia

Neural Network Methods of Quality Management during the Modernization and Development of Complex Systems in the Context of Financial and Technological Constraints

A complex queuing system is considered, as a complex of interacting tools that solve a common problem in accordance with the objective function and with the required values of the service parameters. The objective function displays the specific purpose of a complex system with the required values of the main service parameters in accordance with the terms of reference for its development. Concerning the values of these parameters, the condition of their maximization or minimization can be specified. Modernization of the system counteracts two main processes of degradation: "physical" aging and moral aging. However, during the operation of a complex system, structural defects of facilities and their controls, as well as software errors, may be revealed. In the general case, complex systems have a centralized management body and form a centralized network, the nodes of which display individual objects. The concept of object rating is introduced, which reflects the degree of its participation in providing high quality of a complex system. For each type of objects, using the suggestions of experts, a rating system is built on the logical neural network. With its help, the monitoring results determine the current rating of the object. If the rating has fallen below acceptable, the object claims to be repaired, replaced, upgraded, etc. In the conditions of financial and technological constraints, the optimal decision on many objects is made on the basis of the scale of their importance.

Keywords: complex system, object, degradation, object rating, logical neural network, rating system, scale of importance

DOI: 10.17587/it.25.107-116

References

1. **Buslenko N. P.** *Modelirovanie slozhnykh sistem* (Modeling complex systems), Moscow, Nauka, 1978, 400 p. (in Russian).
2. **Sharakhshane A. S., Zheleznov I. G., Ivnickij V. A.** *Slozhnye sistemy* (Complex systems), Moscow, Vysshaya shkola, 1977, 246 p. (in Russian).
3. **Sharakhshane A. S., Haleckij A. K., Morozov I. A.** *Ocenka harakteristik slozhnykh avtomatizirovannykh sistem* (Evaluation of the characteristics of complex automated systems), Moscow, Mashinostroenie, 1993, 272 p. (in Russian).
4. **Grigorenko V. M., Mel'nik D. I.** *Osnovnye problemy modelirovaniya sistem i sredstv vozdushno-kosmicheskoy oborony na osnove perspektivnykh informacionnykh tehnologij* (The main problems of modeling systems and means of aerospace defense based on advanced information technologies), *Voennaya mysl'*, 2015, no. 6, pp. 62–67 (in Russian).
5. **Barskij A. B., Zhelenkov B. V., Shamenkov N. A.** *Vysokonadyyozhnyye upravlyayushhie komp'yuternye seti s nejrosetevoj adaptivnoj marshrutizaciej na baze perspektivnykh modelej serii "El'brus"* (Highly reliable control computer networks with neural network adaptive routing based on promising models of the Elbrus series), *Informacionnye Tehnologii*, 2018, vol. 24, no. 5, pp. 291–299 (in Russian).
6. **Barskij A. B.** *Nejrosetevye metody optimizacii reshenij* (Neural network methods for optimizing solutions), SPb, IC "Intermediya", 2016, 312 p. (in Russian).

УДК 004.023, 004.8

DOI: 10.17587/it.25.116-127

О. С. Амосов, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр., e-mail: osal18@yandex.ru,
С. Г. Амосова, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр., e-mail: amosovasg@yandex.ru,
Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН,
Ю. С. Иванов, канд. техн. наук, доц., e-mail: ivanov_ys@icloud.com,
С. В. Жиганов, аспирант, e-mail: zhiganov@knastu.ru,
Комсомольский-на-Амуре государственный университет

Моделирование интеллектуальной системы контроля и управления доступом транспортных средств с использованием глубоких нейронных сетей¹

Разработана математическая модель интеллектуальной системы контроля и управления доступом транспортных средств на некоторую территорию. Предложено выполнение локализации транспортного средства с помощью глубокой нейронной сети YOLO, что позволяет дополнительно определить тип объекта доступа. Решение задачи локализации и распознавания номерного знака основано на композиции традиционных методов обработки изображений и двухпроходной классификации, выполняемой модифицированной архитектурой сверточной нейронной сети MobileNet. Экспериментально доказано, что применение разработанного подхода дает процент правильных распознаваний номерных знаков на видеопотоке не ниже 96 % в зависимости от внешних условий. Комплекс программ реализован на языке Python.

Ключевые слова: математическая модель, система контроля и управления доступом, транспортное средство, локализация, распознавание, сверточная нейронная сеть, MobileNet

Введение

Современная система контроля и управления доступом (СКУД) транспортных средств (ТС) на охраняемую территорию должна обеспечивать их идентификацию и ограничение доступа. Основные визуальные признаки, описывающие объект доступа (ОД) — автомобиль:

цвет и тип кузова; марка, модель; категория и номерной знак (НЗ).

В работе [1] в качестве идентификационных признаков ТС предлагается использовать информацию о цвете автомобиля, однако такой подход затруднен в вечернее и ночное время, когда камера наблюдения переходит в черно-белый режим.

Авторами [2] предлагается метод распознавания марки и модели в условиях ограниченного освещения в ночное время. Но такой метод не может быть применен в СКУД как основной классификатор.

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России научного проекта — госзадания в рамках проектной части № 2.1898.2017/4.6 "Создание математического и алгоритмического обеспечения интеллектуальной информационно-телекоммуникационной системы безопасности вуза".