

Выводы

Научная новизна и практическая значимость. Мы показали, что использование обычного варианта метода последовательных приближений дает возможность построить достаточно хорошее приближение к точному решению, и этот вариант может быть успешно использован, когда не удастся построить конусный отрезок. Однако считаем, что возможности построить итерационный процесс следует отдавать предпочтение, так как в этом случае исследователь может следить за точностью приближенного решения.

Список литературы: 1. *Yao Qingliu.* Iteration of positive solution for a second-order ordinary differential equations with change of sign. *Ann. Of Deff. Eqs.* 18:4(2002).410-416p. 2. *Красносельский М.Н.* Положительные решения операторных уравнений. М.: Наука, 1962. 201с. 3. *Свирский И.В.* Методы типов Бубнова-Галеркина и последовательных приближений. М.: Наука, 1968. 199 с.

Поступила в редколлегию 17.02.2007

Колосова Светлана Васильевна, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры ПМ ХНУРЭ. Научные интересы: методы решения нелинейных и линейных краевых задач. Увлечения и хобби: искусство и литература. Адрес: Украина, 61099, Харьков, пр. Московский, 254-а, кв. 28, дом. тел. 94-81-42, раб. тел. 70-21-436.

Добринская Александра Геннадиевна, студентка гр. ПМс-06-1 факультета ПММ ХНУРЭ. Научные интересы: методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Увлечения и хобби: театр и спорт. Адрес: Украина, 61146, Харьков, ул. Ак. Павлова, 140, кв. 330, дом. тел. 68-48-32.

УДК 681.32:519.713

Г.Ф. КРИВУЛЯ, ХАБИС А.А. ЗИДАТ

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЙ

Рассматривается процесс анализа и оптимизации продукционных экспертных систем, способных поставить диагноз любому гипотетически возможному состоянию компьютерной техники. Показывается, что для этой цели можно использовать бинарные отношения, заданные на множестве состояний объекта диагностирования. Эффективность предлагаемого подхода доказывается формально.

1. Актуальность исследования

Технические методы диагностики компьютерных систем и сетей могут успешно применяться только тогда, когда удастся построить формальную модель составных частей компьютерной системы или сети [1]. Однако в процессе диагностики часто приходится прибегать к услугам экспертов, знающих те или иные трудно формализуемые особенности компьютерных систем и сетей [2-4]. Для сохранения и использования знаний экспертов в процессе диагностики эффективным является применение экспертных систем, которые способны быстро диагностировать любое состояние компьютерной системы или сети [5]. Центральным вопросом построения экспертных систем является выбор формы представления знаний – способа формального выражения знаний о предметной области [6-8]. Форма представления знаний оказывает существенное влияние на характеристики и свойства экспертной системы, поэтому представление знаний – одна из наиболее важных проблем, характерных для экспертных систем [9-11]. Следовательно, актуальным является дальнейшее развитие методов диагностики компьютерных систем и сетей, направленное на повышение эффективности процесса диагностирования путем усовершенствования способов представления знаний экспертов в экспертных системах реального времени и их аппаратной реализации [12-15].

2. Цель работы и постановка задачи

Целью данной работы является развитие методов диагностики компьютерных систем и сетей, направленное на повышение эффективности процесса диагностирования путем усовершенствования способов представления знаний экспертов в экспертных системах реального времени. Для достижения сформулированной цели необходимо, в частности, разработать метод анализа продукционных экспертных систем на способность постановки диагноза любому состоянию компьютерной системы или сети.

3. Решение задачи

Пусть компьютерная система S характеризуется множеством $A = \{a_n\}_{n=1}^N$ параметров, где a_n – n -й параметр системы S , N – количество параметров системы S . Обозначим через $a_n = \{a_{n,m}\}_{m=1}^{M(n)}$ множество значений параметра a_n системы S , где $a_{n,m}$ – m -е значение n -го параметра системы S , $M(n)$ – количество значений n -го параметра системы S .

Пусть $D = \{d_k\}_{k=0}^K$ – множество диагнозов, которые могут быть поставлены системе S , где d_k – k -й диагноз, который можно поставить системе S , d_0 – «система S исправна», d_k – «у системы S неисправность k -го типа» ($k = \overline{1, K}$), K – количество неисправностей системы S .

Пусть база знаний продукционной экспертной системы реального времени, способной поставить диагноз любому состоянию системы S , состоит из следующего множества $P = \{p_q\}_{q=1}^Q$ продукций, где p_q – q -я продукция, Q – количество продукций.

Для анализа этого множества p продукций эксперту, знания которого зафиксированы в базе знаний, можно задать следующие вопросы: какое значение параметра a_n более характерно для диагноза d_k ($n = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, K}$).

Пусть эксперт-диагност ответил, что значение $a_{n,i}$ параметра a_n более характерно для диагноза d_k , чем $a_{n,j}$ ($n = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, K}$; $i, j = \overline{1, M(n)}$; $i \neq j$). Обозначим это через $a_{n,i} >^k a_{n,j}$. Ответы на эти вопросы позволяют построить бинарное отношение характерности значений параметра a_n для диагноза d_k :

$$r_{n,k} = \{(a_{n,i}; a_{n,j}) \mid a_{n,i} >^k a_{n,j}; n = \overline{1, N}; k = \overline{1, K}\}.$$

Декартово произведение $C = a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n \times \dots \times a_N$ множеств значений параметров компьютерной системы S представляет собой множество всех гипотетически возможных ее состояний. Таким образом, состояние системы S характеризуется вектором $c = (c_1, \dots, c_n, \dots, c_N)$, где $c_n \in a_n$.

На основе отношений $r_{n,k}$ ($n = \overline{1, N}$) можно построить бинарное отношение характерности всех гипотетически возможных состояний компьютерной системы S для диагноза d_k :

$$r_k = \{(c^1; c^2) \mid \forall n = \overline{1, N} \Rightarrow c_n^1 \geq c_n^2; \exists n_0 = \overline{1, N} : c_{n_0}^1 >^k c_{n_0}^2\}.$$

Чтобы произвести анализ базы знаний, каждому состоянию $c^i \in C$ ставится в соответствие множество V_i^+ – номеров диагнозов, которые могут быть поставлены состоянию c^i , и множество V_i^- номеров диагнозов, которые не могут быть поставлены состоянию c^i ($V_i^+, V_i^- \subset \{1, 2, \dots, K\}$; $V_i^+ \cap V_i^- = \emptyset$).

До начала анализа для любого состояния $c^i \in C$ будет $V_i^+ = V_i^- = \emptyset$. Состояние c^i считается полностью проанализированным, если $V_i^+ \cup V_i^- = \{1, 2, \dots, K\}$. Множество полностью проанализированных состояний обозначим через C_0 . Процесс анализа заканчивается, когда $C_0 = C$.

Если состоянию $c^i \in C$ будет поставлен диагноз d_k , то и более характерным для диагноза d_k состояниям из множества $W_{i,k}^+ = \{c^j \in C \mid (c^j; c^i) \in r_k; k \notin V_j^+\}$ также должен быть поставлен диагноз d_k . Аналогично, если состоянию $c^i \in C$ не будет поставлен диагноз d_k , то и менее характерным для диагноза d_k состояниям из множества $W_{i,k}^- = \{c^j \in C \mid (c^i; c^j) \in r_k; k \notin V_j^-\}$ также не должен быть поставлен диагноз d_k . Информативностью состояния $c^i \in C$ относительно диагноза d_k называется число $f_{i,k} = \min\{|W_{i,k}^+|, |W_{i,k}^-|\}$. Информативностью состояния $c^i \in C$ называется число $f_i = \sum_{k=1}^K f_{i,k}$ [5].

Пусть $f_{i_0} = \max_{c^i \in C \setminus C_0} f_i$. Тогда самым информативным будет состояние $c^{i_0} \in C$. Пусть $P_{i_0,k}$ – множество продукций, с помощью которых состоянию c^{i_0} ставится диагноз d_k ($k = \overline{1, K}$).

Лемма 1. Любому состоянию из множества $W_{i_0,k}^+$ диагноз d_k можно поставить, используя только множество продукций $P_{i_0,k}$ и отношение r_k ($k = \overline{1, K}$).

Доказательство. Рассмотрим произвольное состояние $c \in W_{i_0,k}^+$. Используя отношение $(c; c^{i_0}) \in r_k$, перейдем к менее характерному состоянию c^{i_0} . Состоянию c^{i_0} можно поставить диагноз d_k , используя только множество продукций $P_{i_0,k}$, что и требовалось доказать.

Таким образом, для каждого состояния $c^j \in W_{i_0,k}^+$ к его множеству V_j^+ добавляется элемент k .

Лемма 2. Любому состоянию из множества $W_{i_0,k}^-$ ($k \in V_{i_0}^-$) не должен быть поставлен диагноз d_k . Для получения этого результата достаточно использовать только отношение r_k .

Доказательство. Рассмотрим произвольное состояние $c \in W_{i_0,k}^-$ ($k \in V_{i_0}^-$). Используя отношение $(c^{i_0}; c) \in r_k$, перейдем к более характерному состоянию c^{i_0} . Состоянию c^{i_0} нельзя поставить диагноз d_k , что и требовалось доказать.

Таким образом, для каждого состояния $c^j \in W_{i_0,k}^-$ к его множеству V_j^- добавляется элемент k .

Далее необходимо найти следующее самое информативное состояние $c^{i_1} \in C$, для каждого состояния $c^j \in W_{i_1,k}^+$ к множеству V_j^+ добавить элемент k и для каждого состояния $c^j \in W_{i_1,k}^-$ к множеству V_j^- добавить элемент k .

Этот процесс будет повторяться, пока $C_0 \neq C$. Процесс заканчивается, когда $C_0 = C$.

Рассмотрим полученную последовательность $C_U = (c^{i_0}, c^{i_1}, \dots, c^{i_u}, \dots, c^{i_U})$ самых информативных состояний. Рассмотрим множество продукций $P_{\min} = \bigcup_{u=0}^U \bigcup_{k \in V_{i_u}^+} P_{i_u, k}$ ($P_{\min} \subset P$) и

множество отношений $R = \{r_k\}_{k=1}^K$.

Теорема. Любому состоянию из множества C диагноз из множества D можно поставить, используя только множества P_{\min} и R .

Доказательство. Рассмотрим произвольное состояние $c^j \in C$. Если $c^j \in C_U$, то этому состоянию можно поставить диагноз d_k , используя только множество продукций $P_{j, k}$ (при $k \in V_j^+$), и не должен быть поставлен диагноз d_k при $k \in V_j^-$.

Теперь рассмотрим состояние $c^j \notin C_U$ и произвольный диагноз d_k . Если существует такое состояние $c^{i_u} \in C_U$, что $c^j \in W_{i_u, k}^+$, то, согласно лемме 1, состоянию c^j диагноз d_k можно поставить, используя только множество продукций $P_{i_u, k}$ и отношение r_k . Если существует такое состояние $c^{i_u} \in C_U$, что $c^j \in W_{i_u, k}^-$, то, согласно лемме 2, состоянию c^j не должен быть поставлен диагноз d_k , и для получения этого результата достаточно использовать только отношение r_k , что и требовалось доказать.

4. Пример

Пусть компьютерная система S характеризуется тремя параметрами a , b и c . Параметр a может принимать три значения: a_1, a_2, a_3 . Параметр b может принимать три значения: b_1, b_2, b_3 . Параметр c может принимать два значения: c_1, c_2 . Пусть множество D значений диагноза, который может быть поставлен системе S , состоит из трех элементов:

d_0 – система S исправна;

d_1 – у системы S неисправность одного типа;

d_2 – у системы S неисправность другого типа.

База знаний продукционной экспертной системы реального времени, способная поставить диагноз любому состоянию системы S , может состоять из следующего множества R продукций:

p_1 – «Если $a = a_1, b = b_1$ и $c = c_1$, то $d = d_1$ »;

p_2 – «Если $a = a_1, b = b_1$ и $c = c_2$, то $d = d_1$ »;

p_3 – «Если $a = a_1, b = b_2$ и $c = c_1$, то $d = d_0$ »;

p_4 – «Если $a = a_1, b = b_2$ и $c = c_2$, то $d = d_0$ »;

p_5 – «Если $a = a_1, b = b_3$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ »;

p_6 – «Если $a = a_1, b = b_3$ и $c = c_2$, то $d = d_2$ »;

p_7 – «Если $a = a_2, b = b_1$ и $c = c_1$, то $d = d_1$ »;

p_8 – «Если $a = a_2, b = b_1$ и $c = c_2$, то $d = d_1$ »;

p_9 – «Если $a = a_2, b = b_2$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ »;

p_{10} – «Если $a = a_2, b = b_2$ и $c = c_2$, то $d = d_2$ »;

p_{11} – «Если $a = a_2, b = b_3$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ »;

p_{12} – «Если $a = a_2, b = b_3$ и $c = c_2$, то $d = d_2$ »;

- p_{13} – «Если $a = a_3, b = b_1$ и $c = c_1$, то $d = d_1$ »;
- p_{14} – «Если $a = a_3, b = b_1$ и $c = c_2$, то $d = d_1$ »;
- p_{15} – «Если $a = a_3, b = b_2$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ »;
- p_{16} – «Если $a = a_3, b = b_2$ и $c = c_2$, то $d = d_2$ »;
- p_{17} – «Если $a = a_3, b = b_3$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ »;
- p_{18} – «Если $a = a_3, b = b_3$ и $c = c_2$, то $d = d_2$ ».

Для анализа этого множества P продукций эксперту, знания которого зафиксированы в базе знаний, можно задать следующие шесть вопросов:

- какое значение параметра a более характерно для диагноза d_1 ;
- какое значение параметра b более характерно для диагноза d_1 ;
- какое значение параметра c более характерно для диагноза d_1 ;
- какое значение параметра a более характерно для диагноза d_2 ;
- какое значение параметра b более характерно для диагноза d_2 ;
- какое значение параметра c более характерно для диагноза d_2 .

Пусть эксперт-диагност ответил, что:

- значение a_1 параметра a более характерно для диагноза d_1 , чем значение a_2 . Самым нехарактерным значением параметра a для диагноза d_1 является значение a_3 ;
- значение b_1 параметра b более характерно для диагноза d_1 , чем значение b_2 , которое, в свою очередь, более характерно для диагноза d_1 , чем значение b_3 ;
- значение c_1 параметра c более характерно для диагноза d_1 , чем значение c_2 ;
- значение a_3 параметра a более характерно для диагноза d_2 , чем значение a_2 . Самым нехарактерным значением параметра a для диагноза d_2 является значение a_1 ;
- значение b_3 параметра b более характерно для диагноза d_2 , чем значение b_2 , которое, в свою очередь, более характерно для диагноза d_2 , чем значение b_1 ;
- значение c_2 параметра c более характерно для диагноза d_2 , чем значение c_1 .

Эти бинарные отношения $r_{a,1}$ и $r_{a,2}$ характерности значений параметра a для диагнозов d_1 и d_2 соответственно; бинарные отношения $r_{b,1}$ и $r_{b,2}$ характерности значений параметра b для диагнозов d_1 и d_2 соответственно и, наконец, бинарные отношения $r_{c,1}$ и $r_{c,2}$ характерности значений параметра c для диагнозов d_1 и d_2 соответственно можно представить графически так, как показано на рис. 1.

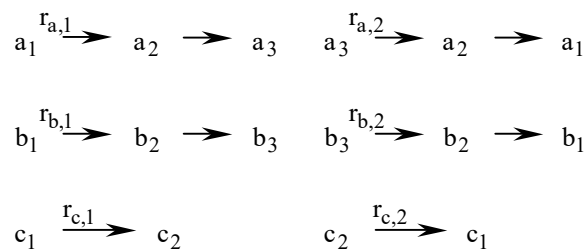


Рис. 1. Характерности значений параметров

На рис. 1 стрелки направлены от более характерных значений параметров a, b и c для диагнозов d_1 и d_2 к менее характерным значениям.

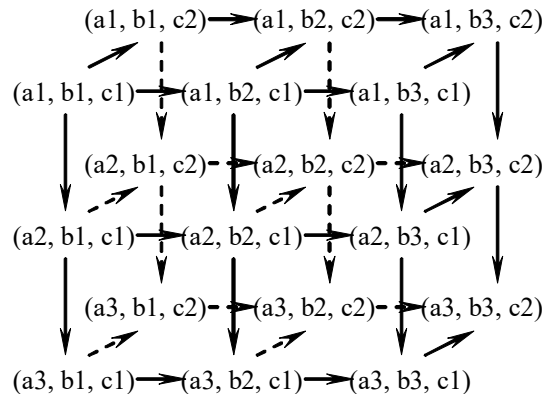


Рис. 2. Характеристики состояний для d_1

Эти ответы эксперта-диагноста позволяют на основе отношений $r_{a,1}$, $r_{b,1}$ и $r_{c,1}$ построить бинарное отношение r_1 характеристики всех гипотетически возможных состояний компьютерной системы S для диагноза d_1 так, как это показано на рис. 2.

Также ответы эксперта-диагноста позволяют на основе отношений $r_{a,2}$, $r_{b,2}$ и $r_{c,2}$ построить бинарное отношение r_2 характеристики всех гипотетически возможных состояний компьютерной системы S для диагноза d_2 так, как это показано на рис. 3.

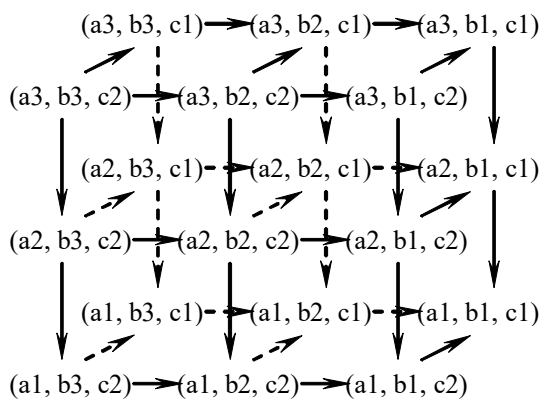


Рис. 3. Характеристики состояний для d_2

Таблица 1. Информативность состояний (шаг 1)

Состояние	Информативность		
	отн. d_1	отн. d_2	сумма
(a_1, b_1, c_1)	0	0	0
(a_1, b_1, c_2)	1	1	2
(a_1, b_2, c_1)	1	1	2
(a_1, b_2, c_2)	3	3	6
(a_1, b_3, c_1)	2	2	4
(a_1, b_3, c_2)	2	2	4
(a_2, b_1, c_1)	1	1	2
(a_2, b_1, c_2)	3	3	6
(a_2, b_2, c_1)	3	3	6
(a_2, b_2, c_2)	3	3	6
(a_2, b_3, c_1)	3	3	6
(a_2, b_3, c_2)	1	1	2
(a_3, b_1, c_1)	2	2	4
(a_3, b_1, c_2)	2	2	4
(a_3, b_2, c_1)	3	3	6
(a_3, b_2, c_2)	1	1	2
(a_3, b_3, c_1)	1	1	2
(a_3, b_3, c_2)	0	0	0

Для анализа базы знаний необходимо предъявить ей для диагностики некоторое состояние компьютерной системы S . Состояния имеют разную степень информативности относительно диагноза – разное количество состояний, косвенно диагностируемых относительно данного диагноза при явном предъявлении состояния.

Например, если состоянию (a_2, b_2, c_1) будет поставлен диагноз d_1 , то и более характерным для диагноза d_1 состояниям (a_1, b_2, c_1) , (a_2, b_1, c_1) и (a_1, b_1, c_1) также должен быть поставлен диагноз d_1 . Аналогично, если состоянию (a_2, b_2, c_1) не будет поставлен диагноз d_1 , то и менее характерным для диагноза d_1 состояниям (a_3, b_2, c_1) , (a_2, b_3, c_1) , (a_3, b_3, c_1) , (a_2, b_2, c_2) , (a_3, b_2, c_2) , (a_2, b_3, c_2) и (a_3, b_3, c_2) также не должен быть поставлен диагноз d_1 .

Таблица 2. Результаты диагностики (a_1, b_2, c_2)

Состояние	Диагноз	
	d_1	d_2
(a_1, b_1, c_1)		нет
(a_1, b_1, c_2)		нет
(a_1, b_2, c_1)		нет
(a_1, b_2, c_2)	нет	нет
(a_1, b_3, c_1)		
(a_1, b_3, c_2)	нет	
(a_2, b_1, c_1)		
(a_2, b_1, c_2)		
(a_2, b_2, c_1)		
(a_2, b_2, c_2)	нет	
(a_2, b_3, c_1)		
(a_2, b_3, c_2)	нет	
(a_3, b_1, c_1)		
(a_3, b_1, c_2)		
(a_3, b_2, c_1)		
(a_3, b_2, c_2)	нет	
(a_3, b_3, c_1)		
(a_3, b_3, c_2)	нет	

Таблица 3. Информативность состояний (шаг 2)

Состояние	Информативность		
	отн. d_1	отн. d_2	сумма
(a_1, b_1, c_1)	0	0	0
(a_1, b_1, c_2)	1	0	1
(a_1, b_2, c_1)	1	0	1
(a_1, b_2, c_2)	0	0	0
(a_1, b_3, c_1)	2	0	2
(a_1, b_3, c_2)	0	0	0
(a_2, b_1, c_1)	1	0	1
(a_2, b_1, c_2)	1	1	2
(a_2, b_2, c_1)	3	1	4
(a_2, b_2, c_2)	0	3	3
(a_2, b_3, c_1)	1	3	4
(a_2, b_3, c_2)	0	1	1
(a_3, b_1, c_1)	2	1	3
(a_3, b_1, c_2)	0	2	2
(a_3, b_2, c_1)	1	3	4
(a_3, b_2, c_2)	0	1	1
(a_3, b_3, c_1)	0	1	1
(a_3, b_3, c_2)	0	0	0

Информативность состояния относительно диагноза зависит от ответа эксперта (базы знаний). В любом случае можно гарантировать минимум информативности из двух возможных ответов эксперта. В данном примере – минимум из 3 и 7. Этот минимум (3) и можно считать степенью информативности состояния (a_2, b_2, c_1) относительно диагноза d_1 .

Информативность состояния определяется суммой его информативностей относительно каждого диагноза. Таким образом, для быстрого анализа базы знаний необходимо предъявить ей для диагностики самое информативное в данный момент состояние компьютерной системы S . Информативность всех состояний в рассматриваемом примере показана в табл. 1.

Пусть для диагностики выбрано состояние (a_1, b_2, c_2) .

В базе знаний продукционной экспертной системы реального времени, способной поставить диагноз любому состоянию системы S , есть продукция p_4 – «Если $a = a_1$, $b = b_2$ и $c = c_2$, то $d = d_0$ ».

Таким образом, состояние (a_1, b_2, c_2) оказалось исправным. Поэтому ему нельзя поставить диагноз d_1 . Следовательно, и менее характерным для диагноза d_1 состояниям (a_2, b_2, c_2) , (a_3, b_2, c_2) , (a_1, b_3, c_2) , (a_2, b_3, c_2) и (a_3, b_3, c_2) тоже нельзя поставить диагноз d_1 .

Заметим, что, хотя информативность состояния (a_1, b_2, c_2) относительно диагноза d_1 равна 3, полученный ответ эксперта оказался более информативным, чем ожидалось в самом плохом случае, и позволил косвенно классифицировать 5 состояний.

Рассуждая аналогично, получаем, что состоянию (a_1, b_2, c_2) нельзя поставить диагноз d_2 . Следовательно, и менее характерным для диагноза d_2 состояниям (a_1, b_2, c_1) , (a_1, b_1, c_2) и (a_1, b_1, c_1) тоже нельзя поставить диагноз d_2 .

Результаты диагностики состояния (a_1, b_2, c_2) показаны в табл. 2.

Далее необходимо пересчитать информативность всех еще не диагностированных состояний (табл. 3).

Пусть для диагностики выбрано состояние (a_2, b_2, c_1) .

В базе знаний продукционной экспертной системы реального времени, способной поставить диагноз любому состоянию системы S , есть продукция p_9 – «Если $a = a_2$, $b = b_2$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ ».

Таким образом, система S в состоянии (a_2, b_2, c_1) характеризуется неисправностью d_2 . При этом ей нельзя поставить диагноз d_1 . Следовательно, и менее характерным для ди-

агноза d_1 состояниям (a_3, b_2, c_1) , (a_2, b_3, c_1) и (a_3, b_3, c_1) нельзя поставить диагноз d_1 .

Рассуждая аналогично, получаем, что и более характерным для диагноза d_2 состояниям (a_2, b_2, c_2) , (a_3, b_2, c_2) , (a_3, b_2, c_1) , (a_2, b_3, c_1) , (a_2, b_3, c_2) , (a_3, b_3, c_2) и (a_3, b_3, c_1) уже можно поставить диагноз d_2 .

Таким образом, хотя информативность состояния (a_2, b_2, c_1) относительно диагноза d_2 равна 1, полученный ответ эксперта оказался более информативным, чем ожидалось в самом плохом случае, и позволил косвенно классифицировать 7 состояний.

Результаты диагностики состояния (a_2, b_2, c_1) показаны в табл. 4.

Далее опять надо пересчитать информативность всех еще не диагностированных состояний (табл. 5).

Пусть для диагностики выбрано состояние (a_2, b_1, c_2) .

В базе знаний продукционной экспертной системы реального времени, способной поставить диагноз любому состоянию системы S , есть продукция p_8 – «Если $a = a_2, b = b_1$ и $c = c_2$, то $d = d_1$ ».

Таким образом, система S в состоянии (a_2, b_1, c_2) характеризуется неисправностью d_1 . Следовательно, и более характерным для диагноза d_1 состояниям (a_2, b_1, c_1) , (a_1, b_1, c_1) и (a_1, b_1, c_2) тоже можно поставить диагноз d_1 .

Хотя информативность состояния (a_2, b_1, c_2) относительно диагноза d_1 равна 1, полученный ответ эксперта оказался более информативным, чем ожидалось в самом плохом случае, и позволил косвенно классифицировать 3 состояния.

Рассуждая аналогично, получаем, что и менее характерному для диагноза d_2 состоянию (a_2, b_1, c_1) тоже нельзя поставить диагноз d_2 .

Результаты диагностики состояния (a_2, b_1, c_2) показаны в таблице 6.

Если теперь пересчитать информативность всех еще не диагностированных состояний, то выяснится, что все они равны 0. Поэтому можно выбрать для диагностики любое оставшееся еще не диагностированное состояние.

Пусть для диагностики выбрано состояние (a_1, b_2, c_1) .

В базе знаний есть продукция p_3 – «Если $a = a_1, b = b_2$ и $c = c_1$, то $d = d_0$ ».

Таким образом, система S в состоянии (a_1, b_2, c_1) не характеризуется неисправностью d_1 . Следовательно, и менее характерному для диагноза d_1 состоянию (a_1, b_3, c_1) тоже нельзя поставить диагноз d_1 .

Таблица 4. Результаты диагностики (a_2, b_2, c_1)

Состояние	Диагноз	
	d_1	d_2
(a_1, b_1, c_1)		нет
(a_1, b_1, c_2)		нет
(a_1, b_2, c_1)		нет
(a_1, b_2, c_2)	нет	нет
(a_1, b_3, c_1)		
(a_1, b_3, c_2)	нет	
(a_2, b_1, c_1)		
(a_2, b_1, c_2)		
(a_2, b_2, c_1)	нет	да
(a_2, b_2, c_2)	нет	да
(a_2, b_3, c_1)	нет	да
(a_2, b_3, c_2)	нет	да
(a_3, b_1, c_1)		
(a_3, b_1, c_2)		
(a_3, b_2, c_1)	нет	да
(a_3, b_2, c_2)	нет	да
(a_3, b_3, c_1)	нет	да
(a_3, b_3, c_2)	нет	да

Таблица 5. Информативность состояний (шаг 3)

Состояние	Информативность		
	отн. d_1	отн. d_2	сумма
(a_1, b_1, c_1)	0	0	0
(a_1, b_1, c_2)	1	0	1
(a_1, b_2, c_1)	1	0	1
(a_1, b_2, c_2)	0	0	0
(a_1, b_3, c_1)	0	0	0
(a_1, b_3, c_2)	0	0	0
(a_2, b_1, c_1)	1	0	1
(a_2, b_1, c_2)	1	1	2
(a_2, b_2, c_1)	0	0	0
(a_2, b_2, c_2)	0	0	0
(a_2, b_3, c_1)	0	0	0
(a_2, b_3, c_2)	0	0	0
(a_3, b_1, c_1)	1	1	2
(a_3, b_1, c_2)	0	0	0
(a_3, b_2, c_1)	0	0	0
(a_3, b_2, c_2)	0	0	0
(a_3, b_3, c_1)	0	0	0
(a_3, b_3, c_2)	0	0	0

Таблица 6. Результаты диагностики (a_2, b_1, c_2)

Состояние	Диагноз	
	d_1	d_2
(a_1, b_1, c_1)	да	нет
(a_1, b_1, c_2)	да	нет
(a_1, b_2, c_1)		нет
(a_1, b_2, c_2)	нет	нет
(a_1, b_3, c_1)		
(a_1, b_3, c_2)	нет	
(a_2, b_1, c_1)	да	нет
(a_2, b_1, c_2)	да	нет
(a_2, b_2, c_1)	нет	да
(a_2, b_2, c_2)	нет	да
(a_2, b_3, c_1)	нет	да
(a_2, b_3, c_2)	нет	да
(a_3, b_1, c_1)		
(a_3, b_1, c_2)		
(a_3, b_2, c_1)	нет	да
(a_3, b_2, c_2)	нет	да
(a_3, b_3, c_1)	нет	да
(a_3, b_3, c_2)	нет	да

Таблица 7. Итоговые результаты диагностики

Состояние	Диагноз	
	d_1	d_2
(a_1, b_1, c_1)	да	нет
(a_1, b_1, c_2)	да	нет
(a_1, b_2, c_1)	нет	нет
(a_1, b_2, c_2)	нет	нет
(a_1, b_3, c_1)	нет	да
(a_1, b_3, c_2)	нет	да
(a_2, b_1, c_1)	да	нет
(a_2, b_1, c_2)	да	нет
(a_2, b_2, c_1)	нет	да
(a_2, b_2, c_2)	нет	да
(a_2, b_3, c_1)	нет	да
(a_2, b_3, c_2)	нет	да
(a_3, b_1, c_1)	да	нет
(a_3, b_1, c_2)	да	нет
(a_3, b_2, c_1)	нет	да
(a_3, b_2, c_2)	нет	да
(a_3, b_3, c_1)	нет	да
(a_3, b_3, c_2)	нет	да

Пусть для диагностики выбрано состояние (a_1, b_3, c_1). В базе знаний продукционной экспертной системы реального времени, способной поставить диагноз любому состоянию системы S , есть продукция p_5 – «Если $a = a_1$, $b = b_3$ и $c = c_1$, то $d = d_2$ ».

Таким образом, система S в состоянии (a_1, b_3, c_1) характеризуется неисправностью d_2 . Следовательно, и более характерному для диагноза d_2 состоянию (a_1, b_3, c_2) тоже можно поставить диагноз d_2 .

Пусть для диагностики выбрано состояние (a_3, b_1, c_2). В базе знаний продукционной экспертной системы реального времени, способной поставить диагноз любому состоянию системы S , есть продукция p_{14} – «Если $a = a_3$, $b = b_1$ и $c = c_2$, то $d = d_1$ ».

Таким образом, система S в состоянии (a_3, b_1, c_2) характеризуется неисправностью d_1 . Следовательно, и более характерному для диагноза d_1 состоянию (a_3, b_1, c_1) тоже можно поставить диагноз d_1 .

Рассуждая аналогично, получаем, что и менее характерному для диагноза d_2 состоянию (a_3, b_1, c_1) тоже нельзя поставить диагноз d_2 .

Окончательный результат показан в табл. 7.

Полученный результат полностью согласуется с базой знаний, состоящей из 18 продукций, но при этом было использовано только 6 продукций (p_4, p_9, p_8, p_3, p_5 и p_{14} – в 3 раза меньше!) и 2 отношения r_1 и r_2 .

5. Выводы

Научная новизна данной работы заключается в том, что усовершенствован метод анализа продукционных экспертных систем на способность постановки диагноза функциональному состоянию компьютерной системы или сети, использующий бинарные отношения характерности значений признаков параметров для диагнозов и позволяющий сократить количество продукций, необходимых для анализа.

Практическое значение исследования состоит в том, что полученные результаты позволяют анализировать продукционные экспертные системы на способность постановки диагноза любому состоянию компьютерной системы или сети.

Одним из аналогичных эффективных методов построения диагностических экспертных систем является метод КЛАСС [5, 16]. Основная идея этого метода состоит в предъявлении эксперту для классификации некоторых специальным образом выбранных состояний объекта диагностирования.

Существенным недостатком такого подхода является большая размерность вектора, описывающего состояние сложного объекта. По мнению большинства психологов [17], процессы принятия решений происходят в кратковременной памяти человека. Объем этой памяти ограничен примерно 7-ю элементами (7 ± 2). Поэтому классификация состояний даже относительно простого объекта, описание которого содержит 10 параметров, опытным экспертом может в результате оказаться ошибочной и противоречивой.

Предлагаемый в данной работе подход требует от эксперта умения работать одновременно или с несколькими параметрами (при формировании продукций), или с двумя значениями (при сравнении в процессе формирования отношения характерности). В этом и состоит его несомненное преимущество.

Методы ДИФКЛАСС, СТЕПКЛАСС и КЛАНШ [5], существенно более эффективные по числу обращений к эксперту, чем метод КЛАСС, отличаются друг от друга стратегией предъявления состояний эксперту и тоже обладают описанным выше недостатком метода КЛАСС.

В данной работе рассмотрен процесс анализа продукционных экспертных систем, способных поставить диагноз любому состоянию компьютерной системы или сети, которые характеризуются произвольным числом параметров.

Показано, что использование бинарных отношений характерности значений параметров для диагнозов и лишь существенно ограниченного числа продукционных правил позволяет проанализировать способность диагностики произвольного состояния компьютерной системы или сети. Предложен процесс анализа, основанный на продукционном выводе и использовании бинарных отношений характерности значений параметров для диагнозов.

Доказанные леммы и теорема позволяют, используя бинарные отношения характерности значений параметров для диагнозов, сократить количество продукций, необходимых для анализа продукционных экспертных систем, способных поставить диагноз любому состоянию компьютерной системы или сети.

Список литературы: 1. Хаханов В.И. Техническая диагностика элементов и узлов персональных компьютеров. К.: ИСМО, 1997. 308 с. 2. Нессер Д.Дж. Оптимизация и поиск неисправностей в сетях. К.: Диалектика, 1996. 384 с. 3. Дэвид Стоун М., Пур Альфред. Ваш PC. Проблемы и решения: Практическое пособие. М.: Издательство ЭКОМ, 2002. 416 с. 4. Уэнстром М. Организация защиты сетей Cisco. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 768 с. 5. Ларичев О.И., Мечитов А.И., Мошкович Е.М., Фуремс Е.М. Выявление экспертных знаний (процедуры и реализации). М.: Наука, 1989. 128 с. 6. Джексон П. Введение в экспертные системы. М.: Вильямс, 2001. 624 с. 7. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388 с. 8. Бакаев А.А., Гриценко В.И., Козлов Д.Н. Экспертные системы и логическое программирование. Киев: Наук. думка, 1992. 220 с. 9. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000. 384 с. 10. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс, 2003. 864 с. 11. Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. 615 с. 12. Кривуля Г.Ф., Липчанский А.И., Механна Сами, Зидат Хабис. Диагностика компьютерных сетей с использованием экспертных систем // Вестник ХГТУ, 2004. №1(19). С. 11-16. 13. Липчанский А.И., Механна Сами, Хабис А.А. Зидат. Использование продукционных систем и бинарных отношений в экспертных системах диагностики компьютерной техники // Радиоэлектроника. Информатика. Управление, 2006. №2(16). С. 93-101. 14. Зидат Хабис. Бинарные отношения в диагностических экспертных системах // Материалы 10-го юбилейного международного молодежного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (10-12 апреля 2006 г.). Харьков: ХНУРЭ, 2006. С. 368. 15. Липчанский А.И., Лесовик У.И., Зидат Хабис. Синтез заданной нейронной сети в программируемую логику // Радиоэлектроника. Информатика. Управление, 2004. №1(11). С. 122-127. 16. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002. 17. Солсо Р. Когнитивная психология. СПб: Питер, 2002. 592 с.

Поступила в редколлегию 13.03.2007

Кривуля Геннадий Федорович, д-р техн. наук, проф., зав. каф. АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика, системы автоматизированного проектирования цифровых устройств. Увлечения и хобби: автомобилизм, туризм, рыбная ловля. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-26.

Хабис А.А. Зидат, аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика компьютерных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-26.