связь • геоинформатика • космос • безопасность • философия

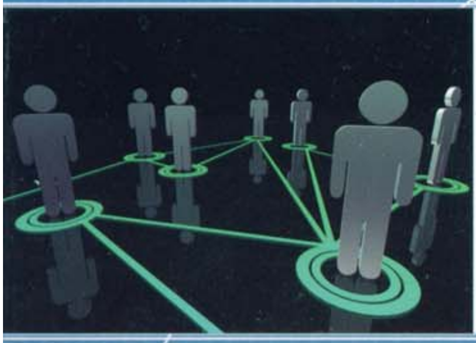
Входит в перечень ВАК

ИНФОРМАЦИЯ и КОСМОС

научно-технический журнал 2009 № 3

ISSN 2072-9804

www.infocosmo.ru



Присяжнюк А.С., Круковская И.Я.

Модель распределенной интегрированной услуги обмена геопространственными данными в мультисервисной сети

стр. 36

Гречухин А.Н., Станиславичюс Р.-Б.

Мониторинг пунктов разбивочной сети развязки кольцевой автомобильной дороги

стр. 42

Виноградов К.П.

Комплексная геоинформационная методика высокоточного моделирования зданий и сооружений

стр. 48

СОДЕРЖАНИЕ

Синтез программы диагностирования технического объекта при оптимальном согласовании достоверности и стоимости получаемой информации

Synthesis of Diagnostic Program for Technical Object Accompanied by Optimal Coordination of accommodation Authenticity and Cost of Received Information

МАНУЙЛОВ / MANUILOV Y.
Юрий Сергеевич
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АСУ космическими аппаратами Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

КРАВЦОВ / KRAVTSOV A.
Александр Николаевич
старший преподаватель кафедры автоматизации обработки информации Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург

Предлагается алгоритм построения программы диагностирования технического состояния объекта при совместном использовании двух показателей: достоверности информации и затрат, связанных с ее получением. Особенностью работы является непрерывная форма представления диагностических признаков. Приводится числовой пример реализации алгоритма.

The article provides the algorithm of developing diagnostic program of the object technical state accompanied by usage of two parameters: information integrity and expenses, connected with its receiving. The peculiarity of this article is its continuous form of representing diagnostic features. It gives a numerical example of this algorithm realization.

Современное состояние технических систем и объектов характеризуется высоким уровнем их организации, наличием в составе довольно сложных устройств и агрегатов, а также сложными функциональными связями между ними. Для того чтобы иметь объективное представление о техническом состоянии (ТС) объекта, необходимо контролировать огромное число параметров различной физической природы. В связи с этим встает вопрос об автоматизации процесса диагностирования и, как следствие, о необходимости разработки оптимальных алгоритмов и программ контроля технических систем и объектов.

Стремление к повышению эффективности управления объектами часто приводит к значительному увеличению различного рода затрат, связанных с получением максимально достоверной информации о работе устройств и агрегатов. В практическом отношении эти показатели (достоверность диагностической информации и затраты, связанные с ее получением) бывают одинаково важны, причем улучшение одного из них при значительном ухудшении другого недопустимо. Вследствие этого появилась необходимость в оптимальном согласовании данных противоречивых показателей. Такая программа согласования должна, с одной стороны, удовлетворять критерию максимума показателя достоверности $D(G)$, а с другой – критерию минимума затрат $C(G)$ на ее реализацию, т.е. необходимо построить целевую функцию вида:

$$W(G) = F[D(G), C(G)], \tag{1}$$

где G – искомая программа диагностирования; D, C – критериальные функции достоверности и стоимости программы, соответственно.

Для решения задачи воспользуемся приведенной в работе [1] агрегированной моделью, представленной в виде двух упорядоченных множеств $M_O = \langle S, \Pi, L, \Phi \rangle$ и $M_{\Pi} = \langle Y, \Omega, \Pi, C \rangle$, первое из которых описывает техническую систему как объект диагностирования и содержит структурированные диагностические знания, характеризующие свойства и закономерности проявления видов ТС объекта, а второе – процесс диагностического поиска, содержащий отношения и правила, описывающие механизм вывода решения. Полагаем заданными: $S = \{S_i \mid i = \overline{1,m}\}$ – множество модельных видов ТС при заданной глубине поиска; $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1,n}\}$ – множество признаков, на котором все ТС $S_i \in S$ попарно различимы; $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1,n}\}$ – множество проверок признаков, причем множества Π и Π находятся во взаимно однозначном соответствии; $L = \{l_{ij} \mid i = \overline{1,m}; j = \overline{1,n}\}$ – множество интервалов, каждый из которых определяет возможный диапазон значений признака $\pi_j \in \Pi$ в ТС $S_i \in S$, т.е. каждая проверка $\pi_j \in \Pi$ заключается в нахождении значений y_j признака π_j и соотнесении этих значений с соответствующими интервалами l_{ij}, при этом для каждой проверки признака π_j задается ее цена $c(\pi_j)$; $\Phi : S \times \Pi \to L$, отображение, согласно которому $l_{ij} = \Phi(S_i, \pi_j)$, $l_{ij} \in L$, $S_i \in S$, $\pi_j \in \Pi$; $Y = \{Y \mid Y = (y_1, y_2, \ldots y_n)^T, y_i \in \Re, \forall j = \overline{1,n}\}$ – множество зарегистрированных значений y_j признаков π_j. Значения y_j являются вещественными числами, равномерно распределенными на заданных интервалах l_{ij}; $\Omega = \{R \mid R \subseteq S\}$ – алгебра событий, заданная на множестве S, элементы которой R называются *информационными состояниями* (ИС) процесса поиска (физически они представляют собой подмножества «подозреваемых» ТС, в одном из которых находится наблюдаемое состояние объекта); $P = \{P(R) \mid R \in \Omega\}$ – вероятностная мера, определенная на алгебре событий, в которой вероятности $P(R) \in P$ вычисляются по ходу синтеза программы анализа и в качестве исходных данных не задаются.

Для каждого ИС $R_k \subseteq S$ существует подмножество $\Pi_k \subseteq \Pi$ так называемых *допустимых* (*разрешенных*) признаков, которое определяется по формуле:

$$\Pi_k = \{\pi_j \in \Pi \mid \exists (S_i, S_f \in R_k) : (l_{ij} \cap l_{fj} = \varnothing)\}. \tag{2}$$

Требуется построить в виде ориентированного графа G программу диагностирования, определяющую состав признаков и последовательность их проверки для идентификации любого из возможных состояний объекта при заданной глубине поиска, причем такую, что:

$$G = Arg \max_{G_r \in U} \{W(G_r)\},$$

где G_r – r-й вариант программы из множества U всех ее возможных вариантов.

Решение задачи имеет некоторые особенности, связанные с использованием непрерывных признаков.

Наблюдаемое значение y_j признака π_j может попасть в любую точку установленного для него интервала $l_{ij} \in L$ и даже одновременно в несколько интервалов, если они пересекаются. Поэтому для каждого признака $\pi_j \in \Pi_k$ выделим на вещественной оси семейство Δ_{kj} подынтервалов, каждый из которых не содержит крайних точек соответствующих интервалов l_{ij}, соотнесенных с ТС $S_i \in R_k$.

Исходом проверки признака $\pi_j \in \Pi_k$ в ИС R_k назовем событие, заключающееся в попадании наблюдаемого значения y_j в один из подынтервалов семейства Δ_{kj}. Число возможных исходов проверки обозначим через ω_{kj}. Каждому подынтервалу присвоим порядковый номер v, т.е. введем обозначение Δ^v_{kj}, $v = \overline{1, \omega_{kj}}$. Соответственно, v-й исход проверки обозначим через π^v_j, определив его как событие $y_j \in \Delta^v_{kj}$. Действие проверки π_j можно представить как отображение

$$\pi_j : R_k \to R^v_{kj}, \text{ если } y_j \in \Delta^v_{kj}, \; v = \overline{1, \omega_{kj}}, \tag{3}$$

где $R^v_{kj} \subset R_k$ – подмножество, содержащее только те ТС $S_i \in R_k$, которым соответствуют пересекающиеся интервалы $l_{ij} \in L$, т.е. $R^v_{kj} = \{S_i \in R_k \mid i : \bigcap_{\{i\}} l_{ij} \neq \varnothing\}$.

Таким образом, при v-м исходе проверки π_j из ИС R_k получается новое ИС R^v_{kj}, содержащее меньшее число «подозреваемых» ТС. При этом вероятность v-го исхода проверки признака π_j вычисляется по следующей формуле:

$$P_k(\pi^v_j) = \frac{|\acute{r}^{\,v}_{kj}|}{|\nabla_{kj}|}, \tag{4}$$

где $|.|$ – длина соответствующего подынтервала;

$$\Delta^v_{kj} = \bigcap_{\{i: S_i \in R^v_{kj}\}} l_{ij}; \tag{5}$$

$$\nabla_{kj} = \bigcup_{\{i: S_i \in R_k\}} l_{ij}. \tag{6}$$

С другой стороны, вероятность v-го исхода проверки, выполняемой в ИС $R_k \subseteq S$, определяется формулой:

$$P_k(\pi^v_j) = P(R^v_{kj} / R_k) = \frac{P(R^v_{kj})}{P(R_k)}, \; v = \overline{1, \omega_{kj}},$$

откуда следует, что: $P(R^v_{kj}) = P(R_k) P_k(\pi^v_j)$. (7)

Последовательно применяя формулы (3) и (7) к «убывающим» ИС R_k, начиная с $R_k = S$, мы найдем вероятности всех элементов алгебры Ω. При этом вероятность начального ИС $R_k = S$ берется равной единице.

Выбор оптимального признака в каждом ИС $R_k \subseteq S$ организуется в соответствии с МДП [2] и представляет собой многошаговую процедуру. На первом шаге рассматриваются ИС R_k, содержащие два элемента, а на втором и последующих шагах – три и более, вплоть до m элементов, соответственно. При этом на каждом шаге вычислений рекуррентно используются результаты предыдущих шагов.

Обобщенный показатель эффективности (1) синтезируемой программы представим в следующем виде:

$$W(G) = \sum_{R_k \in \Omega_k} P(R_k) \sum_{\pi_j \in \Pi_i} W_k(\pi_j), \qquad (8)$$

где $\Omega_k \subseteq \Omega$ – подмножество ИС, входящих в искомую программу.

В приведенном виде формула (8) может быть применена лишь для оценивания эффективности уже построенной или заданной программы, в которой подмножества $\Pi_i \subseteq \Pi$ известны. Однако ее можно видоизменить, используя понятие R_k-подпрограммы, которая представляет собой совокупность проверок, обеспечивающих переход от любого ИС $R_k \subseteq S$ к конечным ИС $R_i(i : S_i \in R_k)$. Применительно к R_k-подпрограмме, начинающейся с проверки признака $\pi_j \in \Pi_k$, формула (8) принимает следующий вид:

$$W_k(\pi_j) = \sum_{R_k \subset \Omega_k^*} P(R_k) \sum_{\pi_j \in \Pi_{ik}} W_k(\pi_j), \qquad (9)$$

где $\Omega_k^* \subset \Omega_k$ – подмножество неконечных ИС данной R_k-подпрограммы.

Формула (9) может быть использована в пошаговой процедуре выбора оптимальных признаков в соответствии с методом динамического программирования (МДП). На каждом шаге в качестве оптимального выбирается признак, для которого показатель $W_k(\pi_j)$ принимает максимальное значение. Подмножество Π_{ik} получается путем добавления к уже выбранным признакам выбираемого признака. Недостатком описанной процедуры является необходимость все вычисления по формуле (9) на каждом шаге выполнять заново. Для его устранения представим настоящую формулу в виде рекуррентного соотношения. Для этого обозначим через π_s выбираемый в ИС $R_k \subseteq S$ признак, с проверки которого начинается R_k-подпрограмма, и выделим его из подмножества Π_{ik} при суммировании в формуле (9). В результате получим:

$$W_k(\pi_s) = \sum_{R_k \subset \Omega_k^*} P(R_k)\,[W_k(\pi_s^v) + \sum_{\pi_j \in \Pi_{ik} \setminus \{\pi_s\}} W_k(\pi_j)].$$

При выполнении проверки признака π_s в ИС R_k в соответствии с отображением (3) получим новые ИС R_{ks}^v, $v = \overline{1, \omega_{kj}}$. Уменьшив область суммирования до множества $R_{ks}^v \subset R_k$ и введя дополнительное суммирование по переменной $v = \overline{1, \omega_{kj}}$, получим:

$$W_k(\pi_s) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\pi_s^v)[W_k(\pi_s^v) + W_{ks}^v(\pi_j)]. \qquad (10)$$

Это выражение дает оценку показателя эффективности R_{ks}^v-подпрограммы, начинающейся с проверки признака $\pi_j \in \Pi_{ks}^v$, и является искомым рекуррентным соотношением.

При оценивании эффективности выбираемого на к-м шаге признака величина $W_{ks}^v(\pi_j)$ играет роль рекуррентной добавки, вычисленной на предшествующем шаге. Если в результате v-го исхода проверки признака π_s в ИС R_k получается конечное ИС $R_{ks}^v = R_i\ (i : S_i \in R_k)$, то $W_{ks}^v(\pi_j) = 0$, так как в конечных ИС проверка не требуется.

В качестве обобщенной критериальной функции, оценивающей эффективность v-го исхода проверки выбираемого признака π_s в ИС R_k в соотношении (10), примем функцию вида

$$W_k(\pi_s^v) = \frac{\tilde{D}_k(\pi_s^v)}{\tilde{c}_k(\pi_s)}, \qquad (11)$$

где $\tilde{D}_k(\pi_s^v)$ и $\tilde{c}_k(\pi_s)$ оценивают достоверность v-го исхода проверки признака π_s и затраты на ее вычисление.

При оценивании достоверности информации, получаемой в результате проверки допустимых признаков $\pi_j \in \Pi_k$, необходимо учитывать вероятности α_j и β_j ошибок первого и второго рода, соответственно. Значения последних зависят от вероятностей $P_k(\pi_j^v)$, $v = \overline{1, \omega_{kj}}$, исходов выполняемых проверок в ИС $R_k \in \Omega$. В общем случае проверка признака π_j может иметь конечное число ω_{kj} исходов. Причем минимальное число $\omega_{kj} = 2$. Каждому исходу может быть поставлена в соответствие либо основная, либо альтернативная гипотеза. В случае если проверка признака π_j дает только два исхода π_j^v $(v = 1, 2)$, что имеет место, когда она выполняется в ИС R_k, содержащем два элемента, в качестве основной выбирается гипотеза, соответствующая исходу, имеющему наибольшее значение вероятности $P_k(\pi_j^v)$. В случае равенства вероятностей в качестве основной гипотезы выбирается любой из этих исходов.

В ИС R_k, содержащих три и более (вплоть до m) ТС S_i, число исходов может быть любым конечным числом. При этом в качестве основной гипотезы выбирается такая, для которой вероятность соответствующего исхода максимальна. Все остальные исходы рассматриваются как альтернативные гипотезы. При наличии равновероятных исходов в качестве основной гипотезы выбирается исход, который дает неконечное ИС $R_k \subseteq S$, содержащее наибольшее число ТС $S_i \in R_k$. Если таких ИС окажется несколько, в качестве основной гипотезы выбирается исход, имеющий наибольшую вероятность. Таким образом, получим:

$$\breve{D}_k(\pi_s^v) = 1 + \log_2 \gamma_k(\pi_s^v), \qquad (12)$$

где $\gamma_k(\pi_s^v) = \begin{cases} 1-\alpha_s, \textit{если } y_j \in \Delta_{kj}^v; \\ 1-\beta_s, \textit{если } y_j \in \Delta_{kj}^u, \end{cases}$

Δ_{kj}^v и Δ_{kj}^u – подынтервалы разброса признака π_j в ТС $S_i \in R_k$, соответствующие основной и альтернативной гипотезе о ТС объекта.

$$\breve{c}_k(\pi_s) = \frac{c(\pi_s)}{\sum\limits_{\pi_j \in \Pi_k} c(\pi_j)}. \qquad (13)$$

Оптимальный признак π_j в каждом ИС $R_k \subseteq S$ выберем по правилу

$$\pi_j = \arg\max_{\pi_s \in \Pi_k} \left\{ W_k\left(\pi_s\right) \right\}. \qquad (14)$$

Из выбранных признаков составим искомую программу распознавания информационных сообщений. Составленную программу удобно представить в виде графа-дерева, вершины которого обозначают информационные состояния $R_k \in \Omega$, а дуги – исходы проверок $\pi_j \in \Pi$ в этих состояниях. Значение $W_k(\pi_j)$, соответствующее выбранному оптимальному признаку π_j в начальном ИС $R_k = S$, дает оценку эффективности составленной программы в целом.

ПРИМЕР

Пусть заданы следующие исходные данные: множества $S = \{S_i \mid i = \overline{1,5}\}$, $\Pi = \{\pi_j \mid j = \overline{1,5}\}$, $L = \{l_{ij} \mid i = \overline{1,5}, j = \overline{1,5}\}$, цены $c(\pi_j)$ проверки признаков, вероятности ошибок первого α_j и второго β_j рода (табл. 1). Необходимо построить программу диагностирования технического объекта, используя предложенный алгоритм.

1. В первую и вторую графы табл. 2 занесем ИС $R_k \subseteq S$, полученные путем последовательного применения отображения (3) к исходному ИС $R_k = S$ и ко всем последующим ИС $R_k \subset S$ и по формуле (2) соответствующие им допустимые признаки $\pi_j \in \Pi_k$.

2. Для каждого ИС $R_k \subseteq S$ найдем соответствующие оптимальные признаки π_j из подмножества Π_k.

Процедуру выбора разобьем на несколько шагов.

Шаг 1. Найдем оптимальные признаки для состояний $R_6, \ldots, R_{15}$, содержащих два элемента. Рассмотрим ИС $R_6 = \{S_1, S_2\}$, которому соответствует множество допустимых признаков $\Pi_6 = \{\pi_2, \pi_3, \pi_5\}$. Согласно отображению (3), получим:

$$\begin{aligned}
&\pi_2 : R_6 \to R_1 = \{S_1\}, \text{ если } y_2 \in (0,2;0,5);\\
&\pi_2 : R_6 \to R_2 = \{S_2\}, \text{ если } y_2 \in (0,7;1,0);\\
&\pi_3 : R_6 \to R_1 = \{S_1\}, \text{ если } y_3 \in (0,1;0,3);\\
&\pi_3 : R_6 \to R_2 = \{S_2\}, \text{ если } y_3 \in (0,3;0,8);\\
&\pi_5 : R_6 \to R_1 = \{S_1\}, \text{ если } y_5 \in (0,5;1,0);\\
&\pi_5 : R_6 \to R_2 = \{S_2\}, \text{ если } y_5 \in (0,0;0,3).
\end{aligned}$$

Используя формулу (4) с учетом формул (5) и (6), вычислим вероятность исходов проверки признака π_2:

$$P_6(\pi_2^1) = l_{12}/(l_{12} \cup l_{22}) = 0,3/(0,3+0,3) = 0,5;$$

$$P_6(\pi_2^2) = l_{22}/(l_{12} \cup l_{22}) = 0,3/0,6 = 0,5.$$

По формуле (13) определим нормированное значение цены проверки признака π_2 в условных единицах:

$$c_6^*(\pi_2) = c(\pi_2)/(c(\pi_2)+c(\pi_3)+c(\pi_5)) = 3/(3+4+5) = 0,25.$$

Таблица 1

Исходные данные

	π_j				
S_i	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5
S_1	(0,0; 0,4)	(0,2; 0,5)	(0,1; 0,3)	(0,0; 0,5)	(0,5; 1,0)
S_2	(0,2; 0,6)	(0,7; 1,0)	(0,3; 0,8)	(0,2; 0,6)	(0,0; 0,3)
S_3	(0,5; 0,8)	(0,0; 0,4)	(0,6; 1,0)	(0,4; 0,6)	(0,6; 0,8)
S_4	(0,6; 1,0)	(0,2; 0,7)	(0,4; 0,8)	(0,7; 1,0)	(0,3; 0,5)
S_5	(0,3; 0,5)	(0,6; 0,8)	(0,0; 0,3)	(0,5; 0,7)	(0,3; 0,7)
$c(\pi_j)$	2	3	4	6	5
α_j	0,05	0,04	0,035	0,045	0,055
β_j	0,01	0,02	0,015	0,03	0,025

Таблица 2

Результаты вычислений

№ п/п	Информационные состояния $R_k \subseteq S$	Допустимые признаки в ИС R_k	Оптимизируемый показатель $W(G)$	
			Оптимальный признак	$W_k(\pi_j)$
	$R_6 = \{S_1, S_2\}$	π_2, π_3, π_5	π_3	3,8239
	$R_7 = \{S_1, S_3\}$	π_1, π_3	π_3	2,8545
	$R_8 = \{S_1, S_4\}$	$\pi_1, \pi_3, \pi_4, \pi_5$	π_5	8,1239
	$R_9 = \{S_1, S_5\}$	π_2, π_4	π_4	2,8590
	$R_{10} = \{S_2, S_3\}$	π_2, π_5	π_5	2,5436
	$R_{11} = \{S_2, S_4\}$	$\pi_1, \pi_2, \pi_4, \pi_5$	π_2	7,6460
	$R_{12} = \{S_2, S_5\}$	π_3, π_5	π_3	2,1593
	$R_{13} = \{S_3, S_4\}$	π_4, π_5	π_4	2,0700
	$R_{14} = \{S_3, S_5\}$	π_1, π_2, π_3	π_2	4,2741
	$R_{15} = \{S_4, S_5\}$	π_1, π_3, π_4	π_1	5,6750
	$R_{16} = \{S_1, S_2, S_3\}$	$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_5$	π_1	8,0683
	$R_{17} = \{S_1, S_2, S_5\}$	$\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5$	π_3	6,1081
	$R_{18} = \{S_1, S_3, S_4\}$	$\pi_1, \pi_3, \pi_4, \pi_5$	π_1	8,7244
	$R_{19} = \{S_1, S_3, S_5\}$	$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$	π_1	7,6928
	$R_{20} = \{S_2, S_3, S_4\}$	$\pi_1, \pi_2, \pi_4, \pi_5$	π_1	8,6005
	$R_{21} = \{S_2, S_3, S_5\}$	$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_5$	π_2	7,9034
	$R_{22} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}$	$\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5$	π_1	11,6730

Показатель согласованного оптимума в ИС R_6 оценим по формуле (10). При этом заметим, что рекуррентная добавка равна нулю, так как в ИС R_6 получаются конечные ИС $R_1 = \{S_1\}$ и $R_2 = \{S_2\}$, а в качестве основной гипотезы выбирается любой исход, так как их вероятности равны:

$$W_6(\pi_2) = P_6(\pi_2^1)[(1+\log_2(1-\alpha_2))/\tilde{c}_6(\pi_2)] +$$
$$+P_6(\pi_2^2)[(1+\log_2(1-\beta_2))/\tilde{c}_6(\pi_2)] =$$
$$= 0,5 \cdot [(1+\log_2(1-0,04))/0,25] +$$
$$+0,5 \cdot [(1+\log_2(1-0,02))/0,25] = 3,8239.$$

Таким же способом оценим показатели согласованного оптимума для признаков π_3, π_5:

$$W_6(\pi_3) = 2,9092\,;\; W_6(\pi_5) = 2,2447.$$

Согласно правилу (14), признак π_1 является оптимальным в ИС R_6, так как $W_6(\pi_1)$ максимален.

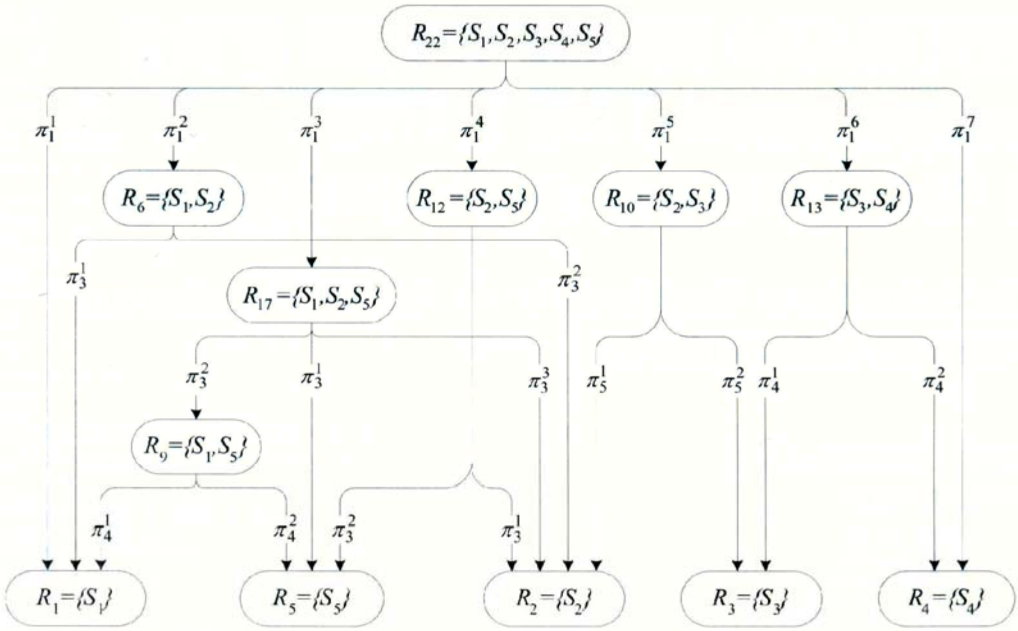
Аналогично выберем оптимальные признаки в ИС $R_7, ..., R_{15}$. Найденные оптимальные признаки и их показатели $W_k(\pi_j)$ занесем, соответственно, в третью и четвертую графы табл. 2.

Шаг 2. Определим оптимальные признаки в ИС $R_{16}, ..., R_{21}$, содержащих по три элемента, используя результаты, полученные на предыдущем шаге.

В ИС $R_{16} = \{S_1, S_2, S_3\}$ допустимы признаки π_1, π_2, π_3, π_5. Для проверки π_1 согласно отображению (3) имеем:

$$\pi_1 : R_{16} \to R_1 = \{S_1\}, \text{ если } y_1 \in (0,0;0,2);$$
$$\pi_1 : R_{16} \to R_6 = \{S_1, S_2\}, \text{ если } y_1 \in (0,2;0,4);$$
$$\pi_1 : R_{16} \to R_2 = \{S_2\}, \text{ если } y_1 \in (0,4;0,5);$$
$$\pi_1 : R_{16} \to R_{10} = \{S_2, S_3\}, \text{ если } y_1 \in (0,5;0,6);$$
$$\pi_1 : R_{16} \to R_3 = \{S_3\}, \text{ если } y_1 \in (0,6;0,8).$$

Определим вероятности исходов по формуле (4) с учетом формул (5) и (6):



Программа, синтезированная на основе принципа согласованного оптимума

$P_{16}(\pi_1^1)=0,25$; $P_{16}(\pi_1^2)=0,25$;

$P_{16}(\pi_1^3)=0,125$; $P_{16}(\pi_1^4)=0,125$, $P_{16}(\pi_1^5)=0,25$.

По формуле (13) вычислим нормированные значения цены проверки признака π_1:

$$\tilde{c}_{16}(\pi_1)=c(\pi_1)/(c(\pi_1)+c(\pi_1)+c(\pi_1)+$$
$$+c(\pi_1))=2/(2+3+4+5)=0,1429.$$

По рекуррентному соотношению (10) оценим показатель согласованного оптимума R_{16} -подпрограммы. Заметим, что в качестве основной гипотезы выбирается второй исход, так как он дает неконечное ИС R_6 и его вероятность максимальна.

$$W_{16}(\pi_1)=P_{16}(\pi_1^1)(1+\log_2(1-\beta_1))/\tilde{c}_{16}(\pi_1)+$$
$$+P_{16}(\pi_1^2)[(1+\log_2(1-\alpha_1))/\tilde{c}_{16}(\pi_1)+$$
$$+W_6(\pi_2)]+P_{16}(\pi_1^3)(1+\log_2(1-\beta_1))/\tilde{c}_{16}(\pi_1)+$$
$$+P_{16}(\pi_1^4)[(1+\log_2(1-\beta_1))/\tilde{c}_{16}(\pi_1)+$$
$$+W_{10}(\pi_2)]+P_{16}(\pi_1^5)(1+\log_2(1-\beta_1))/\tilde{c}_{16}(\pi_1)=$$
$$=0,25\cdot(1+\log_2(1-0,01))/0,1429+$$
$$+0,25\cdot[(1+\log_2(1-0,05))/0,1429+3,8239]+$$
$$+0,125\cdot(1+\log_2(1-0,01))/0,1429+$$
$$0,125\cdot[(1+\log_2(1-0,01))/0,1429+2,5436]+$$
$$+0,25\cdot(1+\log_2(1-0,01))/0,1429=8,0683.$$

Аналогично оценим показатели согласованного оптимума для признаков π_2, π_3, π_5.

$$W_{16}(\pi_2)=5,4519;\ W_{16}(\pi_3)=3,9659;\ W_{16}(\pi_5)=3,3798$$

Согласно правилу (14), признак π_1 является оптимальным в ИС R_{16}, так как $W_{16}(\pi_1)$ максимален.

Путем аналогичных вычислений определим показатели согласованного оптимума $W_{17}(\pi_j),\ldots,W_{21}(\pi_j)$. Найденные оптимальные признаки и их показатели занесем в третью и четвертую графы табл. 2. На последнем шаге определим оптимальный признак в ИС R_{22} и до конца заполним табл. 2.

3. Составим программу диагностирования технического объекта. Из третьей графы табл. 2 выберем оптимальные признаки, начиная с ИС R_{22} и для следующего R_k, полученного под действием проверки. Полученную систему представим в виде графа (рисунок).

Таким образом, в работе решена задача синтеза программы диагностирования технического объекта при одновременном использовании двух оптимизируемых показателей – достоверности диагностической информации и затрат, связанных с ее получением. При вычислении достоверности учитываются вероятности ошибок первого и второго рода, что значительно повышает эффективность диагностирования.

Литература

1. *Дмитриев А.К.* Модели и методы анализа технического состояния бортовых систем. – СПб.: ВИКУ им. А. Ф. Можайского, 1999.

2. *Беллман Р., Калаба Р.* Динамическое программирование и современная теория управления / Под ред. В.С. Разумихина. – М.: Наука, 1969.