

Выбор дискретных диагностических признаков с учетом их ценности для распознавания технического состояния объекта

Discrete diagnostic signs selection by their value for recognition of object technical condition

Копкин / Kopkin E.

Евгений Вениаминович

(kopkins@mail.ru)

доктор технических наук.

ФГКВОУ ВПО «Военно-космическая академия

имени А. Ф. Можайского» МО РФ

(ВКА им. А. Ф. Можайского),

старший преподаватель.

г. Санкт-Петербург

Лазутин / Lazutin O.

Олег Григорьевич

(lazutin.o@mail.ru)

Главный испытательный космический центр

МО РФ имени Г.С.Титова,

начальник научно-испытательного управления.

г. Краснознаменск Московской области

Кравцов / Kravtsov A.

Александр Николаевич

(kan1970@bk.ru)

кандидат технических наук, доцент.

ВКА им. А. Ф. Можайского,

заместитель начальника кафедры.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: космические средства – space craft; техническое состояние – technical condition; ценность информации – information value; программа анализа технического состояния – technical condition analysis program.

В статье рассматриваются вопросы формализованного представления семантических свойств диагностической информации, используемой для анализа состояния сложных технических объектов. Предлагается алгоритм выбора диагностических признаков с учетом их ценности для распознавания технического состояния космических средств. Приводится числовой пример реализации алгоритма.

In article considers questions of the diagnostic information semantic properties formalized representation used for the analysis of a difficult technical objects condition. The decision algorithm of diagnostic signs by their value for recognition space craft technical condition is offered. The algorithm numerical illustration is given.

Совершенствование основных тактико-технических характеристик и качественных показателей космических средств (КСр), таких как сроки активного существования, длительность интервалов автономного функционирования и целевая производительность, невозможно без решения задач, связанных с анализом технического состояния (ТС) бортовых систем (БС). Эффективный

анализ ТС позволяет значительно повысить оперативность и достоверность контроля КСр, диагностирования причин возникновения отказов и неисправностей БС, осуществлять своевременные управленческие действия по их парированию и недопущению лавинообразного развития аварийных ситуаций и катастроф, приводящих к существенному снижению целевых возможностей КСр.

Достоверность результатов анализа ТС БС зависит от различных свойств информации, используемой лицом, принимающим решения для выработки и реализации соответствующих действий, эффективность которых может быть в какой-то мере оценена. К настоящему времени разработаны алгоритмы оценивания синтаксических свойств информации. Попытки же формализованного представления семантических свойств информации сопряжены с определенными трудностями, связанными с субъективизмом при оценивании смысла и ценности информации.

Одним из первых, кто ввел понятие ценности (полезности) информации, был академик А. А. Харкевич [1]. Он определил ее как свойство информации изменять эффективность (результативность) инициированного ею целенаправленного процесса, в частности, процесса функционирования системы, в которой используется данная информация. Для таких систем определение ценной информации позволяет существенно сократить ее семантическую избыточность.

Наиболее общим показателем эффективности любых целенаправленных процессов является вероятность

достижения цели. Поэтому мерой ценности информации может служить некоторая функция отношения вероятностей достижения цели после и до получения информации. В качестве такой функции А. А. Харкевич предложил использовать двоичный логарифм указанного отношения.

Предложенная мера равна нулю, если полученная информация не изменяет вероятность достижения цели, т.е. является пустой, принимает отрицательное значение, если полученная информация уменьшает вероятность достижения цели, т.е. является дезинформацией, и, наконец, оценивается положительной величиной, если полученная информация увеличивает вероятность достижения цели, т.е. является ценной.

Обстоятельный анализ подходов к определению и вычислению ценности информации сделан в работе Г. П. Шанкина [2], который предложил аксиоматическое определение понятия «ценности информации» и разработал ряд математических моделей, позволяющих вычислять ценность информации, необходимой пользователю для достижения некоторой цели. Развиваемый в этой работе подход базируется на трудах Р. Л. Стратоновича и М. М. Бонгарда.

В работе [3] В. И. Корогодин предложил другой способ исчисления ценности информации, при котором ее величина изменяется от 0 до 1. Для некоторых приложений теории анализа технического состояния такой подход может представлять практический интерес.

Таким образом, ценность информации непосредственно связана с эффективностью информационных процессов и должна учитываться при создании систем, реализующих эти процессы. Для этого необходимы соответствующие методы определения ценности информации, осуществляемые в условиях неполноты, неопределенности и нечеткости исходных данных. Они должны обеспечивать получение интегральной оценки создаваемой системы по показателю ценности используемой в ней информации с тем, чтобы из всех возможных ее вариантов выбрать наилучший в смысле данного показателя.

В связи с повсеместным внедрением современных информационных систем и увеличением потоков циркулирующей в них информации, потребность в определении ее ценности резко возросла. Поскольку других методов оценивания, кроме указанных выше, к настоящему времени не предложено, то внедрение их в практических разработках является актуальной задачей, имеющей важное прикладное значение.

Сформулируем рассматриваемую задачу в рамках модели, приведенной в работе [4], в виде двух упорядоченных множеств, сохранив принятые в ней обозначения:

$$M_o = \langle S, \Pi, S, P, \Phi \rangle; \quad (1)$$

$$M_n = \langle S, \Omega, P, \hat{\Pi} \rangle. \quad (2)$$

Первое из этих множеств является моделью объекта анализа, а второе — моделью процесса определения

технического состояния объекта, то есть процесса анализа.

Здесь $S = \{S_i | i = \overline{1, m}\}$ — множество технических состояний, в одном из которых находится анализируемый объект;

$\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, n}\}$ — множество диагностических признаков, на котором все состояния $S_i \in S$ попарно различимы;

$\hat{\Pi} = \{\hat{\pi}_j | j = \overline{1, n}\}$ — множество проверок заданных (или выбранных) диагностических признаков $\pi_j \in \Pi$;

$S = \{S_{ij} | i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}\}$ — множество модельных признаков, каждый из которых означает наиболее вероятный исход проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ТС $S_i \in S$;

$P = \left\{ P(S_i) | \sum_{i=1}^m P(S_i) = 1 \right\}$ — множество вероятностей ТС $S_i \in S$;

$\Phi: S \times \Pi \rightarrow S$ — отображение, при котором $S_{ij} = \Phi(S_i, \pi_j)$, $S_i \in S$, $\pi_j \in \Pi$. Очевидно, что всякое ТС $S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}]^T$ при фиксированном i есть подмножество множества S , то есть $S_i \subset S$. Для всех $i = \overline{1, m}$ подмножество $S_i \subset S$ образует множество S в виде таблицы, строками которой являются ТС $S_i \in S$ ($i = \overline{1, m}$), а столбцами — проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, ($j = \overline{1, n}$).

$\Omega = \{R | R \subseteq S\}$ — алгебра (или σ -алгебра) подмножеств множества S , в которой элементы R имеют смысл информационных состояний (ИС) моделируемого процесса, а каждый из них представляет собой подмножество "подозреваемых" ТС, в одном из которых может находиться объект в момент анализа его состояния;

$P = \left\{ P(R) | P(R) = \sum_{S_i \in R} P(S_i), R \in \Omega \right\}$ — вероятностная мера, заданная на множестве Ω . Вероятности $P(R) \in P$ информационных состояний $R \in \Omega$ как элементов алгебры случайных событий определяются вероятностями входящих в них "подозреваемых" ТС.

В рамках вероятностно-динамической модели (2) реализуется последовательная процедура анализа ТС. Основными ее элементами являются ИС $R \in \Omega$, каждое из которых имеет свою вероятностную меру $P(R)$. Под действием проверок $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ производится последовательный переход от одного ИС к другому, пока не будет определено ТС, в котором находится объект.

Как отмечалось, всякое ИС $R \subseteq S$ означает подмножество предполагаемых ТС, в одном из которых находится объект. До начала анализа неизвестно, в каком состоянии находится объект, а поэтому подмножество предполагаемых его состояний совпадает с множеством S всех его возможных состояний, то есть $R = S$. При выполнении первой и последующих проверок из множества R исключаются те ТС $S_i \in S$, которые не совместимы с исходами выполняемых проверок, т.е. после каждой проверки исходное (начальное) ИС $R = S$ сокращается. Процесс продолжается до получения конечного ИС, содержащего единственное ТС S_i ($i = \overline{1, m}$). Будем его обозначать через R_i . Все остальные ИС $R \subseteq S$, содержащие два и более (вплоть до m) элементов, обозначим через R_k .

Каждая проверка $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ может иметь некоторое (конечное) число исходов. Общее число исходов проверки

$\hat{\pi}_j$ в ИС R_k обозначим через ω_{kj} , а порядковый номер исхода – через $v = \overline{1, \omega_{kj}}$. В простейшем случае проверка имеет два исхода – норма – не норма, которым соответствуют модельные признаки, обозначаемые обычно s_{ij}^1 и s_{ij}^0 . В более сложном случае из множества модельных признаков $s_{ij} \in S$, относящихся к конкретному признаку $\pi_j \in \Pi$, можно выделить ω_{kj} подмножеств, в рамках которых признаки s_{ij} совпадают. Пронумеруем эти подмножества и обозначим через S_j^v . Соответственно признаки $s_{ij} \in S_j^v$ обозначим s_{ij}^v .

Отдельная проверка $\hat{\pi}_j$ при ее v -м исходе ($v = \overline{1, \omega_{kj}}$) переводит процесс анализа из некоторого ИС $R_k \subseteq S$ в состояние $R_{kj}^v \subset R_k$, реализуя отображение

$$\hat{\pi}_j: R_k \rightarrow R_{kj}^v \quad (v = \overline{1, \omega_{kj}}), \quad (3)$$

где $R_{kj}^v = \{S_i | S_i \in R_k, \pi_j = s_{ij}^v\}$, $s_{ij}^v \in S_j^v$.

Вероятность $P_k(\hat{\pi}_j^v)$ перехода из ИС R_k в ИС R_{kj}^v при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ определяется по формуле

$$P_k(\hat{\pi}_j^v) = \frac{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_k} P(S_i)}, \quad v = \overline{1, \omega_{kj}}. \quad (4)$$

Для достижения конечного ИС R_i в общем случае требуется несколько раз выполнить отображение (3), используя при этом проверки различных признаков $\pi_j \in \Pi$. Они выбираются при составлении программы анализа (ПА) ТС объекта. В совокупности эти признаки составляют подмножество $\Pi_i \subseteq \Pi$, проверка которых необходима для определения i -го ТС объекта. С учетом этого процесс перехода из любого ИС $R_k \subseteq S$ в конечное ИС S_i ($i: S \in R_k$), формально можно описать в виде композиции (произведения) отображений (3), реализуемых одной проверкой $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}_i$.

Так как первая проверка признака $\pi_j \in \Pi_i$ применяется в начальном ИС $R_k = S$, а последняя приводит к получению конечного ИС $R_{kj}^v = R_i$, то указанную композицию можем записать как отображение

$$\prod_{\pi_j \in \Pi_i} \hat{\pi}_j: S \rightarrow R_i, \quad i = \overline{1, m}.$$

Рассмотрим меру ценности информации, предложенную В. И. Корогодиным в работе [3], и модифицируем ее для использования в рассматриваемой предметной области.

Эта мера имеет следующий вид:

$$C = \frac{P - p}{1 - p}, \quad (5)$$

где P и p представляют собой вероятности достижения цели при использовании получаемой информации и без ее использования соответственно.

Целью функционирования ПА является распознавание конкретного ТС $S_i \in S$, в котором находится анализиру-

емый объект. Следовательно, в качестве вероятности p в формуле (5) можно использовать вероятность $P(S_i)$.

Рассмотрим теперь ИС $R_{kj}^v \subset R_k$, полученное в результате проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$, выполненной в ИС R_k . Это ИС включает в свой состав в общем случае несколько предполагаемых ТС $S_i \in S$, в одном из которых может находиться объект анализа.

Для распознавания этих состояний необходима дополнительная информация, которая обладает некоторой ценностью. Эта информация может быть получена в результате выполнения последующих проверок.

Тогда в качестве вероятности P в формуле (5) можно использовать уточненную вероятность P_i ТС $S_i \in R_{kj}^v$, определяемую по формуле

$$P_i = \frac{P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}. \quad (6)$$

Обозначим через $V_{kj}^v(S_i)$ ценность информации, которую необходимо получить для распознавания конкретного ТС $S_i \in R_{kj}^v$, и будем определять ее по формуле

$$V_{kj}^v(S_i) = \frac{P_i - P(S_i)}{1 - P(S_i)}. \quad (7)$$

Отметим, что если ИС R_{kj}^v состоит только из одного ТС $S_i \in S$, то в соответствии с (6) вероятность P_i становится равной единице. Это логично, поскольку при распознавании конкретного ТС цель процесса анализа считается достигнутой.

Поскольку ИС $R_{kj}^v \subset R_k$ в общем случае состоит из нескольких ТС $S_i \in S$, то ценность информации, которая необходима для распознавания всех ТС $S_i \in R_{kj}^v$, определяется по формуле

$$V_{kj}^v = \sum_{S_i \in R_{kj}^v} P_i \cdot V_{kj}^v(S_i). \quad (8)$$

Для вычисления ценности информации $V_k(\hat{\pi}_j)$, получаемой при выполнении проверки $\hat{\pi}_j \in \hat{\Pi}$ в ИС R_k , необходимо усреднить результаты, полученные при вычислениях по формуле (8), по вероятностям реализации исходов этой проверки, используя формулу

$$V_k(\hat{\pi}_j) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} P_k(\hat{\pi}_j^v) \cdot V_{kj}^v, \quad (9)$$

Выражение (9) можно записать в развернутом виде:

$$V_k(\hat{\pi}_j) = \sum_{v=1}^{\omega_{kj}} \frac{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_k} P(S_i)} \left[\frac{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} \frac{P(S_i)}{\sum_{S_i \in R_{kj}^v} P(S_i)} - P(S_i)}{1 - P(S_i)} \right]. \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) будем использовать для вычисления ценности информации, получаемой в процессе анализа ТС объекта.

Следует также отметить, что для ИС R_k , состоящих только из двух ТС $S_i \in \mathcal{S}$, любая проверка обладает максимальной ценностью, равной единице, поскольку в результате ее выполнения происходит гарантированное распознавание ТС, в котором находится объект, т.е. цель анализа достигается. Выбор наилучшей из допустимых проверок в таком случае осуществляется по другим критериям (максимальная достоверность, минимальная стоимость и т.д.).

В работе [3] отмечается, что к ценности информации принцип аддитивности неприменим. В связи с этим предложенную формулу (9) можно использовать только для определения ценности информации, получаемой в процессе функционирования ПА, реализуемой последовательным методом, т.е. «прямым ходом», начиная от ИС $R_k = \mathcal{S}$ и заканчивая конечными состояниями $R_i = \{S_i\} (i = \overline{1, m})$. На каждом шаге функционирования ПА выбирается наилучший для проверки признак согласно условию

$$\pi_j = \arg \max_{\pi_s \in \Pi_k} \{V_k(\hat{\pi}_s)\}, \quad (11)$$

где Π_k – подмножество допустимых для проверки признаков $\pi_j \in \Pi$, определяемое из условия

$$\pi_j \in \Pi_k, \text{ если } \exists (S_i, S_f \in R_k) : (s_{ij} \neq s_{jf}). \quad (12)$$

В результате найдем все упорядоченные подмножества, задающие состав и очередность проверки признаков $\pi_j \in \Pi$ для определения конкретного ТС $S_i \in \mathcal{S}$ БС. Вместе с тем найдем все ветви ПА, задающие условия перехода от одного проверяемого признака к другому в зависимости от исходов проверки первого. Эти условия позволяют при распознавании ТС привлекать именно то подмножество наиболее ценных телеметрируемых параметров, которое объективно необходимо для идентификации состояния БС.

Пример. Пусть в виде таблицы заданы множества $\mathcal{S} = \{S_i | i = \overline{1, 6}\}$ технических состояний, в одном из которых может находиться объект, множество $\Pi = \{\pi_j | j = \overline{1, 5}\}$ диагностических признаков, на котором все ТС попарно различимы, а также вероятности $P(S_i) (i = \overline{1, 6})$ этих ТС. Требуется построить программу распознавания всех заданных ТС объекта, которая будет наилучшей в смысле выбранного критерия, т.е. на каждом шаге функционирования ПА будет выбираться признак, обладающий наибольшей ценностью.

Сначала определим проверку, обладающую наибольшей ценностью, для начального ИС $R_{1-6} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$. В этом состоянии все проверки являются допустимыми.

Так, проверка $\hat{\pi}_1$ в соответствии с отображением (3) имеет следующие исходы:

$$\hat{\pi}_1 : R_{1-6} \rightarrow \begin{cases} R_{1-6,1}^0 = R_1 = \{S_1\}, & \text{если } s_{11} = 0; \\ R_{1-6,1}^1 = R_{2-6} = \{S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}, & \text{если } s_{11} = 1. \end{cases}$$

Определим по формуле (4) вероятности $P_{1-6}(\hat{\pi}_1^v), v = 0, 1$:

$$P_{1-6}(\hat{\pi}_1^0) = \frac{P(S_1)}{\sum_{i=1}^6 P(S_i)} = \frac{0,2}{0,2 + 0,05 + 0,24 + 0,15 + 0,06 + 0,3} = 0,2;$$

$$P_{1-6}(\hat{\pi}_1^1) = \frac{\sum_{i=2}^6 P(S_i)}{\sum_{i=1}^6 P(S_i)} = \frac{0,05 + 0,24 + 0,15 + 0,06 + 0,3}{0,2 + 0,05 + 0,24 + 0,15 + 0,06 + 0,3} = 0,8.$$

Поскольку ИС $R_{1-6,1}^0 = R_1 = \{S_1\}$ состоит только из одного ТС, то в соответствии с формулой (6) $P_1 = 1$.

В соответствии с формулой (7)

$$V_{1-6,1}^0(S_1) = \frac{P_1 - P(S_1)}{1 - P(S_1)} = \frac{1 - 0,2}{1 - 0,2} = 1,$$

а в соответствии с формулой (8)

$$V_{1-6,1}^0 = P_1 \cdot V_{1-6,1}^0(S_1) = 1 \cdot 1 = 1.$$

Таблица

Исходные данные

S_i	π_j					$P(S_i)$
	π_1	π_2	π_3	π_4	π_5	
S_1	0	0	1	0	0	0,2
S_2	1	0	1	0	0	0,05
S_3	1	1	0	0	1	0,24
S_4	1	1	1	0	1	0,15
S_5	1	1	1	1	0	0,06
S_6	1	1	1	1	1	0,3

Определим теперь уточненные вероятности $P_i(i=2,6)$ ТС $S_i(i=2,6)$, входящих в состав ИС $R_{1-6,1} = R_{2-6} = \{S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$, используя формулу (6):

$$P_2 = \frac{P(S_2)}{\sum_{i=2}^6 P(S_i)} = \frac{0,05}{0,05+0,24+0,15+0,06+0,3} = \frac{0,05}{0,8} = 0,0625;$$

$$P_3 = \frac{0,24}{0,8} = 0,3; P_4 = \frac{0,15}{0,8} = 0,1875; P_5 = \frac{0,06}{0,8} = 0,075; P_6 = \frac{0,3}{0,8} = 0,375. \quad (4):$$

По формуле (7) определим:

$$V_{1-6,1}^1(S_2) = \frac{P_2 - P(S_2)}{1 - P(S_2)} = \frac{0,0625 - 0,05}{1 - 0,05} = 0,0132;$$

$$V_{1-6,1}^1(S_3) = \frac{0,3 - 0,24}{1 - 0,24} = 0,0789; V_{1-6,1}^1(S_4) = \frac{0,1875 - 0,15}{1 - 0,15} = 0,0441;$$

$$V_{1-6,1}^1(S_5) = \frac{0,075 - 0,06}{1 - 0,06} = 0,016; V_{1-6,1}^1(S_6) = \frac{0,375 - 0,3}{1 - 0,3} = 0,1071.$$

Подставим полученные значения в формулу (8) и вычислим

$$V_{1-6,1}^1 = \sum_{S_i \in R_{1-6,1}} P_i \cdot V_{1-6,1}^1(S_i) =$$

$$= 0,0625 \cdot 0,0132 + 0,3 \cdot 0,0789 + 0,1875 \cdot 0,0441 +$$

$$+ 0,075 \cdot 0,016 + 0,375 \cdot 0,1071 = 0,0742.$$

Теперь можно определить ценность проверки $\hat{\pi}_1$, выполненной в начальном ИС $R_{1-6} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$, используя формулу (9):

$$V_{1-6}(\hat{\pi}_1) = \sum_{v=0}^1 P_{1-6}(\hat{\pi}_1^v) \cdot V_{1-6,1}^v = 0,2 \cdot 1 + 0,8 \cdot 0,0742 = 0,25936.$$

Действуя аналогичным образом, определим значения ценности проверок $\hat{\pi}_j(j=2,5)$, выполняемых в начальном ИС $R_{1-6} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$:

$$V_{1-6}(\hat{\pi}_2) = 0,2361; V_{1-6}(\hat{\pi}_3) = 0,3068; V_{1-6}(\hat{\pi}_4) = 0,3218;$$

$$V_{1-6}(\hat{\pi}_5) = 0,2293.$$

По условию (11) определим, что для начального ИС $R_{1-6} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6\}$ наибольшей ценностью обладает проверка $\hat{\pi}_4$.

Эта проверка в соответствии с отображением (3) имеет следующие исходы:

$$\hat{\pi}_4 : R_{1-6} \rightarrow \begin{cases} R_{1-6,4}^0 = R_{1-4} = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}, \text{ если } s_{i4} = 0; \\ R_{1-6,4}^1 = R_{5,6} = \{S_5, S_6\}, \text{ если } s_{i4} = 1. \end{cases}$$

Рассмотрим эти исходы и выберем для них проверки, обладающие наибольшей ценностью.

В ИС $R_{5,6} = \{S_5, S_6\}$ допустимой в соответствии с условием (12) является единственная проверка $\hat{\pi}_5$.

Как уже отмечалось, ценность любой проверки, выполненной в ИС R_k , состоящем только из двух ТС, макси-

мальна и равна единице. Проверка $\hat{\pi}_5$, выполненная в ИС $R_{5,6} = \{S_5, S_6\}$, имеет следующие исходы:

$$\hat{\pi}_5 : R_{5,6} \rightarrow \begin{cases} R_{5,6,5}^0 = R_5 = \{S_5\}, \text{ если } s_{i5} = 0; \\ R_{5,6,5}^1 = R_6 = \{S_6\}, \text{ если } s_{i5} = 1. \end{cases}$$

Вероятности этих исходов, в соответствии с формулой

$$P_{5,6}(\hat{\pi}_5^0) = \frac{P(S_5)}{P(S_5) + P(S_6)} = \frac{0,06}{0,06 + 0,3} = \frac{1}{6};$$

$$P_{5,6}(\hat{\pi}_5^1) = \frac{P(S_6)}{P(S_5) + P(S_6)} = \frac{0,3}{0,06 + 0,3} = \frac{5}{6}.$$

В соответствии с формулой (6) $P_5 = 1$, $P_6 = 1$; в соответствии с формулой (7)

$$V_{5,6,5}^0(S_5) = \frac{P_5 - P(S_5)}{1 - P(S_5)} = \frac{1 - 0,06}{1 - 0,06} = 1;$$

$$V_{5,6,5}^1(S_6) = \frac{P_6 - P(S_6)}{1 - P(S_6)} = \frac{1 - 0,3}{1 - 0,3} = 1,$$

а в соответствии с формулой (8)

$$V_{5,6,5}^0 = P_5 \cdot V_{5,6,5}^0(S_5) = 1 \cdot 1 = 1; V_{5,6,5}^1 = P_6 \cdot V_{5,6,5}^1(S_6) = 1 \cdot 1 = 1.$$

По формуле (9) вычислим ценность проверки $\hat{\pi}_5$, выполненной в ИС $R_{5,6} = \{S_5, S_6\}$, и убедимся, что она равна единице:

По формуле (9) вычислим ценность проверки, выполненной в ИС, и убедимся, что она равна единице:

$$V_{5,6}(\hat{\pi}_5) = \sum_{v=0}^1 P_{5,6}(\hat{\pi}_5^v) \cdot V_{5,6,5}^v = \frac{1}{6} \cdot 1 + \frac{5}{6} \cdot 1 = 1.$$

Рассмотрим теперь ИС $R_{1-4} = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$. По условию (12) $\Pi_{1-4} = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_5\}$. Определим ценность проверки каждого из этих признаков.

Вычисления, аналогичные приведенным выше, опустим, а укажем только их результаты:

$$V_{1-4}(\hat{\pi}_1) = 0,5211; V_{1-4}(\hat{\pi}_2) = 0,4966;$$

$$V_{1-4}(\hat{\pi}_3) = 0,5604; V_{1-4}(\hat{\pi}_5) = 0,4966.$$

По условию (11) определим, что для ИС $R_{1-4} = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$ наибольшей ценностью обладает проверка $\hat{\pi}_3$, которая имеет следующие исходы:

$$\hat{\pi}_3 : R_{1-4} \rightarrow \begin{cases} R_{1-4,3}^0 = R_3 = \{S_3\}, \text{ если } s_{i3} = 0; \\ R_{1-4,3}^1 = R_{1,2,4} = \{S_1, S_2, S_4\}, \text{ если } s_{i3} = 1. \end{cases}$$

Для завершения построения ПА определим наиболее ценную проверку для ИС $R_{1,2,4} = \{S_1, S_2, S_4\}$, в котором допустимые для проверки признаки, в соответствии с условием (12), составляют множество $\Pi_{1,2,4} = \{\pi_1, \pi_2, \pi_5\}$.

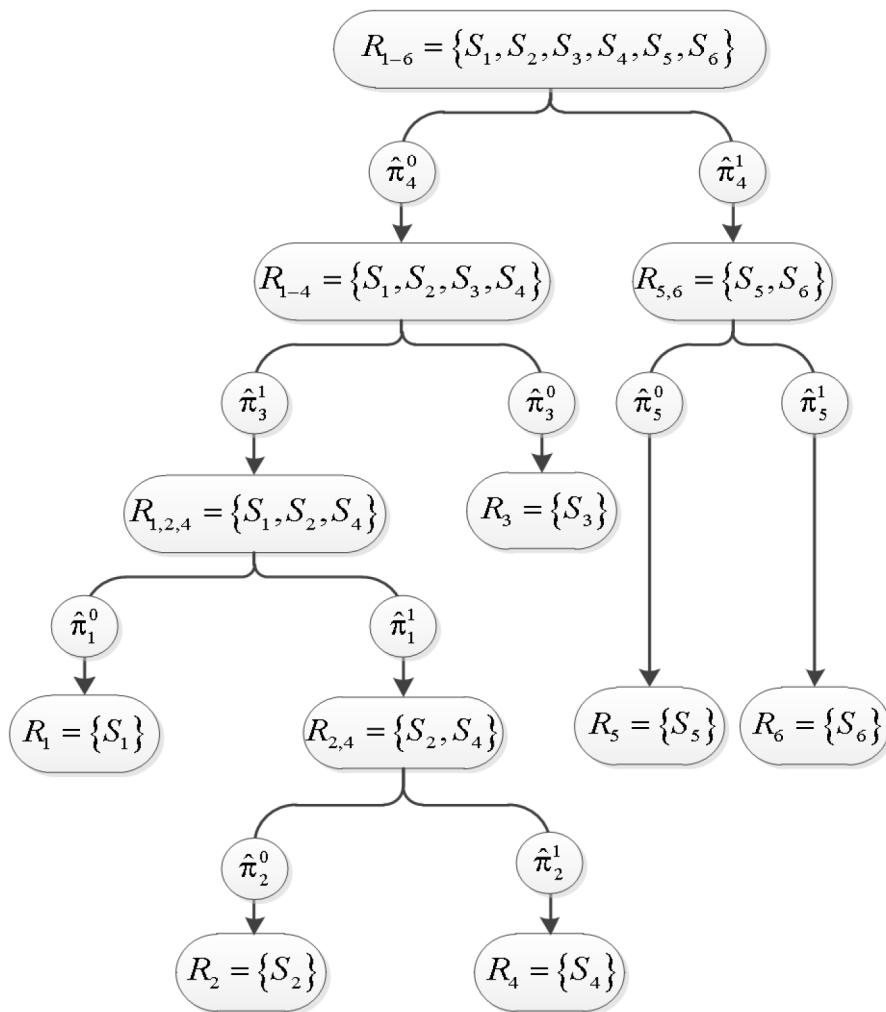


Рис. Программа анализа, синтезированная по критерию максимума ценности информации

Проведя несложные вычисления, определим:

$$V_{1,2,4}(\hat{\pi}_1) = 0,791; V_{1,2,4}(\hat{\pi}_2) = 0,7698; V_{1,2,4}(\hat{\pi}_5) = 0,7698.$$

По условию (11) определим, что для ИС $R_{1,2,4} = \{S_1, S_2, S_4\}$ наибольшей ценностью обладает проверка $\hat{\pi}_1$.

Исходы этой проверки:

$$\hat{\pi}_1 : R_{1,2,4} \rightarrow \begin{cases} R_{1,2,4;1}^0 = R_1 = \{S_1\}, & \text{если } s_{11} = 0; \\ R_{1,2,4;1}^1 = R_{2,4} = \{S_2, S_4\}, & \text{если } s_{11} = 1. \end{cases}$$

Для ИС $R_{2,4} = \{S_2, S_4\}$ допустимыми являются проверки $\hat{\pi}_2$ и $\hat{\pi}_5$, каждая из которых обладает одинаковой ценностью. Выберем проверку $\hat{\pi}_2$.

Таким образом, для каждого из возможных ИС определены проверки, обладающие наибольшей ценностью. Программу анализа, построенную по результатам расчетов, представим в виде древовидного графа (см. рис.).

По результатам построенной ПА сформируем упорядоченные подмножества диагностических признаков,

необходимых для распознавания всех ТС объекта:

$$\Pi_1 = \{\pi_4, \pi_3, \pi_1\}; \Pi_2 = \Pi_4 = \{\pi_4, \pi_3, \pi_1, \pi_2\};$$

$$\Pi_3 = \{\pi_4, \pi_3\}; \Pi_5 = \Pi_6 = \{\pi_4, \pi_5\}.$$

Заключение

В заключение отметим, что с помощью разработанного алгоритма может быть синтезирована процедура определения как работоспособных ТС БС КСр в различные моменты времени, так и неработоспособных состояний, обусловленных различными дефектами бортовой аппаратуры. При этом выбор минимально необходимого числа диагностических признаков (минимального необходимого числа проверок), обладающих наибольшей ценностью, позволяет значительно сократить объем обрабатываемой телеметрической информации, уменьшить число измерительно-преобразовательных устройств (датчиков), упростить и удешевить процедуру распознавания ТС БС, в том числе и отказов.

В целом, синтезированная программа дает близкое к оптимальному решение о ТС КСр и обеспечивает заданное качество диагностирования при сравнительно небольших затратах. Снижение затрат достигается использованием более простых и более экономичных в вычислительном отношении процедур, не требующих предварительного определения и хранения в памяти ЭВМ значительного числа информационных состояний объекта, что представляет несомненный практический интерес.

Кроме того, предложенный подход позволяет провести сравнительный анализ значимости телеметрируемых параметров и оценить объективно вклад каждого из них в решение задачи контроля БС и установления фактического режима функционирования бортовой аппаратуры. Это, несомненно, повысит эффективность своевременного принятия мер по устранению отказов и восстановлению работоспособности КСр с использованием имеющегося бортового резерва.

Литература

1. Харкевич, А. А. О ценности информации / А.А. Харкевич // Проблемы кибернетики. Вып. 4. – М.: Физматгиз, 1960. – С. 53–72.
2. Шанкин, Г. П. Ценность информации. Вопросы теории и приложений / Г.П. Шанкин. – М.: Филоматис, 2004. – 128 с.
3. Корогодин, В. И. Информация как основа жизни / В.И. Корогодин, В.Л. Корогодина. – Дубна: Издательский центр «Феникс», 2000. – 205 с.
4. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния сложных систем: монография / В.В. Мышко [и др.]. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2013. – 303 с.