

ВЫБОР МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

И.Н. Ключников

(представил д.т.н., проф. Е.А. Артеменко)

В статье предлагается способ выбора методов контроля и технического диагностирования состояния информационно-управляющих систем, создаваемых с использованием комплекствующих коммерческого назначения.

В процессе разработки любого проекта, кроме обеспечения требуемой надежности, необходимо стремиться к снижению его стоимости, размеров, массы, а также учитывать наличие по первому требованию комплектующих, необходимых для создания и ремонта изделий в процессе эксплуатации. Поэтому сейчас при создании новых информационно-управляющих систем для критических приложений широко используются стандартные комплектующие, применяемые в коммерческих приложениях.

Одним из путей снижения стоимости разрабатываемых проектов за рубежом в настоящее время является направление, связанное с внедрением COTS-подхода (от английского выражения “Commercial Off The Shelf”, т.е. “коммерческий продукт с полки”) [1 – 3]. Он предполагает максимально возможное и строго регламентированное использование коммерческих IT-продуктов в критических приложениях (вооружении и военной технике, аэрокосмических комплексах, информационно-управляющих системах АЭС и др.). Сфера действия этого подхода распространяется не только на аппаратные и программные средства, компьютерные технологии в целом, но и на другие типы компонент и систем. Данный подход предусматривает существенное снижение стоимости разрабатываемых изделий за счет применения коммерческих комплектующих взамен заказных. В [4] указывается на то, что коммерческие интегральные схемы малой интеграции примерно на 12 % дешевле заказных, а с увеличением степени интеграции разница в стоимости становится еще более значительной. При этом ассортимент продукции коммерческого назначения на 30 % больше, чем заказного. Сейчас в мире существуют десятки фирм-производителей, которые предлагают продукцию, построенную на основе широкого применения микропроцессорной техники и представляющую полные комплекты, ориентированные на реализацию технических решений в области построения систем управления технологическими и другими процессами [5].

Но наряду с более низкой стоимостью комплектующие коммерческого назначения обладают и более низкими характеристиками надежности, а требования к уровню надежности для создаваемых изделий критического использования постоянно повышаются. Для обеспечения требуемого уровня надежности разрабатываемых систем важную роль играют системы контроля и диагностирования [6], при этом, чем ниже уровень надежности комплектующих, применяемых при создании системы, тем жестче должны быть требования, предъявляемые к системам контроля и диагностирования.

Объектом исследования являются системы контроля и диагностирования (СКД) информационно-управляющих систем (ИУС), построенных на основе применения комплектующих коммерческого назначения.

При создании СКД ИУС использование рассматриваемого подхода указывает на целесообразность применения уже имеющихся решений взамен разработки новых. Проведенный анализ [7 – 12] указывает на обилие разнообразных готовых программных продуктов, предназначенных для проведения периодического контроля рассматриваемых систем. При этом применение указанных программных продуктов должно обеспечить как снижение стоимостных характеристик, так и требуемый уровень характеристик системы контроля и диагностирования в целом. В связи с этим возникает задача оценки и выбора наиболее эффективных методов контроля и диагностирования из множества существующих.

Для решения данной задачи предлагается использовать полумарковские модели оценки эффективности СКД ИУС, которые учитывают показатели контроля (диагностирования) (КД) для различных вариантов организации контроля. Выбор предпочтительного метода направлен на достижение максимальной эффективности от его применения, то есть из множества альтернатив будет выбираться тот метод, который обеспечивает максимальную эффективность функционирования СКД, направленную на обеспечение требуемой надежности объекта контроля и диагностирования (ОКД).

Рассмотрим порядок решения задачи оценки эффективности функционирования СКД для следующего случая. Пусть в системе оперативно контролируется часть оборудования. Полнота оперативного контроля

$$q = \omega_o / \Omega,$$

где ω_o – интенсивность отказа оперативно контролируемой части системы; Ω – интенсивность отказа всей системы.

Через интервал времени τ_{mn} все оборудование системы подвергается периодическому контролю, длительность проведения которого τ_{mn} .

На рис. 1 представлен граф системы для рассматриваемого примера. Вершины графа соответствуют возможным состояниям системы: S_1 – работоспособное (исходное) состояние системы; S_2 – сбой в работе; S_3 – отказ, выявляемый при оперативном контроле; S_4 – восстановление после оперативного отказа; S_5 – ложный отказ при оперативном контроле; S_6 – скрытый отказ, возникающий в периодически контролируемой части системы и не

обнаруживаемый до проведения периодического контроля; S_7 – контроль системы со скрытым отказом; S_8 – контроль работоспособной системы; S_9 – восстановление отказов, обнаруживаемых при периодическом контроле; S_{10} – восстановление сбоев, обнаруживаемых при оперативном контроле; а ребрам – возможные переходы между этими состояниями.

Данная модель позволяет учитывать влияние на эффективность функционирования СКД таких количественных показателей КД, как полнота оперативного контроля – q , продолжительность контроля – τ_{nn} , вероятность ложного отказа при контроле – α , вероятность необнаруженного отказа при контроле (для оперативного и периодического контроля) – β и качественный показатель – глубину поиска места неисправности, которая оказывает существенное влияние на величины времени восстановления t_{bc} , t_{bo} , t_{bco} в случаях выявления отказов при оперативном и периодическом контроле соответственно, а также вероятность ошибочной идентификации сбоя (вероятность того, что сбой будет ошибочно идентифицирован как отказ) – γ и периодичность проведения операций контроля – τ_{mnn} . При разработке модели предполагалось, что значения показателей КД для исследуемых методов указываются в пояснительной записке к каждому из них. В противном случае необходимо заранее определить их значения (данный случай в статье не рассматривается).

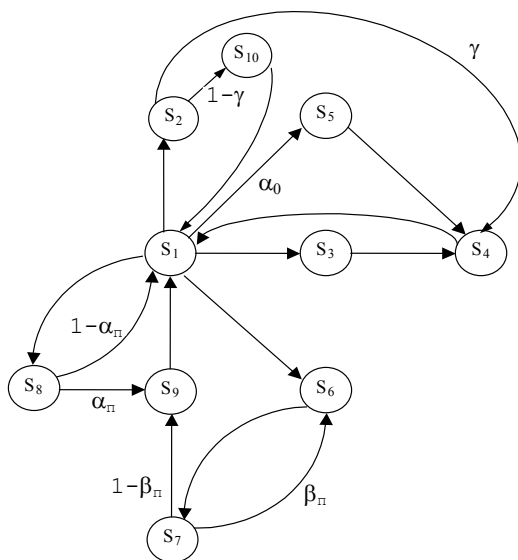


Рис. 1. Граф состояний системы контроля и диагностирования

Исходные данные для проведения расчетов:

- 1) граф состояний $i=1, 2, \dots, n$ с возможными переходами $\{ij\}$;
- 2) матрица $Q = \{Q_{ij}(t)\}$ независимых функций распределения времени пребывания элемента в i -м состоянии до перехода в j -е, если бы данный переход был единственным;
- 3) начальное состояние в момент времени $t = 0$. Будем считать, что в начальный момент времени система находится в исправном состоянии S_i ;
- 4) значения показателей КД.

Проведение расчетов направлено на получение $M[t_i]$ – средних вре-

мен пребывания системы в i -м состоянии и $\Pi = \{\pi_i\}$ – стационарных вероятностей состояний вложенной в полумарковский процесс марковской цепи [13].

При оценке эффективности в качестве показателя предлагается использовать коэффициент работоспособности [14]:

$$W = \frac{\sum_{i \in S^p} M[t_i] \pi_i}{\sum_{i \in S^e} M[t_i] \pi_i} \quad (1)$$

В выражении (1) в числителе производится суммирование по i для $S_i \cap S^p$ (S^p – работоспособные состояния), а в знаменателе по i для $S_i \cap S^e$ (S^e – все возможные состояния).

Выражения, полученные при проведении расчетов, и необходимые для определения показателя эффективности, сведены в табл. 1 – 3.

В табл. 1 – 2 ω_c , ω_o , ω_{co} – интенсивности возникновения сбоев, оперативных отказов и скрытых отказов соответственно, а ω_{bc} , ω_{bo} , ω_{bco} – интенсивности восстановления работоспособного состояния в случаях возникновения сбоев, оперативных отказов и скрытых отказов.

Таблица 1

Вероятности переходов из состояния i в состояние j

i	j	P_{ij}
1	2	$\frac{(1-\alpha_o) \cdot \omega_c}{\omega_c + \omega_{co} + \omega_o} \left(1 - e^{-(\omega_c + \omega_{co} + \omega_o) \tau_{mnn}} \right)$
	3	$\frac{(1-\alpha_o) \cdot \omega_o}{\omega_c + \omega_{co} + \omega_o} \left(1 - e^{-(\omega_c + \omega_{co} + \omega_o) \tau_{mnn}} \right)$
	5	α_o
	6	$\frac{(1-\alpha_o) \cdot \omega_{co}}{\omega_c + \omega_{co} + \omega_o} \left(1 - e^{-(\omega_c + \omega_{co} + \omega_o) \tau_{mnn}} \right)$
	8	$(1-\alpha_o) \cdot e^{-(\omega_c + \omega_{co} + \omega_o) \tau_{mnn}}$
2	4	γ
2	10	$1 - \gamma$
3	4	1
4	1	1
5	4	1
6	7	1
7	6	$1 - \beta_n$
	9	β_n
8	1	$1 - \alpha_n$
	9	α_n
9	1	1
10	1	1

Таблица 2

Средние времена пребывания элемента в i -м состоянии

i	$M [t_i]$
1	$\frac{1 - \alpha_o}{\omega_c + \omega_{co} + \omega_o} \left(1 - e^{-(\omega_c + \omega_{co} + \omega_o) \cdot \tau_{mn}} \right)$
2	0
3	0
4	$2/\omega_{go}$
5	0
6	$\frac{\tau_{mn}}{1 - e^{-(\omega_c + \omega_{co} + \omega_o) \cdot \tau_{mn}}} - \frac{1}{\omega_c + \omega_o + \omega_{co}}$
7	τ_{nn}
8	τ_{nn}
9	$2/\omega_{eco}$
10	$2/\omega_{ec}$

Таблица 3

Стационарные вероятности состояний вложенной в ПМП марковской цепи

i	π_i
1	$\frac{1}{\left(1 + p_{12}(1 + p_{24} + p_{2,10}) + p_{13}(1 + p_{34}) + p_{15}p_{54} + \right.}$ $\left. + (p_{16}/(1 - p_{67}p_{76})) \cdot (1 + p_{67}(1 + p_{79})) + p_{18}(1 + p_{89}) \right)}$
2	$\pi_1 p_{12}$
3	$\pi_1 p_{13}$
4	$\pi_1 \left(p_{89} p_{18} + \frac{p_{79} p_{16} p_{67}}{1 - p_{67} p_{76}} \right)$
5	$\pi_1 p_{15}$
6	$\pi_1 \cdot p_{16} / (1 - p_{67} p_{76})$
7	$\pi_1 \cdot p_{16} p_{67} / (1 - p_{67} p_{76})$
8	$\pi_1 p_{18}$
9	$\pi_1 \left(p_{89} p_{18} + \frac{p_{79} p_{16} p_{67}}{1 - p_{67} p_{76}} \right)$
10	$\pi_1 p_{12} p_{2,10}$

Значения интенсивностей возникновения сбоев, отказов, выявляемых при оперативном контроле, и скрытых отказов определяются по формулам (2 – 4):

$$\omega_c = 10 q \Omega ; \quad (2)$$

$$\omega_o = q \Omega ; \quad (3)$$

$$\omega_{co} = (1 - q) \Omega . \quad (4)$$

Выражения, представленные в табл. 2, 3, при подстановке в выражение (1) позволяют определить значение показателя эффективности для различных методов контроля.

В качестве примера рассмотрим следующую задачу. Пусть имеются два метода КД и известны значения показателей КД, для каждого из них. Требуется определить, обеспечивают ли эти методы требуемую эффективность функционирования системы или выбрать тот из них, применение которого обеспечивает максимальную эффективность функционирования СКД. Каждый из методов обладает своими значениями показателей контроля. При определении значений эффективности использовались следующие исходные данные. Интенсивность отказа всей системы: $\Omega = 0,001$ 1/ч. Значения показателей КД для первого метода: $q = 0,8$; $\alpha_o = 0,02$; $\alpha_n = 0,01$; $\beta_n = 0,08$; $\gamma = 0,01$; $\omega_{bo} = 0,1$; $\omega_{vco} = 0,01$; $\tau_{nn} = 2$ ч; $\tau_{mn} = 100$ ч; для второго: $q = 0,9$; $\alpha_o = 0,01$; $\alpha_n = 0,06$; $\beta_n = 0,01$; $\gamma = 0,1$; $\omega_{bo} = 0,25$; $\omega_{vco} = 0,05$; $\tau_{nn} = 4$ ч; $\tau_{mn} = 100$ ч. Требуемое значение эффективности функционирования системы $W_{треб} = 0,95$.

На рис. 2 представлены результаты оценок эффективности СКД с применением различных методов КД. Проведенные расчеты указывают на то, что применение первого метода не обеспечивает требуемого значения эффективности системы ($W_1 = 0,84$). При этом второй метод обеспечивает значение эффективности системы выше требуемого ($W_2 = 0,95$). Следовательно для обеспечения достижения требуемой эффективности системы необходимо использование второго метода КД.

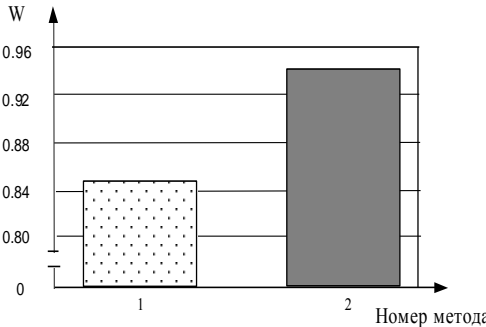


Рис. 2. Значения показателей эффективности СКД с применением различных методов КД

Таким образом, используя подход, предложенный выше, имеется возможность получить значение показателя эффективности для каждого из альтернативных методов КД и выбрать тот из них, который обеспечивает для систем, создаваемых с использованием комплектующих коммерческого назначения, достижение такого требуемого значения показателя эффективности, как и для систем на основе заказных комплектующих. Целесообразно при расчетах дополнительно учитывать ограниче-

ния, в качестве которых предлагается использовать стоимость (сложность) аппаратурной реализации методов контроля (диагностирования).

Рассмотренный способ позволяет осуществлять оценку эффективности применения методов КД и проводить выбор предпочтительного из них для обеспечения требуемого уровня эффективности системы в целом для различных вариантов организации контроля, то есть позволяет решить прямую задачу оценки эффективности – определить эффективность системы КД с заданными показателями. Актуально также решение и обратной задачи – обоснование и определение требований к значениям показателей КД, обеспечивающих требуемую эффективность функционирования СКД. Необходимость решения такой задачи может возникнуть при проведении доработок существующих методов КД или разработке новых методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scott J.A., Preckshot G.G., Gallagher J.M. *Using Commercial-Off-The-Shelf (COTS) Software in High-Consequence Safety Systems // Lawrence Livermore National Laboratory, UCR – 122246. – 1995. – P. 28 – 36.*
2. IAEA Working Materials. *Scientific Basis and Engineering Solutions for Cost-Effective Assessments of Software-Based I&C Systems // Proceeding of Coordinated Research Meeting, Vienna, Austria, 8–12 November, 1999. – P. 67 – 75.*
3. Харченко В.С., Юрченко Ю.Б., Байда Н.К. *Реализация проектов отказоустойчивых бортовых компьютеров космических аппаратов с использованием электронных компонент Industry // Технология приборостроения. – 2002. – № 1. – С.29 – 36.*
4. *Commercial microcircuits options in military avionics system demand reliability // Defense Electronics. – 1991. – V. 23, № 8. – P. 43 – 47.*
5. Компания ProSoft. *Краткий каталог продукции. – Вып. 6.0. – 2001. – 224 с.*
6. Артёменко Е.А. *Резервирование, диагностирование, восстановление – система обеспечения надежности сложных технических комплексов // Модели и системы. – X.: ХВУ. – 1999. – Вып. 1. – С. 4 – 7.*
7. Артёменко Е.А., Ключников И.Н. *Организация контроля и диагностирования систем на основе микропроцессорных комплексов // Системы обработки информации. – 2001. – Вып. 4 (14). – С. 156 – 161.*
8. www.boson.com
9. www.touchstonesoftware.com
10. www.mijenix.com
11. www.symantec.com
12. www.mcafee.com
13. Королюк В.С., Турбин А.Ф. *Полумарковские процессы и их приложения. – К.: Наук. думка, 1976. – 182 с.*
14. Костенко Ю.Т., Раскин Л.Г. *Прогнозирование технического состояния систем управления. – X.: Основа, 1996. – 303 с.*

Поступила 08.10.2002

КЛЮШНИКОВ Игорь Николаевич, адъюнкт ХВУ. В 1995 году окончил ХВУ. Область

научных интересов – системы контроля и диагностирования цифровых управляющих вычислительных систем.