

УДК 681.51 – 192 : 681.3.06

О.В. ШУРЫГИН

Научный метрологический центр (военных эталонов), Украина

ВЫБОР ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СТРУКТУР С ВРЕМЯ-ВЕРСИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ

Рассматривается процедура выбора отказоустойчивых избыточных структур при проектировании информационно-управляющих систем (ИУС). Выбор производится по результатам оценки надежности избыточных структур ИУС вероятностно-статистическим, детерминированным, экспертным методами оценивания путем формирования приоритетных рядов.

комбинированное резервирование, программно-аппаратная версия, имитационная модель, событийная модель, приоритетный ряд

Введение. Постановка задачи

Процедура выбора избыточных структур при проектировании ИУС критического применения предусматривает оценивание показателей надежности на ранних этапах проектирования с учетом возможных отказов и сбоев аппаратных средств (АС) и проявления дефектов проектирования программных средств (ПС). Выбор той или иной избыточной структуры требует оценки показателей надежности систем рассматриваемого класса. Однако на практике очень сложно получить данные показатели с учетом дефектов проектирования ПС и оценить их влияние на надежность и безопасность системы в целом. В основном находят применение вероятностные и вероятностно-статистические методы оценивания [1], которые не могут быть признаны достаточными для обеспечения приемлемой достоверности результата. Поэтому актуальной задачей является анализ и выбор избыточных структур ИУС критического применения вероятностными, детерминированными, экспертными методами оценивания.

Под ИУС критического применения понимаются системы, обеспечивающие безопасность аэрокосмических комплексов, атомных электростанций, химических производств и т.д.. В таких системах важно оценить принципиальную возможность возникновения тех или иных событий (так называемых исходных событий) и степень их влияния на результат

работы технического комплекса в целом [2]. Требования к надежности и безопасности таких систем приведены в [3].

Анализ литературы

В работах [4, 5] были проведены разработка и исследование моделей дефектов дублированных структур с время-версионной избыточностью (ДСВВИ) программно-аппаратных средств и дана их оценка с использованием детерминированных показателей. При этом отмечалось, что ДСВВИ являются компромиссным вариантом по отношению к системам со структурным и временным мажоритированием и обеспечивают контроль работоспособности систем без использования встроенных средств контроля. Однако в известных работах не рассматривался вопрос выбора избыточных структур ИУС.

Таким образом, целью статьи является разработка процедуры выбора отказоустойчивых избыточных структур с время-версионной избыточностью по результатам оценки надежности отказоустойчивых цифровых систем с учетом различных типов отказов и сбоев АС и ПС. Выбор производится по результатам детерминированных, вероятностно-статистических, экспертных методов оценивания путем формирования приоритетных рядов. Для вероятностных оценок используются имитационные модели (ИМ) процесса функционирования ДСВВИ и

многоверсионных мажоритарных резервированных структур (ММРС).

Варианты рассматриваемых структур

Совокупность структур ДСВВИ, выбранных для проведения анализа, представлена одной, двумя, тремя и четырьмя версиями ПС (обозначены на рис. 1 соответственно D2V1, D2V2, D2V3, D2V4). ММРС представлены одной, двумя, тремя версиями ПС без повторного просчета результата (обозначены на рис. 2 соответственно MV1, MV2, MV3) и одной, двумя, тремя, шестью версиями ПС с повторным просчетом результата (обозначены на рис. 2 M2V1, M2V2, M2V3, M2V6).

Модели возможных дефектов АС и ПС

Для наиболее общего варианта ДСВВИ (D2V4) модель АС включает совместные АС четырех версий, образующих ядро системы. К ядру относятся средства, участвующие в реализации двух версий, отказ которых ведет к отказу канала, а к индивидуальным АС версий – оболочки системы (например, средства хранения различных программ выполнения одноименных функций). Отказ оболочек делает невозможным реализацию только одной из версий. Средства сравнения, обеспечивают сравнение результатов выполнения функций в каналах на первом и втором временных интервалах.

Модель возможных дефектов версий ПС характеризуется тем, что абсолютные дефекты обуславливаются неполнотой и некорректностью технического задания, а также другими причинами, общими для всех программных версий. Относительные дефекты характерны только для одной версии и обусловлены индивидуальными ошибками, внесенными при ее проектировании и не обнаруженными при тестировании. Групповые дефекты являются общими для двух и трех версий [6].

Возможные дефекты структуры, рассматриваемые как события, легли в основу событийных моделей АС и ПС [4] процесса функционирования ДСВВИ и ММРС в необслуживаемом режиме.

Определение характеристик надежности методом статистического моделирования

Целью статистического моделирования является определение количественных значений показателей надежности ДСВВИ и ММРС, функционирующих в реальном масштабе времени при различных значениях параметров исследуемой архитектуры в предположении экспоненциального закона распределения времени до отказа АС и ПС. Для получения результатов экспериментального исследования надежности ДСВВИ и ММРС использованы программные ИМ [7].

В качестве показателя оценки надежности принята вероятность безотказной работы $P(t)$ (ВБР) на интервале времени от 0 до t . Варьируемыми параметрами ИМ являются число каналов, количество версий ПС, интенсивности отказов АС и ПС при экспоненциальном законе распределения времени до отказа λ_1 и λ_2 соответственно и порог срабатывания мажоритарного элемента (для ММРС с повторным просчетом результата).

При проведении имитационного моделирования были приняты следующие допущения: отказы АС и ПС каждого канала независимы; средства сравнения и мажоритарный элемент абсолютно надежны ($P_{cp} = 1, P_{мэ} = 1$).

Результаты имитационного и событийного моделирования

В результате статистического моделирования были получены значения ВБР для моделируемых структур, представленные на рис. 1, 2, которые легли в основу сформированных приоритетных рядов.

Событийные модели АС и ПС выбранных структур были оценены экспертами с учетом весов типов дефектов [5]. Детерминированные показатели, рассчитанные в начале и в конце величины вариации возможных событий, легли в основу формирования приоритетных рядов. Приоритетные ряды представляют собой ряды чисел, характеризующие ранги оцениваемых структур по общему показателю. Такими показателями являются ВБР $P(t)$ для вероят-

ностно-статистического метода оценивания и уровень дефектоустойчивости d для экспертного метода

оценивания. В табл. 1 – 4 представлены результаты оценки ММРС и ДСВВИ.

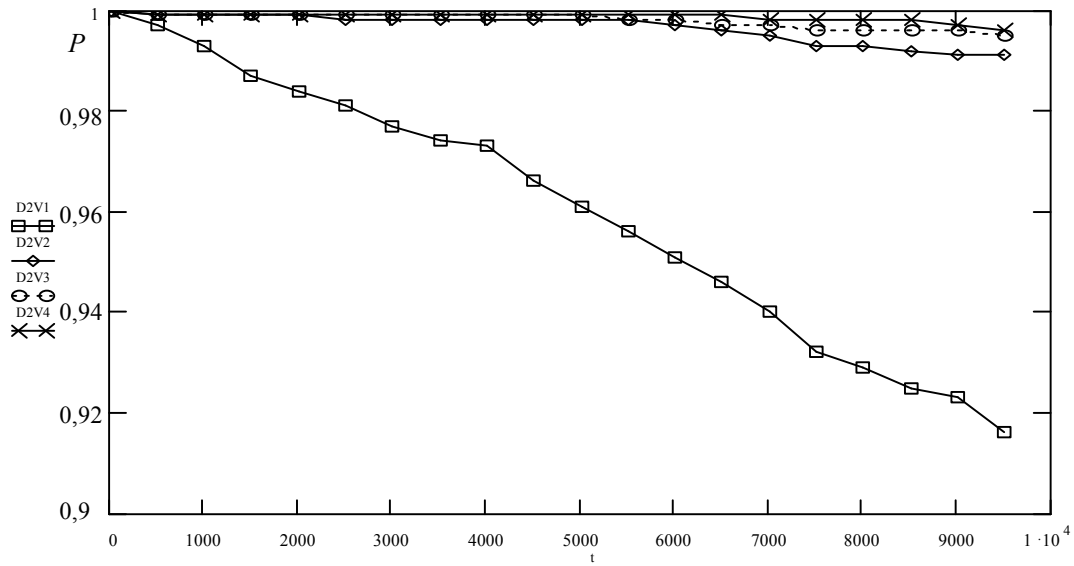


Рис. 1. Графики показателей надежности ДСВВИ

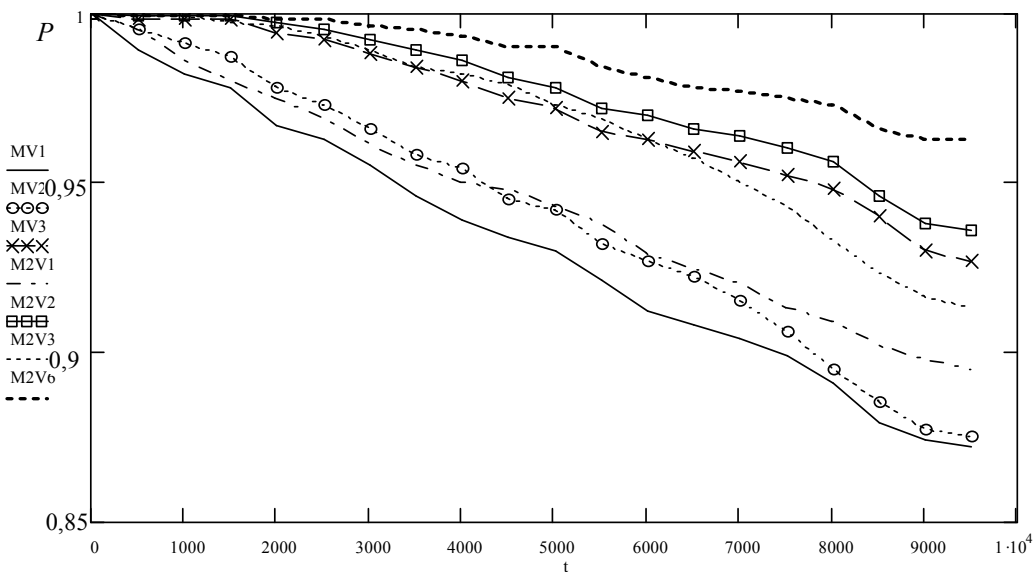


Рис. 2. Графики показателей надежности ММРС

Результаты оценки ДСВВИ (табл. 3 и 4) довольно близки, что позволяет сделать вывод об относительной достоверности результатов оценок полученных разными методами, но требуют дополнительных расчетов их доверительных границ. Под рейтингом будем понимать среднее значение рангов каждого варианта.

Расхождение в членах ряда можно объяснить тем, что количественные оценки надежности не учитывают фактор времени возникновения дефектов

АС и ПС, а вероятностные оценки наоборот. При расчетах ВБР сложно задать интенсивность проявления дефектов ПС, так как они не подвержены «старению» во времени, носят индивидуальный случайный характер и в большей степени зависят от входных данных.

Результаты оценки, полученные вероятностно-статистическими, экспертными методами, имеют систематические и случайные составляющие. Однако случайными составляющими можно пренебречь в

виду того, что для экспертного метода оценки считается маловероятным, что эксперты изменят свое мнение при выставлении весов дефектов. Для вероятностно-статистического метода оценки время отказа системы является случайным и подчинено определенному закону распределения случайных величин. Следовательно, случайные составляющие методов оценки пренебрежимо малы. Оценим влияние систематической составляющей результата в виде границ доверительного интервала оценки. Для

рассматриваемых ДСВВИ (табл. 3, 4) были рассчитаны средние арифметические значения (\bar{x}) и среднеквадратические отклонения $S(\bar{x})$ рейтингов для обоих методов. Если величины $S(\bar{x})$ и (\bar{x}) сопоставимы между собой, то сходимость результатов оценки невысокая. В этом случае проводится замена вариантов отказоустойчивых ДСВВИ и ММРС, а также последующая их оценка.

Таблица 1

Результаты оценки ММРС с одним просчетом результата

Начальные условия	Интервалы ВБР	Приоритетные ряды ММРС		
		MV1	MV2	MV3
$P_{мэ23} = 1,0$ $\lambda_1 = \lambda_2 = 10^{-5} 1/ч$ $t = 0 \dots 10^4 ч$	$P = 0,89 \dots 0,921$	3	2	1
	$P = 0,921 \dots 0,951$	2	2	1
	$P = 0,951 \dots 0,979$	2	2	1
	$P = 0,979 \dots 1$	2	3	1
	рейтинг	2,25	2,25	1

Таблица 2

Результаты оценки ММРС с повторным просчетом результата

Начальные условия	Интервалы ВБР	Приоритетные ряды ММРС			
		M2V1	M2V2	M2V3	M2V6
$P_{мэ46} = 1,0$ $\lambda_1 = \lambda_2 = 10^{-5} 1/ч$ $t = 0 \dots 10^4 ч$	$P = 0,909 \dots 0,95$	4	2	3	1
	$P = 0,95 \dots 0,98$	3	2	2	1
	$P = 0,98 \dots 0,992$	4	2	3	1
	$P = 0,992 \dots 0,998$	2	1	1	1
	$P = 0,998 \dots 1$	3	2	1	1
	рейтинг	3,2	1,8	2	1

Таблица 3

Результаты оценки ДСВВИ (вероятностно-статистический метод)

Начальные условия	Интервалы ВБР	Приоритетные ряды ДСВВИ			
		D2V1	D2V2	D2V3	D2V4
$P_{ср} = 1,0$	$P = 0,916 \dots 0,956$	4	3	2	1
	$P = 0,956 \dots 0,974$	3	2	2	1
	$P = 0,974 \dots 0,997$	3	2	1	1
	$P = 0,997 \dots 1$	2	1	1	1
	рейтинг	3	2	1,5	1

Таблица 4

Результаты оценки ДСВВИ (экспертный метод)

Начальные условия	Интервалы переменной d -устойчивости	Приоритетные ряды ДСВВИ			
		D2V1	D2V2	D2V3	D2V4
$d_{ср} = 1,0$ (дефектоустойчивость средств сравнения)	$d = 0,51 \dots 0,65$	1	1	1	1
	$d = 0,65 \dots 0,71$	1	1	1	1
	$d = 0,71 \dots 0,8$	2	1	1	1
	$d = 0,8 \dots 0,82$	2	1	1	1
	$d = 0,82 \dots 0,86$	2	1	1	1
	$d = 0,86 \dots 0,88$	3	1	1	2
	$d = 0,88 \dots 0,9$	3	1	1	2
	рейтинг	2	1	1	1,29

Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Таблица 5

Значение \bar{x} и $S(\bar{x})$ рейтинга
для различных вариантов ДСВВИ

Вариант	D2V1	D2V2	D2V3	D2V4
\bar{x}	2,5	1,5	1,25	1,145
$S(\bar{x})$	0,5	0,5	0,25	0,145

Выводы и рекомендации, направление дальнейших исследований

Результаты проведенных исследований представлены типовыми решениями повышения отказоустойчивости АС и ПС за счет применения многоканальных резервированных структур. В результате моделирования таких структур получены графики показателей надежности, сформированы приоритетные ряды, анализ которых позволяет сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Результаты имитационного моделирования выявили наилучшие варианты M2V4, M2V3, M2V6 ММРС. При увеличении количества версий ПС и значительном времени функционирования возрастает значение ВБР. Наилучшей ВБР обладает структура M2V6 Среди ДСВВИ наилучшая ВБР у структур D2V3, D2V4. Такие структуры можно рекомендовать для «необслуживаемых» ИУС с высокими требованиями к надежности. При ограничениях массогабаритных и энергетических характеристик наиболее приемлема структура D2V3.

2. Метод выбора отказоустойчивых архитектур ИУС на основе сформированных приоритетных рядов МРС позволяет проводить сопоставительный анализ результатов моделирования. Для учета требований разрабатываемой ИУС по ее безотказности в течение заданного интервала времени рекомендуется проводить сравнительный анализ результатов имитационного и событийного моделирования.

3. Имитационное моделирование более предпочтительно при исследовании отказоустойчивых архи-

тектур ИУС с учетом сбоев и отказов различных компонент системы при известных законах распределения потока отказов.

В направлениях дальнейших исследований планируется дополнить анализ и выбор рассмотренных структур с учетом характеристик средств контроля, диагностирования и реконфигурации.

Литература

1. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Сов. радио, 1975. – 472 с.
2. Волик Б.Г. О концепциях техногенной безопасности // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 2. – С. 165-170.
3. Kafka P. How Safe Is Safe Enough? // Proceeding of 10th European Conference on Safety and Reliability, Munich, Germany, 13 – 17 September, 1999. – Vol. 1. – P. 385-390.
4. Харченко В.С. Шурыгин О.В. Детерминированная оценка показателей отказоустойчивости дублированных структур с временной и версионной избыточностью // Электронное моделирование. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 41-52.
5. Харченко В.С. Шурыгин О.В. Экспертная оценка многоверсионных систем с временной избыточностью с учетом весов типов дефектов // Системы обработки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вип. 2 (12). – С. 184-191.
6. Харченко В.С. Теоретические основы дефе-тоустойчивых цифровых систем с версионной избыточностью. – Х.: ХВУ, 1996. – 503 с.
7. Харченко В.С., Гридин В.И., Тарасенко В.В. Имитационная модель функционирования гибридных резервированных структур // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. – № 4. – С. 77-78.

Поступила в редакцию 14.03.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.