

певний клас задач покриття, для яких відсутня проблема перебору. Це уможливорює зменшити витрати комп'ютерного часу та вимоги до оперативної пам'яті і в такий спосіб розширити коло практично розв'язуваних задач. Подальші дослідження у цьому напрямку можуть розширити клас задач покриття, для яких існують швидкі алгоритми пошуку розв'язків.

1. McCluskey E.J. *Minimization of Boolean Functions* / *Bell System Technical Journal*. – 1956. – 35. – P. 1417–1444. 2. Quine W.V. *The Problem of Simplifying Truth Functions* / *American Mathematical Monthly*. – 1952. – 59. – P. 521–531. 3. Закревский А.Д. *Алгоритмы синтеза дискретных автоматов*. – М., 1971. 4. Рицар Б.С. *Мінімізація булевих функцій методом розчеплення кон'юнктернів* / *Управляющие системы и машины*. – 1998. – № 5. – С. 14–22.

УДК 621.396.6.019.3

Б.Ю. Волочій¹, О.В. Малиновський¹, Д. Улибін²

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки і радіовимірювань,

²Український Львівський філіал інституту бізнесу та інформатики

ПРОГРАМНА МОДЕЛЬ ВІДМОВОСТІЙКОЇ СИСТЕМИ З КОМБІНОВАНИМ ЗАМІЩУВАЛЬНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ

© Волочій Б.Ю., Малиновський О.В., Улибін Д., 2005

Розглянуто відмовостійку систему, яка складається з основної системи і кількох резервних систем. Основна система складається з однотипних модулів і для них передбачено ковзний резерв. Для інтерактивного надійнісного проектування такої відмовостійкої системи запропоновано програмну модель.

The fault-tolerant system set of basic system and some redundant systems is analyzed in this article. The basic system is formed of the equitype modules and the sliding redundancy is provided for them. The program model is proposed for interactive reliability design of such fault-tolerant system.

Постановка задачі

У практиці проектування радіоелектронних інформаційних систем знайшли застосування відмовостійкі системи з комбінованим заміщувальним резервуванням [1]. Під комбінованим заміщувальним резервуванням вважаємо поєднання у відмовостійкій системі двох способів підключення резервних модулів і резервних систем в робочу конфігурацію: ковзного для модулів та фіксованого загального для систем. Однак у відомих нам інформаційних джерелах [2; 3] математичні моделі та відповідні методики аналізу таких відмовостійких систем відсутні.

У цій роботі показано розв'язання задачі надійнісного проектування відмовостійкої системи в класі відмовостійких систем з заміщувальним резервуванням на основі оригінальної технології моделювання [1], яка дає змогу значною мірою автоматизувати процес отримання необхідного результату. Моделювання структури і поведінки відмовостійкої системи проводиться на основі відповідності об'єкта дослідження дискретно-неперервному марковському процесу. Для заданої відмовостійкої системи формується програмна модель. Програмною моделлю називаємо програмний засіб, який в автоматизованому режимі виконує розробку графа станів і переходів, формує систему диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена, розв'язує її та визначає показники надійності.

Структура програмної моделі складається з двох частин: уніфікованої та об'єктно-орієнтованої. Уніфікована частина програмної моделі у цій роботі не розглядається. Предметом розробки є складова об'єктно-орієнтованої частини, а саме – структурно-автоматна модель (САМ). САМ у

цьому розгляді – це формалізоване подання структури відмовостійкої системи та алгоритму її поведінки після виникнення відмови. Для побудови САМ необхідно скласти детальний опис досліджуваної відмовостійкої системи.

Опис відмовостійкої системи

До складу відмовостійкої системи входять:

- одна основна система і кілька резервних систем, які включені як L-кратний загальний фіксований резерв;

- засоби контролю і діагностики;

- пристрої перемикавання.

В процесі експлуатації працездатність відмовостійкої системи підтримує ремонтний орган, можливості якого є обмеженими.

Основна система має робочу конфігурацію, сформовану з n-однотипних модулів і певної кількості m таких самих модулів, які включені в її структуру як ковзний резерв. Структура резервної системи у цій моделі не розкривається. Резервна система вмикається, замість основної, в таких випадках: в момент відмови модуля робочої конфігурації; в момент відмови працюючої резервної системи. Структурну схему надійності цієї відмовостійкої системи показано на рис. 1. Модулі ковзного резерву підключаються замість несправних модулів робочої конфігурації перемикачем $\Pi_{к.р}$. Час підключення резервного модуля замість несправного є випадковою величиною, середнє значення якого дорівнює T_k . Підключення резервних систем здійснюється за допомогою пристроїв перемикавання $\Pi_{р.с1}, \dots, \Pi_{р.сL}$. Процедура підключення резервної системи замість основної здійснюється за дуже короткий час і за побудови моделі він вважається таким, що дорівнює нулю. Всі пристрої перемикавання не є надійними і тому процедури підключення виконуються з певною ймовірністю.

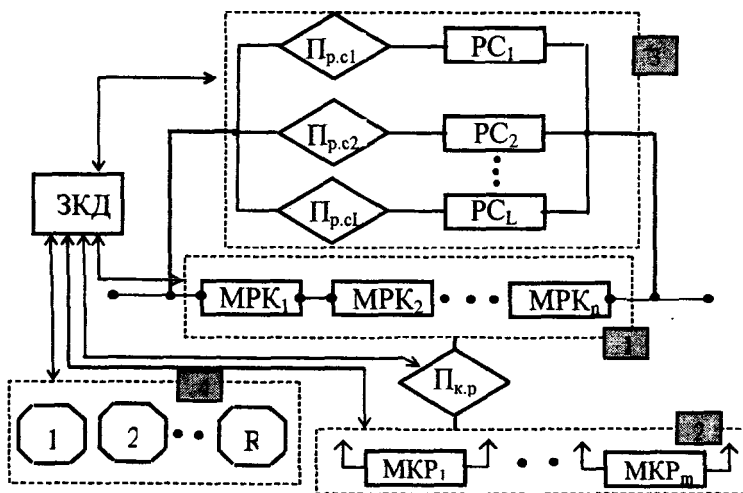


Рис. 1. Структурна схема надійності відмовостійкої системи з ковзним резервуванням в групі однотипних модулів і загальним заміщувальним резервуванням цієї групи:
 1 – модулі робочої конфігурації основної системи;
 2 – модулі ковзного резерву основної системи;
 3 – резервні системи; 4 – ремонтний орган;
 ЗКД – засоби контролю та діагностики

Система оснащена засобами контролю та діагностики (ЗКД), які здійснюють управління резервним ресурсом. Контроль працездатності працюючої системи здійснюється неперервно і сигнал про втрату працездатності системи виникає в момент відмови. Від ЗКД поступають команди на відповідні пристрої перемикавання, а також в ремонтний орган. Можливості ЗКД з виявлення та локалізації відмов для модулів основної системи і резервних систем є різними, тому що ці процедури виконуються за певний час і з певними ймовірностями. Для відмовостійкої системи, що розглядається, ЗКД мають такі можливості:

1) виявляти факт відмови одного з модулів робочої конфігурації чи ковзного резерву основної системи;

2) локалізувати несправний модуль в основній системі, і якщо він належить до робочої конфігурації, подати “команду” на заміну його резервним;

3) виявляти факт відмови працюючої резервної системи і формувати сигнал (команду) на пристрій перемикання резервних систем;

4) виявляти факт відмови непрацюючої резервної системи.

У цій системі передбачено ремонт як несправних модулів, так і несправних резервних систем, який покладено на ремонтний орган. Кількість ремонтів для модулів і резервних систем є обмеженою, причому ремонт може бути успішним і неуспішним. Ремонт несправних модулів і резервних систем здійснюється у міру їх появи.

Під час формування надійнісної моделі відмовостійкої системи останню необхідно подати відповідними параметрами, а саме:

– n – кількість модулів в робочій конфігурації основної системи;

– m – кількість модулів ковзного резерву;

– $M = n + m$ – загальна кількість модулів основної системи;

– L – початкова кількість резервних систем загального фіксованого резервування;

– λ_m – інтенсивність відмов одного модуля в основній системі;

– λ_{prg} – інтенсивність відмов працюючої резервної системи;

– λ_{lprg} – інтенсивність відмов непрацюючої резервної системи;

можливості засобів контролю і діагностики:

– P_{vpp} – ймовірність виявлення порушення працездатності працюючої основної чи резервної системи;

– P_{lpm} – ймовірність локалізації несправного модуля;

– T_{lpm} – середнє значення часу, необхідного на локалізацію несправного модуля;

можливості пристроїв перемикання:

– P_{prg} – ймовірність підключення резервної системи (характеризує ненадійність пристрою вмикання/вимикання резервної системи);

– P_{zpm} – ймовірність заміни несправного модуля резервним (характеризує ненадійність пристрою перемикання ковзного резерву);

– T_{rpm} – середнє значення часу, необхідного для підключення резервного модуля;

T_{prg} – середнє значення часу, необхідного для підключення резервної системи;

можливості ремонтного органу:

– R – кількість ремонтників в ремонтному органі;

– T_{rs} – середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт резервної системи;

– P_{vps} – ймовірність відновлення працездатності резервної системи (характеризує кваліфікацію ремонтника);

– S_{rs} – максимальна кількість ремонтів для несправних резервних систем;

– T_{tm} – середнє значення інтервалу часу, необхідного на ремонт модуля основної системи;

– S_{mos} – максимальна кількість ремонтів для несправних модулів основної системи;

– P_{vpm} – ймовірність відновлення працездатності несправного модуля основної системи (характеризує кваліфікацію ремонтника).

Для уявлення поведінки відмовостійкої системи складається перелік подій, які можуть відбуватися у цій системі (табл. 1). Події відображають початок і кінець відповідного часового інтервалу, який відповідає певному стану системи. Тому під час формування їх переліку необхідно подавати події парами.

Якщо тривалість певної процедури порівняно з іншими є дуже малою і прийнятним є допущення, що ця тривалість є такою, що дорівнює нулю, то з подальшого розгляду пара подій, яка відповідає цій процедурі, знімається. У цій моделі час підключення резервної системи прийнято таким, що дорівнює нулю. А тому пара подій “Початок процедури підключення резервної системи” – “Закінчення процедури підключення резервної системи” з подальшого розгляду вилучається.

12-та 13-та пари подій являють собою один нерозривний ланцюг. Тому їх можна замінити однією парою подій: “Початок процедури локалізації несправного модуля” – “Закінчення процедури підключення резервного модуля”.

Час очікування початку ремонту і час ремонту також являють собою один нерозривний ланцюг. Тому в подальшому розгляді фігурує пара подій “Початок очікування ремонту” і “Закінчення ремонту ...”.

Таблиця 1

Представлення пар подій, які фіксують початок і закінчення часового інтервалу перебування досліджуваної відмовостійкої системи в певному стані

Пор. № пари подій	Подія, яка фіксує початок ...	Подія, яка фіксує закінчення ...	Середня тривалість часового інтервалу між подіями, с
1	“Початок роботи системи”	“Катастрофічна відмова”	\bar{t}_1
2	“Початок роботи системи”	“Відмова модуля робочої конфігурації основної системи”	\bar{t}_2
3	“Початок роботи системи”	“Відмова резервного модуля основної системи”	\bar{t}_3
4	“Початок роботи системи”	“Відмова непрацюючої резервної системи”	\bar{t}_4
5	“Початок процедури підключення резервної системи”	“Закінчення процедури підключення резервної системи”	\bar{t}_5
6	“Початок роботи резервної системи замість основної”	“Відмова працюючої резервної системи”	\bar{t}_6
7	“Початок роботи резервної системи замість основної”	“Відключення резервної системи і включення замість неї основної”	\bar{t}_7
8	“Початок очікування ремонту”	“Закінчення очікування ремонту”	\bar{t}_8
9	“Початок звертання до ремонтного органа”	“Закінчення звертання до ремонтного органа”	\bar{t}_9
10	“Початок ремонту несправного модуля основної системи”	“Закінчення ремонту несправного модуля основної системи”	\bar{t}_{10}
11	“Початок ремонту несправної резервної системи”	“Закінчення ремонту несправної резервної системи”	\bar{t}_{11}
12	“Початок процедури локалізації несправного модуля”	“Закінчення процедури локалізації несправного модуля”	\bar{t}_{12}
13	“Початок процедури підключення резервного модуля”	“Закінчення процедури підключення резервного модуля”	\bar{t}_{13}

Розроблення структурно-автоматної моделі

Формування компонент вектора станів системи

Вектор станів дає змогу описати довільний стан, в якому може перебувати відмовостійка система. Вектор станів цієї відмовостійкої системи необхідно подавати такими компонентами: V1 – відображає поточну кількість працездатних модулів в робочій конфігурації основної системи (початкове значення компоненти V1 дорівнює кількості модулів робочої конфігурації n); V2 – відображає поточну кількість працездатних модулів ковзного резерву основної системи (початкове значення компоненти V2 дорівнює кількості модулів ковзного резерву m); V3 – лічильник кількості ремонтів несправних модулів основної системи (початкове значення компоненти V3 дорівнює нулю); V4 – лічильник кількості ремонтів несправних резервних систем (початкове значення компоненти V4 дорівнює нулю); V5 – відображає поточну кількість працездатних резервних систем, які є в резерві (початкове значення компоненти V5 дорівнює кількості резервних систем L); V6 –

вказує, яка система – основна чи резервна – виконує задану функцію ($V_6=1$, якщо задану (цільову) функцію виконує основна система; $V_6=2$, якщо задану функцію виконує одна з резервних систем; $V_6=0$, якщо задана функція не виконується); V_7 – відображає кількість модулів, що перебувають в ремонті (початкове значення компоненти V_7 дорівнює нулю); V_8 – відображає кількість резервних систем, що перебувають в ремонті (початкове значення компоненти V_8 дорівнює нулю); V_9 – відображає поточну загальну кількість модулів основної системи (початкове значення компоненти V_9 дорівнює сумі $n + m$); фіксує кількість вилучених модулів; V_{10} – відображає поточну загальну кількість резервних систем (початкове значення компоненти V_{10} дорівнює початковій кількості резервних систем L); ця компонента вектора станів фіксує кількість вилучених систем.

Формування компонент структурно-автоматної моделі

Формування множини базових подій

З множини усіх подій (табл. 1) необхідно виділити базові події моделі [1]. У подальшому описі використано умовні позначення для базових і супутніх подій. Наприклад: “Подія 1.0” – цифри 1.0 вказують на те, що це є перша базова подія. “Подія 1.1” – це позначення читається так: друга цифра 1 вказує на те, що ця подія є першою супутньою подією, а перша цифра 1 вказує на те, що ця супутня подія “прив’язана” (супроводжує) до першої базової події. Беручи до уваги те, що одна і та сама супутня подія може фігурувати для кількох базових подій, її умовне позначення є однаковим в усіх випадках.

Подія 1.0 – “Відмова модуля робочої конфігурації основної системи”. Подія 1.1 – “Початок роботи резервної системи замість основної”. Подія 1.2 – „Початок процедури локалізації несправного модуля”.

Подія 2.0 – “Відмова резервного модуля основної системи”. Подія 2.1 – “Початок очікування ремонту”.

Подія 3.0 – “Закінчення процедури підключення резервного модуля”. Подія 2.1 – “Початок очікування ремонту”. Подія 3.1 – “Відключення резервної системи і включення замість неї основної”

Подія 4.0 – “Відмова працюючої резервної системи”. Подія 1.1 – “Початок роботи резервної системи замість основної”. Подія 4.1 – “Початок очікування ремонту несправної резервної системи”.

Подія 5.0 – “Відмова непрацюючої резервної системи”. Подія 4.1 – “Початок очікування ремонту несправної резервної системи”.

Подія 6.0 – “Закінчення ремонту несправної резервної системи”. Після успішного ремонту збільшується кількість резервних систем.

Подія 7.0 – “Закінчення ремонту несправного модуля основної системи”. Після успішного ремонту поповнюється резерв модулів основної системи.

Отже, для побудови моделі базовими є визначені 7 подій.

Наслідки, до яких приводить та чи інша подія, залежать від умов та обставин, за яких ця подія реалізується. Умова – це складова опису ситуації, яка супроводжує подію завжди. Обставина – це складова опису ситуації, яка може супроводжувати, а може і не супроводжувати цю подію. Тому кожній базовій події ставлять у відповідність умови та обставини з множини умов та обставин.

В цих пунктах показано методику визначення решти компонент САМ. В повному обсязі САМ представлено таблицею 2.

Визначення умов та обставин та їх формалізоване подання

Подія 1.0 – “Відмова модуля робочої конфігурації основної системи” може відбуватися за умови, що в структурі основної системи є працездатні модулі ($V_1 > 0$) і при семи обставинах:

1-ша обставина – цільову функцію системи виконує основна система ($V_6=1$) та є працездатні резервні системи ($V_5 > 0$); в ремонтному органі є незадіяні до ремонту ремонтники ($(R-(V_7+V_8)) > 0$) і кількість проведених ремонтів в сумі з кількістю модулів, що ремонтуються, і кількістю модулів, що чекають на ремонт, є менша за максимально допустиму ($(V_3+V_9-V_1-V_2) < S_{mos}$). Логічний вираз для такої ситуації має вигляд

$$(V_1 > 0) \text{ AND } (V_6 = 1) \text{ AND } (V_5 > 0) \text{ AND } ((R - (V_7 + V_8)) > 0) \text{ AND } ((V_3 + V_9 - V_1 - V_2) < S_{mos}).$$

За цієї обставини несправний модуль одразу після відмови поступає безпосередньо в ремонт.

Формування формул для розрахунку інтенсивностей переходів

Умови та обставини, за яких відбуваються події, визначають інтенсивності переходів із стану в стан. Тому для кожної умови і обставини з множини умов та обставин формується формула розрахунку інтенсивності переходу (ФРП), який обумовлений інтенсивністю відповідної події.

Інтенсивність події 1.0 для відповідних поточних станів визначають інтенсивність відмови модуля і кількість працездатних модулів в поточному стані, а, отже, ФРП матиме такий вигляд: $V1 \cdot \lambda_m$.

Формування формул для розрахунку ймовірностей альтернативних переходів

Під час визначення напрямів переходів із поточного стану в інші стани необхідно враховувати дію всіх випадкових чинників. Якщо таких чинників більше ніж один, то вони породжують групу альтернативних переходів. В таких випадках кожній ФРП ставиться у відповідність група альтернативних переходів і для них формуються формули розрахунку ймовірностей альтернативних переходів (ФРЙАП).

У розглянутій відмовостійкій системі для події 1.0 за перших трьох обставин існує альтернатива, адже модуль, що відмовив, знаходився в складі робочої конфігурації і відповідний перемикач по команді ЗКД повинен включити в роботу чергову резервну систему. Враховуючи ненадійність перемикача, яка характеризується ймовірністю підключення резервної системи P_{prs} , бачимо, що подію 1.0 супроводжують два альтернативні переходи з ймовірностями: $P_{10}=P_{prs}$ і $P_{11}=(1-P_{prs})$.

Формування правил модифікацій компонент вектора станів

Наслідки події 1.0 за 1-ї обставини визначають два альтернативні переходи:

перший перехід відбувається з ймовірністю P_{10} ; в результаті зменшується кількість працездатних модулів в робочій конфігурації основної системи і виконання цільової функції передається резервній системі. При цьому збільшується кількість несправних модулів, які перебувають в ремонті; зменшується загальна кількість працездатних модулів основної системи. Отже, правило модифікації компонент вектора станів (ПМВС) для цієї ситуації записується в такий спосіб: $V1:=V1-1$; $V6:=2$; $V7:=V7+1$.

Формування критерію катастрофічної відмови в системі

Критерієм катастрофічної відмови системи є опис ситуації, коли кількість працездатних модулів в основній системі є меншою від необхідної кількості модулів в робочій конфігурації і відсутні працездатні резервні системи, тобто $((V1 < n) \text{ AND } (V5 = 0)) \text{ OR } (V6 = 0)$.

САМ відмовостійкої системи для зручності введення в програмний засіб подана у вигляді табл. 2.

Таблиця 2

Структурно-автоматна модель відмовостійкої системи з ковзним резервуванням однотипних модулів основної системи і загальним її заміщувальним резервуванням резервними системами

Базові події	Умови і обставини	ФРП	ФРЙАП	ПМВС
1	2	3	4	5
1. Відмова модуля робочої конфігурації	$(V1 > 0) \text{ AND } (V6 = 1) \text{ AND } (V5 > 0) \text{ AND } ((R - (V7 + V8)) > 0) \text{ AND } ((V3 + V9 - V1 - V2) < S_{mos})$	$V1 \cdot \lambda_m$	P_{10}	$V1 := V1 - 1$; $V6 := 2$; $V7 := V7 + 1$
	P_{11}		$V1 := V1 - 1$; $V5 := 0$	
	$(V1 > 0) \text{ AND } (V6 = 1) \text{ AND } (V5 > 0) \text{ AND } ((R - (V7 + V8)) = 0) \text{ AND } ((V3 + V9 - V1 - V2) < S_{mos})$	$V1 \cdot \lambda_m$	P_{10}	$V1 := V1 - 1$; $V6 := 2$
	P_{11}		$V1 := V1 - 1$; $V5 := 0$	
	$(V1 > 0) \text{ AND } (V6 = 1) \text{ AND } (V5 = 0)$	$V1 \cdot \lambda_m$	1	$V1 := V1 - 1$

1	2	3	4	5
	$(V1>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$V1 \cdot \lambda m$	1	$V1:=V1-1; V7:=V7+1$
	$(V1>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((R-(V7+V8))=0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$V1 \cdot \lambda m$	1	$V1:=V1-1$
	$(V1>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)=S_{mos})$	$V1 \cdot \lambda m$	1	$V1:=V1-1; V9:=V9-1$
2. Відмова модуля ковзного резерву	$(V2>0) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$V2 \cdot \lambda m$	1	$V2:=V2-1; V7:=V7+1$
	$(V2>0) \text{ AND } ((R-(V7+V8))=0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$V2 \cdot \lambda m$	1	$V2:=V2-1$
	$(V2>0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)=S_{mos})$	$V2 \cdot \lambda m$	1	$V2:=V2-1; V9:=V9-1$
3. Закінчення процедури підключення модуля ковзного резерву	$(V1=(n-1)) \text{ AND } (V2>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$1/T_{prtm}$	P_{30}	$V1:=V1+1; V2:=V2-1; V6:=1$
			P_{31}	$V2:=V2-1; V7:=V7+1$
	$(V1=(n-1)) \text{ AND } (V2>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((R-(V7+V8))=0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$1/T_{prtm}$	P_{30}	$V1:=V1+1; V2:=V2-1; V6:=1$
			P_{31}	$V2:=V2-1$
	$(V1=(n-1)) \text{ AND } (V2>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)=S_{mos})$	$1/T_{prtm}$	P_{30}	$V1:=V1+1; V2:=V2-1; V6:=1$
			P_{31}	$V2:=V2-1; V9:=V9-1$
$(V1<(n-1)) \text{ AND } (V2>0) \text{ AND } (V6=2) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V3+V9-V1-V2)<S_{mos})$	$1/T_{prtm}$	P_{30}	$V1:=V1+1; V2:=V2-1$	
		P_{31}	$V2:=V2-1; V7:=V7+1$	
4. Відмова працюючої резервної системи	$(V6=2) \text{ AND } (V5>1) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)<S_{rs})$	λ_{prs}	P_{40}	$V5:=V5-1; V8:=V8+1$
			P_{41}	$V6:=0$
	$(V6=2) \text{ AND } (V5>1) \text{ AND } ((R-(V7+V8))=0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)<S_{rs})$	λ_{prs}	P_{40}	$V5:=V5-1$
			P_{41}	$V6:=0$
$(V6=2) \text{ AND } (V5>1) \text{ AND } ((V4+V10-V5)=S_{rs})$	λ_{prs}	P_{40}	$V5:=V5-1; V10:=V10-1$	
		1	$V6:=0$	
5. Відмова непрацюючої резервної системи	$(V6=1) \text{ AND } (V5>0) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)<S_{rs})$	$V5 \cdot \lambda nrs$	1	$V5:=V5-1; V8:=V8+1$
	$(V6=1) \text{ AND } (V5>0) \text{ AND } ((R-(V7+V8))=0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)<S_{rs})$	$V5 \cdot \lambda nrs$	1	$V5:=V5-1$
	$(V6=1) \text{ AND } (V5>0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)=S_{rs})$	$V5 \cdot \lambda nrs$	1	$V5:=V5-1; V10:=V10-1$
	$(V6=2) \text{ AND } (V5>1) \text{ AND } ((R-(V7+V8))>0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)<S_{rs})$	$(V5-1) \cdot \lambda nrs$	1	$V5:=V5-1; V8:=V8+1$
	$(V6=2) \text{ AND } (V5>1) \text{ AND } ((R-(V7+V8))=0) \text{ AND } ((V4+V10-V5)<S_{rs})$	$(V5-1) \cdot \lambda nrs$	1	$V5:=V5-1$
	$(V6=2) \text{ AND } (V5>1) \text{ AND } ((V4+V10-V5)=S_{rs})$	$(V5-1) \cdot \lambda nrs$	1	$V5:=V5-1; V10:=V10-1$
6. Закінчення ремонту несправної резервної системи	$(V8>0) \text{ AND } ((V10-V5-V8)>0)$	$1/T_{rs}$	P_{60}	$V4:=V4+1; V5:=V5+1$
			P_{61}	$V4:=V4+1; V10:=V10-1$
	$(V8>0) \text{ AND } ((V10-V5-V8)=0) \text{ AND } ((V9-V1-V2-V7)>0)$	$1/T_{rs}$	P_{60}	$V4:=V4+1; V5:=V5+1; V8:=V8-1; V7:=V7+1$
			P_{61}	$V4:=V4+1; V10:=V10-1; V8:=V8-1; V7:=V7+1$

1	2	3	4	5
	$(V8 > 0) \text{ AND } ((V10 - V5 - V8) = 0) \text{ AND } ((V9 - V1 - V2 - V7) = 0)$	$1/Trs$	P_{60}	$V4 := V4 + 1; V5 := V5 + 1; V8 := V8 - 1$
			P_{61}	$V4 := V4 + 1; V10 := V10 - 1; V8 := V8 - 1$
7. Закінчення ремонту несправного модуля основної системи	$(V2 < m) \text{ AND } (V7 > 0) \text{ AND } ((V10 - V5 - V8) > 0)$	$1/Trm$	P_{70}	$V3 := V3 + 1; V2 := V2 + 1; V7 := V7 - 1; V8 := V8 + 1$
			P_{71}	$V3 := V3 + 1; V7 := V7 - 1; V8 := V8 + 1; V9 := V9 - 1$
	$(V2 < m) \text{ AND } (V7 > 0) \text{ AND } ((V10 - V5 - V8) = 0) \text{ AND } ((V9 - V1 - V2 - V7) > 0)$	$1/Trm$	P_{70}	$V3 := V3 + 1; V2 := V2 + 1$
			P_{71}	$V3 := V3 + 1; V9 := V9 - 1$
	$(V2 < m) \text{ AND } (V7 > 0) \text{ AND } ((V10 - V5 - V8) = 0) \text{ AND } ((V9 - V1 - V2 - V7) = 0)$	$1/Trm$	P_{70}	$V3 := V3 + 1; V2 := V2 + 1; V7 := V7 - 1$
			P_{71}	$V3 := V3 + 1; V7 := V7 - 1; V9 := V9 - 1$
Критерій катастрофічної відмови $((V1 < n) \text{ AND } (V5 = 0)) \text{ OR } (V6 = 0)$				

Розв'язання задачі надійнісного проектування відмовостійкої системи

Застосування програмної моделі для розв'язання задач надійнісного проектування відмовостійкої системи, що розглядається, проілюструємо прикладом. Надійність такої складної відмовостійкої системи визначається 20-ма параметрами, які наведені вище в її описі. Невдалий вибір значень цих параметрів призведе до того, що відмовостійка система матиме надлишковий ресурс, який не забезпечуватиме підвищення надійності.

Дослідження надійності розпочнемо за таких значень параметрів відмовостійкої системи: $n = 2$; $m = 1$; $L = 1$; $\lambda m = 10^{-4}$; $\lambda prs = 10^{-3}$; $\lambda nrs = 10^{-4}$; $Pvpp = 1$; $Plnm = 1$; $Tlnm + Trpm = 0,1$ год; $Pprs = 1$; $Pznm = 1$; $Trps = 0$; $R = 2$; $Trs = 0,1$ год; $Pvps = 1$; $Srs = 4$; $Trm = 0,1$ год; $Smos = 1$; $Pvpm = 1$.

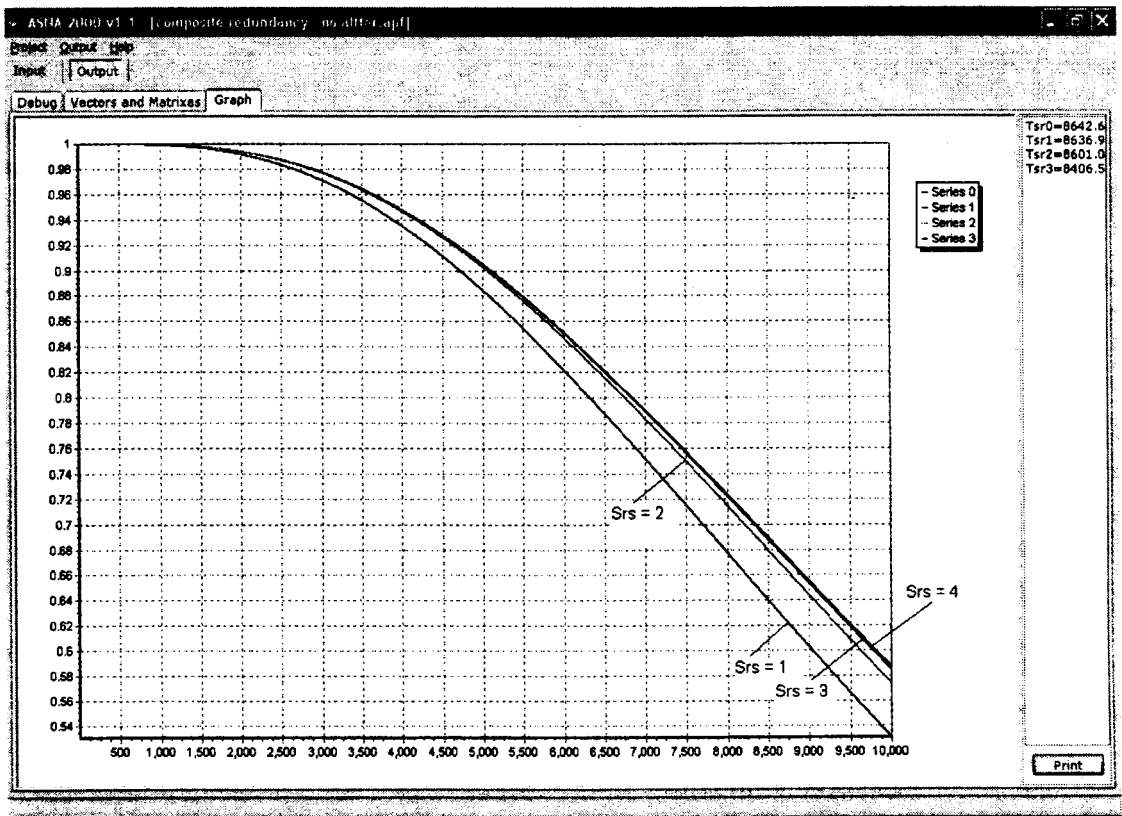


Рис. 2. Залежності ймовірності безвідмовної роботи за час t при різних значеннях кількостей ремонтів резервних систем ($Srs = 1; 2; 3; 4$)

Зауважимо, що максимальна кількість ремонтів для несправних модулів та систем визначається комплектацією запасних компонентів.

За заданих параметрів модель відмовостійкої системи у вигляді графа станів і переходів має 80 станів і 296 переходів, що і визначає розмірність системи диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена.

За допомогою програмної моделі проведемо дослідження впливу зменшення кількості ремонтів на середнє значення часу роботи до катастрофічної відмови. Результати досліджень, наведені на рис. 2, показали, що зменшення кількості ремонтів з 4-х до 3-х при зафіксованих значеннях решти параметрів на надійність не впливає (при $S_{rs} = 4$, $t_{роб} = 8642,6$ год, а при $S_{rs} = 3$, $t_{роб} = 8636,9$). Якщо для системи, що проектується, технічними умовами обумовлено середнє значення часу роботи до катастрофічної відмови 8500 годин, то очевидно, що необхідно передбачити комплектацію запасних компонентів на два ремонти. Аналогічні дослідження проводяться і для інших параметрів відмовостійкої системи.

1. Волочій Б.Ю. *Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем*. – Львів, 2004. 2. *Надежность технических систем: Справочник* / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. – М., 1985. 3. *Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т.5: Проектный анализ надежности* / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. – М., 1988.

УДК 621.3

Я.М. Матвійчук

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювань

ОЦІНКА РОЗМІРНОСТІ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ЧЕРЕЗ КОРЕЛЯЦІЙНУ РОЗМІРНІСТЬ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ

© Матвійчук Я.М., 2005

Описано універсальний метод, що дає змогу отримати надійну оцінку розмірності нелінійної системи лише за одним скалярним вихідним сигналом, причому оцінка не залежить від того, який саме вихідний сигнал системи використано.

The universal method which allows to receive a reliable estimation of a nonlinear system dimension only by one scalar output signal is described. The estimation does not depends on what an output signal of the system is used.

Вступ

Під час побудови математичних моделей нелінійних динамічних систем дуже корисною є попередня оцінка розмірності системи. Така оцінка дає змогу уникнути надмірної складності моделі та пов'язаної з нею некоректності. Поширені методи оцінюють розмірність за характерними ознаками перехідного процесу, важко формалізуються та є ефективними для систем невисокого порядку, як правило, лінійних.

Основна частина

Нехай вихідний сигнал системи залежить від вектора змінних стану

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_N). \quad (1)$$

Оскільки фазові змінні системи x_1, x_2, \dots, x_N переважно недоступні для прямого спостереження, то розглянемо поведінку системи у псевдофазовому просторі з координатами

$$y(t), \quad dy(t)/dt, \quad d^2y(t)/dt^2, \dots, \quad d^{M-1}y(t)/dt^{M-1}, \quad (2)$$

де $y(t)$ – вихідний сигнал системи.