

К.т.н., доцент Потапова К.Р.,
студент Ладнюк С.В., студент Романкевич Д.Є.

Національний технічний університету України
«Київський політехнічний інститут»

ЗАЛЕЖНІСТЬ НАДІЙНОСТІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ БАГАТОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ ВІД СТЕПЕНЯ ЇЇ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ

Abstract

Kateryna R. Potapova, assoc. prof., PhD;

Sergiy Ladnyuk, student; Denys Romankevych, student

The dependence of reliability of fault-tolerant multiprocessor system from grade of it fault-tolerance

Variation of basic fault-tolerant multiprocessor systems with different fault-tolerance grade reliability parameters is investigated. Graphs of calculation results for systems contain some types of microprocessors and have different fault-tolerance performed on statistic experiment basis are presented.

Вступ

На даний момент напрацьований достатній досвід використання обчислювальної техніки в системах, що виконують найважливіші задачі розрахунку і управління складними і відповідальними об'єктами. Зокрема, це стосується небезпечного виробництва, об'єктів енергетики (в першу чергу – атомних електростанцій), транспорту (авіація, залізниця, метрополітен), військова і космічна техніка. Помилки або затримки в роботі таких систем приводять до значних економічних збитків та екологічних катастроф, а в деяких випадках можлива значна шкода здоров'ю і, навіть, людські жертви. Для запобігання подібних негативних наслідків була розроблена система вимог до надійності і, згодом, гарантоздатності (dependability) таких об'єктів.

Гарантоздатність – це поняття, напрацьоване останніми десятиріччями в умовах ринкової економіки. Воно враховує особливості декількох наукових галузей, у тому числі теорії надійності і теорії захисту інформації. Його впровадження дозволило усунути поняття, що використовувалися раніше та частково перетиналися. Таким чином, вдалося уникнути плутанини. В цілому, система вимог з гарантоздатності

відповідає на питання – чи можна виправдано довіряти деякій системі при розв’язанні певної задачі - і об’єднує низку незалежних критеріїв, таких як безвідмовність, готовність, зручність обслуговування та ін. [1]

Предметом даного дослідження є зміна ймовірності безвідмовної роботи відмовостійкої багатопроцесорної системи (ВБС) при збільшенні степеню відмовостійкості системи.

Зі збільшенням рівня інтеграції і, відповідно, складності мікросхем, задача забезпечення необхідного рівня надійності окремих елементів ускладнюється и не завжди може бути вирішена. Одним з методів забезпечення необхідного рівня безвідмовної роботи є розробка комп’ютерної системи, яка здатна зберігати роботоздатність при виході з ладу деяких її складових частин. Подібні системи називаються відмовостійкими (fault tolerant). Для отримання такої властивості системи необхідно виконати ряд дій. На етапі проектування потрібно виконати прогнозування і попередження можливих відмов. Під час експлуатації – ідентифікувати і усунути відмову, для чого, з одного боку, в систему необхідно ввести надлишковість і, з другого боку, повинен існувати алгоритм реконфігурації системи. В найпростішому випадку застосовується мажоритарне резервування деяких елементів. Додавання надлишкових елементів варто уникати не тільки тому, що воно викликає зменшення продуктивності через часові затрати на діагностику і зростання вартості розроблюваного продукту, але і тому, що зі збільшенням кількості елементів системи закономірно зменшується її надійність в цілому [1,2], якщо вони не спрямовані безпосередньо на підвищення надійності.

Особливий інтерес представляє розробка невеликих багатопроцесорних комп’ютерних систем, що використовуються для управління складним об’єктом. Такі системи, на відміну від обчислювальних комп’ютерних систем, мають менш однорідну структуру і містять меншу кількість процесорів, що значно ускладнює задачу реконфігурації системи при відмові і, тим самим, перешкоджає досягненню необхідного рівня відмовостійкості. Відзначимо, що в таких системах має бути забезпечений високий рівень надійності.

Розроблено декілька методів забезпечення і підвищення відмовостійкості комп’ютерних систем. Дві основні особливості таких методів: спосіб виявлення і локалізації відмови та алгоритм реконфігурації. Одним з методів підвищення відмовостійкості є зміна степеню відмовостійкості системи, якщо це можливо при даній надлишковості і реконфігурації по існуючій схемі. Простим і ефективним методом підвищення степеню відмовостійкості є збільшення числа процесорів.

Постановка задачі

В зв'язку з викладеним стає вартою розгляду задача визначення залежності значення надійності комп'ютерної системи від степеню відмовостійкості та кількості процесорів. У випадку однакової інтенсивності потоків відмов процесорів така задача є тривіальною, але якщо вже маємо більше двох груп процесорів з різними інтенсивностями потоків відмов, пошук такої закономірності аналітичним шляхом практично неможливий. Раціональним стає використання статистичних методів.

Будемо вважати, що маємо три групи процесорів, що містять однакове число процесорів, з інтенсивностями потоків відмов $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Нехай загальна кількість процесорів – n , степінь відмовостійкості – m . Надійність багатопроесорної системи будемо характеризувати ймовірністю відмови Q при роботі протягом 1000 і 5000 годин.

Відомо, що для окремого процесорного елемента системи:

$$q_j = 1 - e^{-\lambda_j t},$$

якщо процесор, що розглядається, належить до j -ї групи.

В контексті надійності, система може знаходитися в 2^n станах, кожний з яких характеризується множиною процесорів, що відмовили, та множиною працюючих процесорів. Стан описується так званим вектором стану системи (ВСС) – двійковим вектором, кожний розряд якого описує стан відповідного елемента системи («0» - елемент відмовив, «1» - елемент роботоздатний).

Значення функції надійності P системи для фіксованого значення часу може бути визначено як сума ймовірностей знаходження системи в таких станах, коли вона є роботоздатною.

Ймовірність знаходження системи в деякому стані:

$$P(v) = \prod_{i=1}^n (v_i \cdot p_i + (1 - v_i) \cdot q_i), \text{ де}$$

v – ВСС, що характеризує даний стан,

p_i, q_i – ймовірності відповідно роботоздатності та нероботоздатності i -го процесорного елемента системи.

Оскільки розглядаються комп'ютерні системи, які мають степінь відмовостійкості m , достатньо розглянути тільки ВСС, які мають вагу (за Хемінгом) не більшу, ніж m . Таких ВСС існує C_n^m , що значно зменшує алгоритмічну складність розрахунку надійності. В інших станах, де кількість відмов перевищує m , система завідомо не є роботоздатною.

Хід експерименту, отримані результати та висновки

В першу чергу визначимо характер зміни показників надійності системи при збільшенні степеню відмовостійкості на одиницю.

Нехай багатопроцесорна система описується двома змінними: $K(m, n)$. Виберемо значення інтенсивності потоків відмов процесорних елементів:

$$\lambda_1 = 1 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1},$$

$$\lambda_2 = 1 \times 10^{-7} \text{ год}^{-1},$$

$$\lambda_3 = 5 \times 10^{-7} \text{ год}^{-1}.$$

Такі значення відповідають усередненим показникам надійності процесорів, наведених у [3].

Визначимо показники надійності для систем $K(3, 31)$, $K(4, 31)$, $K(4, 32)$, $K(4, 33)$. Результати дослідження приведемо у вигляді таблиці:

| | $K(3, 31)$ | $K(4, 31)$ | $K(4, 32)$ | $K(4, 33)$ |
|-------------|------------|------------|------------|------------|
| $Q(T=1000)$ | 1.35E-06 | 1.81E-08 | 2.14E-08 | 2.56E-08 |
| $Q(T=5000)$ | 2.27E-09 | 6.10E-12 | 7.23E-12 | 8.64E-12 |

Як бачимо, при переході від $m = 3$ до $m = 4$ відбувається стрибкоподібне підвищення надійності системи. Ймовірність відмови зменшується на 2-3 порядки в залежності від тривалості роботи. При збільшенні кількості процесорів надійність комп'ютерної системи поступово зменшується за класичною закономірністю.

Для визначення залежності надійності системи від степеню відмовостійкості та кількості процесорних елементів був проведений ряд експериментів зі статистичною моделлю у результаті якого одержані дані для значень m з множини $\{2, 3, 4, 5\}$, та n з множини $\{30, 40, 50, 70, 100\}$. По отриманим даним побудовані графіки з логарифмічною віссю Q (рис. 1, 2).

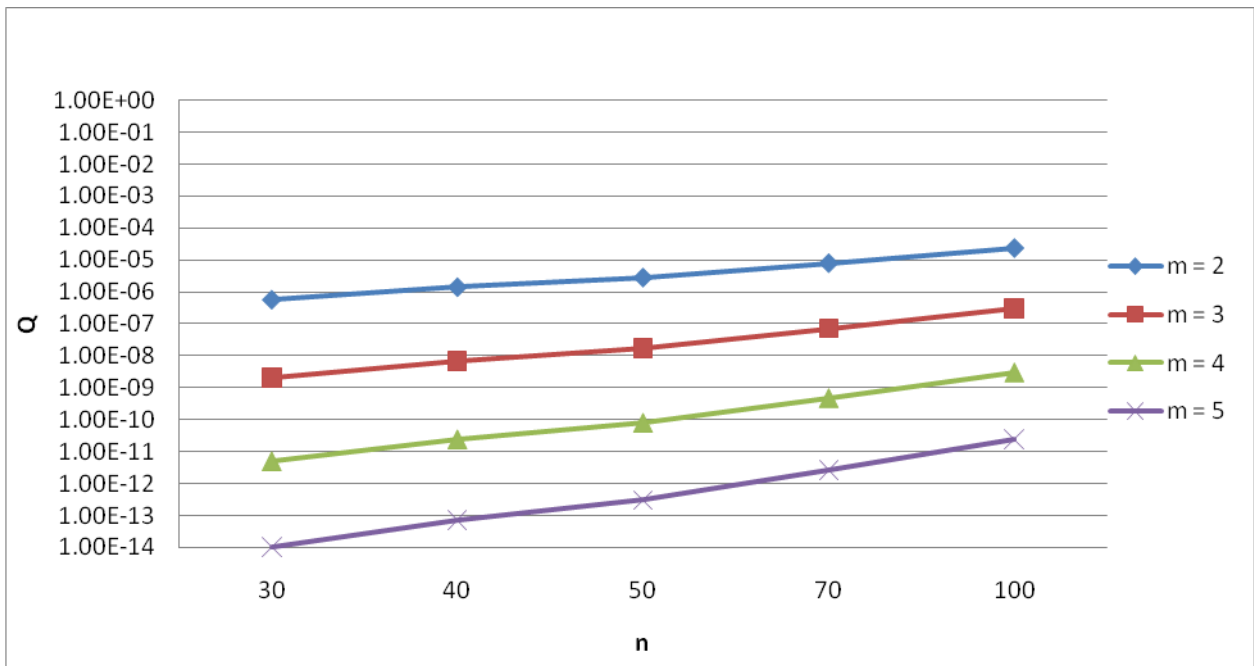


Рис. 1 Залежність надійності системи від степеню відмовостійкості та кількості процесорних елементів для $T = 1000$ годин.

Згідно з графіками можна зробити висновок, що стрибок показників надійності системи при збільшенні степеню відмовостійкості відбувається при всіх значеннях m і n , але величина стрибка повільно зменшується при зростанні m і n .

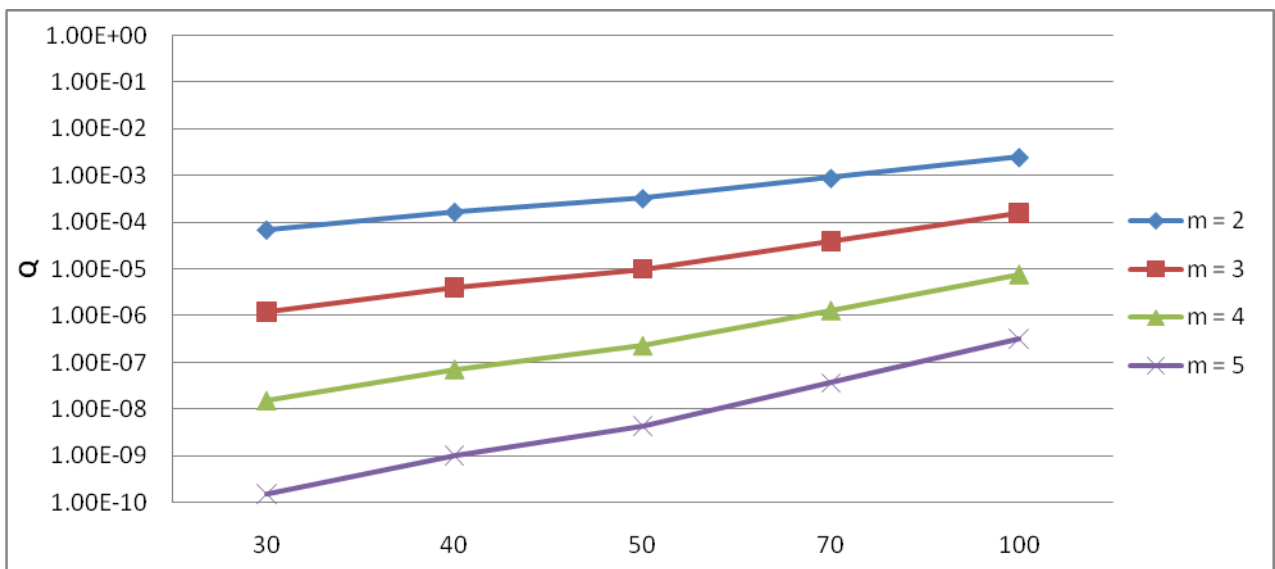


Рис. 2 Залежність надійності системи від степеню відмовостійкості та кількості процесорних елементів для $T = 5000$ годин.

Література

1. *В. С. Харченко.* Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.*- №5, 2006.- с.7-19
2. *В. С. Харченко.* Гарантоздатні системи та багатоверсійні обчислення: аспекти еволюції // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.*- №7, 2009.- с.46-60.
3. *Тарасенко В.П., Корнійчук В.І., Маламан А.Ю., Черниченко Ю.П.* Надійність комп'ютерних систем.- Вид-во «Корнійчук».- 2007.- Київ.- 256 с.