

Н. Г. Кучук, А. П. Шиман, А. М. Філоненко, С. С. Бульба

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ

Анотація. В статті розглядаються самовідновлювальні комп'ютерні системи (СВКС). Предметом досліджень є методи розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів у комп'ютерних системах. Мета статті полягає у розробленні підходу до розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи, орієнтованого на особливості самовідновлювальних структур. Використаними методами є методи дослідження систем масового обслуговування. Отримані такі результати: формалізовано завдання розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів; розроблено алгоритм пошуку прийнятних значень ступеню завантаженості пучка каналів компонент; запропоновано спосіб знаходження оптимального інформаційного навантаження компонентів СВКС за комплексним показником. **Висновки.** Розроблено метод розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи, орієнтованого на особливості самовідновлювальних структур. Метод дозволяє при синтезі інформаційної структури СВКС отримати числові значення відповідних характеристик технічних засобів базової мережі СВКС з метою забезпечення середнього мінімального часу доставки повідомлень і ймовірності відмови в обслуговуванні пакетів в допустимих межах.

Ключові слова: самовідновлювальна комп'ютерна система, самовідновлення, обчислювальні ресурси.

Вступ

Самовідновлювальні комп'ютерні системи (СВКС) дозволяють автоматично виявляти збої у процесі функціонування системи та швидко відновитися після них.

Самовідновлення засноване на таких етапах: програмне забезпечення, що автоматично відстежує функціонування системи; діагностування проблеми; автоматичне знаходження відповідного рішення; тестування і впровадження рішення з метою відновлення системи до нормальної функціонування. Після усунення проблеми знову запускається цикл самовідновлення, що має такі функції (рис. 1): *моніторинг*, процес збору важливої інформації, необхідної для аналізу; *аналізування*, допомагає визначити дію, яку потрібно здійснити шляхом порівняння інформації про стан із вимогами системи; *діагностування*, процес виявлення всіх життєво важливих несправностей, помилок або змін у системі; *відновлення*, складається з планування та виконання; плануються дії, які безумовно необхідні, план виконується досконало для досягнення бажаного результату для програмного забезпечення чи системи [1, 2]; *накопичення знань*, ця функція є важливою, оскільки містить усі відповідні знання, спожиті та отримані попередніми чотирма функціями [3].

Але забезпечуючи раннє виявлення і відновлення комп'ютерної системи, СВКС можуть значно знизити показники QoS [4-7]. Тому виникає необхідність підвищення ефективності обчислювальних ресурсів системи, враховуючи на особливості функціонування СВКС. При цьому необхідно мати відповідний апарат оцінки ефективності.

Аналіз літературних джерел і постановка завдання. Підходи до оцінки ефективності використання обчислювальних ресурсів системи розглянуті у [8-11], але вони не орієнтовані на самовідновлювальні системи. Тому метою статті є розроблення

підходу до розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи, орієнтованого на особливості самовідновлювальних структур.



Рис. 1. Цикл самовідновлення

Результати досліджень

1. Формалізація завдання розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів. Процес функціонування кожного i -го компонента СВКС ($i \in \overline{1, I}$) моделюється у вигляді системи масового обслуговування (СМО) з обмеженою чергою, до якої надходить потік заявок з інтенсивністю λ_i та інтенсивністю обслуговування μ_i . Кількість місць в черзі для i -го компонента дорівнює m_i . У загальному випадку черги пов'язані з обмеженістю входу до кожного модуля. Вхід утворюється пучком із n каналів і загальним буфером, що містить t елементів пам'яті. У випадку пуассонівського потоку вхідних заявок завдання мінімізації середнього часу затримки пакета запиту вирішується шляхом оптимізації середнього часу затримки \bar{T}_{spec} за комплексним показником для кожного i -го компонента:

$$\chi_i = f(n_i, m_i), \quad (1)$$

де χ_i – ступінь завантаження кожного із n_i каналів компонента СВКС.

Докладно розглянемо завдання визначення мінімальної ймовірності відмови в обслуговуванні для загального випадку характеру інтенсивності вхідних заявок. Розрахунок величини середнього значення максимальної ймовірності відмови \bar{P}_{fail}^{\max} визначається такими кількісними характеристиками параметрів інтегрованої програмної платформи: F_i – обсяг інформаційного обміну; V_i – середня пропускна спроможність каналів; m_i – ємність буферної пам'яті. Середня кількість зайнятих каналів для i -го модуля базової мережі визначається як

$$\bar{z}_i = \rho_i \left(1 - \frac{\rho_i^{n_i+m_i}}{n_i^{m_i} \cdot n_i!} \cdot P_0 \right), \quad (2)$$

де $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ – приведена інтенсивність потоку заявок, при цьому ймовірність відмови в обслуговуванні чергового пакету, що надійшов до i -го компонента СВКС через відсутність місць в черзі є такою:

$$P_{i, fail} = \frac{\rho_i^{n_i+m_i}}{n_i^{m_i} \cdot n_i!}, \quad (3)$$

а P_0 – імовірність того, що канали вільні, немає черги і заявок на обслуговування, розраховується як

$$P_0 = \left(\sum_{\alpha=0}^{n_i-1} \frac{(n_i \cdot \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \cdot \chi_i)^{n_i}}{n_i!} \cdot \frac{1 - \chi_i^{m_i+1}}{1 - \chi_i} \right)^{-1}, \quad (4)$$

де $\chi_i = \rho_i / n_i$ – ступінь завантаження каналів i -го компонента СВКС.

Середня кількість заявок, що знаходяться в черзі, може бути знайдена як

$$\bar{r}_i = P_{i, fail} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)}, \quad (5)$$

Середня кількість заявок до i -го компонента визначиться з виразу:

$$\bar{W}_i = \bar{z}_i + \bar{r}_i. \quad (6)$$

З урахуванням виразів (2-5) вираз (6) буде таким:

$$\bar{W}_i = n_i \chi_i (1 - P_{i, fail}) + P_{i, fail} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)}. \quad (7)$$

Це співвідношення є вірним для будь-якого компонента СВКС в якому значення ρ не залежить від напрямку передачі, тобто

$$\chi_i = \rho / n_i \approx \chi. \quad (8)$$

Ймовірності втрат в кожному i -му компоненті можна приблизно порівняти одне до одного, тобто

$$P_{i, fail} \approx \bar{P}_{fail}. \quad (9)$$

Використовуючи формулу Літгла для окремих модулів [12] маємо

$$\gamma \bar{T}_{spec} = k \bar{W}_i. \quad (10)$$

З урахуванням (7) визначається середній час затримки заявки є таким:

$$\bar{T}_{spec} = \frac{1}{\gamma} \cdot k \left(\frac{\bar{P}_{fail} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} + n \chi (1 - \bar{P}_{fail})}{\gamma} \right). \quad (11)$$

Нехай допустимий час затримки пакету в СВКС не перевищує фіксованого значення, тобто

$$\bar{T}_{spec} \leq T_{spec}^{accept}. \quad (12)$$

З (11) визначимо середню максимальну ймовірність втрати заявок в СВКС в межах допустимого часу їх затримки:

$$\bar{P}_{fail}^{\max} = (\gamma \bar{T}_{spec} - k n_i \chi) / \left(k \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} - k n_i \chi \right). \quad (13)$$

Отримана формула (13) має екстремум (максимум), алгоритм пошуку якого розглянемо нижче.

2. Алгоритм пошуку прийнятних значень ступеню завантаженості пучка каналів. Обчисливши часткову похідну:

$$\partial \bar{P}_{fail} / \partial \chi = 0, \quad (14)$$

отримуємо локальний екстремум, котрий, виходячи із унімодальності \bar{P}_{fail}^{\max} є глобальним. Адитивність функції (10) і умови (6) визначають сепарабельність \bar{P}_{fail} , тому

$$\frac{\partial \bar{P}_{fail}}{\partial \chi} = \frac{d \bar{P}_{fail}}{d \chi} = 0. \quad (15)$$

Позначимо $A = \frac{\gamma}{k} \cdot T_{spec}^{accept}$. Тоді із (11) маємо:

$$\bar{P}_{fail} = (A - n_i \chi) / \left(\sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} - n_i \chi \right). \quad (16)$$

З іншого боку

$$A - n_i \chi = \frac{\sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi^{-(m_i-\alpha)} - n_i \chi}{\left(1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha (m_i - \alpha) \chi^{-[m_i-(\alpha-1)]} \right)}. \quad (17)$$

Підставивши (17) в (16) отримаємо вираз для визначення середньої максимальної ймовірності відмови за час не більше допустимого T_{spec}^{accept} :

$$\bar{P}_{fail}^{\max} = 1 / \left(1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha (m_i - \alpha) \chi^{-[m_i-(\alpha-1)]} \right). \quad (18)$$

Але мають місце вирази (1), (2), які в сукупності, з урахуванням (6), можна уявити як

$$\bar{P}_{fail}^{\max} = \frac{(n_i \chi)^{n_i+m_i}}{n_i! n_i^{m_i}} \cdot \frac{1}{\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi)^{n_i}}{n_i!} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi^\alpha}. \quad (19)$$

Після перетворення (16) отримаємо:

$$\overline{P}_{fail}^{max} = \frac{1}{\frac{n_i!}{\chi^{m_i}} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i\chi)^{-(n_i-\alpha)}}{\alpha!} + \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi^{-(m_i-\alpha)}}. \quad (20)$$

Ліві частини виразів (20) і (15) є рівними. Отже, можна стверджувати:

$$\frac{n_i!}{\chi^{m_i}} \sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i\chi)^{-(n_i-\alpha)}}{\alpha!} + \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi^{-(m_i-\alpha)} = 1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha(m_i - \alpha) \chi^{-[m_i-(\alpha-1)]}. \quad (21)$$

Після низки перетворень (21) отримуємо:

$$\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{n_i!}{\alpha!} (n_i\chi)^{-(n_i-\alpha)} = \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} \left(\frac{\alpha(m_i - \alpha)}{n_i\chi} - 1 \right) \chi^\alpha, \quad i \in \overline{1, I}. \quad (22)$$

Визначимо корені рівняння (22). Вони змінюються в межах $0 \leq \chi < 1$. При $\chi \geq 1$ середній час затримки пакетів в СВКС і ймовірність їх втрат значно зростають. Тому рішення рівняння (22) є прийнятними значеннями ступеня завантаження каналів

χ_{accept} .

3. Знаходження оптимального інформаційного навантаження компонентів СВКС за комплексним показником. Отриманий результат у вигляді рівняння (22) дозволяє стверджувати про однозначне дотримання прийнятних оптимальних значень ступеня завантаження каналів компонентів СВКС χ_{accept}^{opt} , як мінімального середнього часу затримки пакетів при заданій допустимій ймовірності їх втрат, так і середньої максимальної ймовірності втрат пакетів P_{fail}^{accept} . При заданому допустимому часі затримки пакетів залежать, як від необхідного значення ймовірності втрат пакетів P_{fail}^{accept} , так і від допустимого часу їх затримки T_{spec}^{accept} . Можна сказати, що затримки пакетів є функціями дискретних значень кількості каналів n і числа місць у черзі m .

Рівняння (22) є функцією однієї змінної χ . Це надає можливість незалежно визначити прийнятне значення ступеня завантаження каналу для кожного модуля мережі $\chi_{i reason}$. Але дані рівняння є трансцендентними. Тому отримати точний аналітичний розв'язок (22) не представляється можливим. Але ці рівняння можуть бути вирішені або чисельним, або графічним методом. Визначимо значення $\chi_{i reason}^{opt}$ і величину сумарного потоку на вході i -го компонента СВКС, заданого матрицею тяжіння $\|F_{ij}\|$. Необхідна кількість каналів передачі i -го компонента СВКС і їх пропускну здатність визначимо, виходячи зі співвідношення:

$$\chi_{i reason}^{opt} = \frac{\lambda_i}{n_i \cdot \mu_i} = \frac{L \cdot \lambda_i}{n_i \cdot L \cdot \mu_i} = \frac{F_i}{V_i \cdot n_i}; \quad (23)$$

$$\chi_{i reason}^{opt} = f(m_i, n_i),$$

де $F_i = L \cdot \lambda_i$ – сумарний потік на вході i -го компонента СВКС, а $V_i = L \cdot \mu_i$ – пропускну здатність кожного із n_i каналів.

Оптимізація за комплексним показником $\chi_{i reason}^{opt}$, визначеним у (23), дозволяє варіювати величинами V_i . Залежно від класу трафіка F можна надати будь-яку сукупність каналів для компонентів СВКС. При цьому формується віртуальний канал зі змінною пропускну здатністю. Такий канал не залежить від необхідного значення T_{spec}^{accept} . При цьому ймовірність відмови в обслуговуванні пакета буде залишатися в межах допустимого значення $P_{отк}^{accept}$. Це дозволяє надати сукупність каналів із заданою шириною смуги пропускання. При цьому залишається прийнятне значення $\chi_{i reason}^{opt}$. Середній час затримки пакета в мережі також залишається в межах допустимого значення T_{spec}^{accept} .

Чисельний метод рішення реалізований за допомогою програми Mathcad. На рис. 2 наведений варіант розрахунку залежностей пропускну здатності каналу та обсягу буферної пам'яті від завантаження каналів.

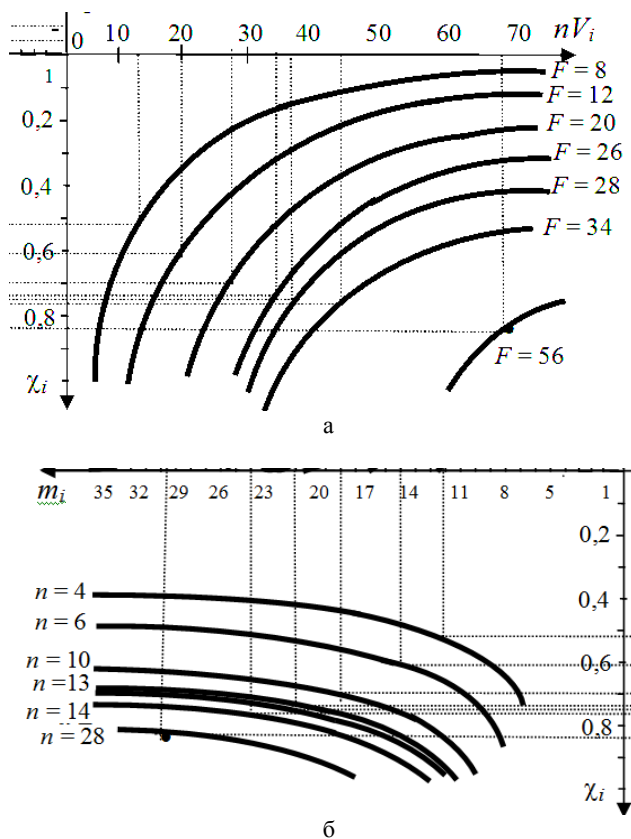


Рис. 2. Залежність пропускну здатності каналу (а) та обсягу (б) буферної пам'яті від завантаження каналів

Проведений аналіз результатів показав, що в межах встановлених значень параметрів можна здійснити обмін пропускну здатності каналу на обсяг буферної пам'яті на вході в даний канал. При цьому необхідно підтримувати сталість якісних показників СВКС (час затримки, ймовірність втрати пакетів) в допустимих межах.

Отже, запропонований підхід до отримання оптимальних значень ступеня завантаження каналів СВКС, тобто для кожного самовідновлювального компонента розраховується кількість каналів передачі даних і необхідна пропускну здатність. Це дає можливість при синтезі інформаційної структури СВКС отримати числові значення відповідних характеристик технічних засобів базової мережі з метою забезпечення середнього мінімального часу доставки повідомлень і ймовірності відмови в обслуговуванні пакетів в допустимих межах.

Висновки

В результаті проведених досліджень отримані такі результати: формалізовано завдання розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів; розроблено алгоритм пошуку прийнятних значень ступеню завантаженості пучка каналів компонент; запропоновано спосіб знаходження оптимального інформаційного навантаження компонентів СВКС за комплексним показником.

Отже, розроблено метод розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи, орієнтованого на особливості самовідновлювальних структур.

Метод дозволяє при синтезі інформаційної структури СВКС отримати числові значення відповідних характеристик технічних засобів базової мережі СВКС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shefer O.V., Alnaeri Frhat Ali. Optimum flow distribution in the network with adaptive data transfer. *Electronics and Control Systems*. 2020. No. 4(66). P.45-50. DOI: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.66.15254>
2. Рубан І.В., Волк М.О., Рісучін М.В. Метод самовідновлення розподіленого програмного забезпечення в гетерогенних комп'ютерних системах. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2019. № 3 (64), с. 17-23/
3. Коломійцев О. В. Метод розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі / Oleksii Kolomiitsev, Alnaeri Frhat Ali, Inna Petrovska // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2021. – Т. 2 (64). – С. 144-147. – doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.2.144>.
4. Кучук, Н., Шефер, О., Чернева, Г., & Алнаері, Ф. А. (2021). Визначення пропускну здатностей самовідновлювального сегмента мережі. *Сучасні інформаційні системи*, 5(2), 114–119. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.16>
5. Срібна І. М., Кучук Г. А., Лебедев О. Г., Алнаері Фрхат Алі. Синтез топологічної структури самовідновлюваного та масштабованого сегмента мережі передачі даних. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2020. № 4 (69). С. 95-106. DOI: [10.31673/2412-4338.2020.049516](https://doi.org/10.31673/2412-4338.2020.049516)
6. Волк М. А., Клєнов А. Е. Исследование методов обеспечения живучести системного программного обеспечения. *Сучасні напрями розвитку ІКТ та засобів управління*. Полтава – Баку – Харків – Жиліна. 2018. С. 40.
7. Ткачов, В., Коваленко, А., Кучук, Г., & Ні, Я. (2021). Метод забезпечення живучості високомобільної комп'ютерної мережі. *Сучасні інформаційні системи*, 5(2), 159–165. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.24>
8. Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *IEICE Transactions on Communications*. 2012. Vol. E95.B, No. 1. P. 120–132.
9. Kurose J., Ross, K. *Computer networking: a top-down approach*, 7th ed. Harlow: Pearson, 2017. 864 p.
10. Kuchuk N., Mozhaiev O., Mozhaiev M., Kuchuk H. Method for calculation of R-learning traffic peakedness. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*. 2017. P. 359-362. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
11. Vapnik V. *Estimation of Dependences based on Empirical Data*, N.-Y., Berlin : Springer-Verlag, 1987. 326 p.
12. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method / Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (eds) *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol 171. Cham: Springer, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8

Received (Надійшла) 15.06.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.08.2021

Calculation of computer resources use efficiency of self-healing computer system

Nina Kuchuk, Anna Shiman, Alevtina Filonenko, Serhii Bulba

Abstract. The article considers self-healing computer systems (ShCS). **The subject of research** is methods for calculating the efficiency of the use of computing resources in computer systems. **The purpose of the article** is to develop an approach to calculating the efficiency of computing resources of a computer system, focused on the features of self-healing structures. The methods used are methods of research of queuing systems. **The following results** were obtained: the task of calculating the efficiency of the use of computing resources was formalized; the algorithm of search of acceptable values of degree of loading of a bunch of channels of components is developed; the method of finding the optimal information load of ShCS components according to the complex indicator is offered. **Conclusions.** A method for calculating the efficiency of using computing resources of a computer system focused on the features of self-healing structures has been developed. The method allows the synthesis of the information structure of ShCS to obtain numerical values of the corresponding characteristics of the technical means of the basic network of ShCS in order to ensure the average minimum time of message delivery and the probability of failure to service packets within acceptable limits.

Keywords: self-healing computer system, self-healing, computing resources.