

УДК 004.7

**Я. Корнага, М. Ткач, М. Солдатова,
О. Марченко, Ю. Базака**

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГОЛОВНОГО СЕРВЕРУ КОНЦЕПЦІЇ «МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОЇ ВІЙНИ»

Анотація. Запропоновано підхід до розв'язання задачі аналізу функціонування головного сервера концепції "мережецентричної війни" за допомогою побудови двох моделей його роботи, що доповнюють одна одну. Для аналізу та моделювання застосовані апарат марківських ланцюгів в системах масового обслуговування та розфарбовані мережі Петрі. Такий підхід пов'язаний з тим, що сервісно-орієнтовані інформаційні системи мають складну конфігурацію взаємодіючих компонентів, облік та аналіз характеристик яких у рамках однієї моделі дуже складний і часом недоцільний.

Ключові слова: комп'ютерні інформаційні системи, головний сервер, кольорові мережі Петрі, апарат ланцюгів Маркова, системи масового обслуговування, граф станів, розрахунок показників роботи сервера

Вступ

Концепція «мережецентричної війни» виникла США наприкінці 1990-х років [1,2]. По ній усі роди військ, засоби зв'язку та розвідки, зокрема БПЛА, об'єднуються в єдину інформаційну систему для постійного обміну інформацією. На рис.1 наведено схему обміну інформацією між серверами трирівневої мережецентричної інформаційної системи з використанням БПЛА.

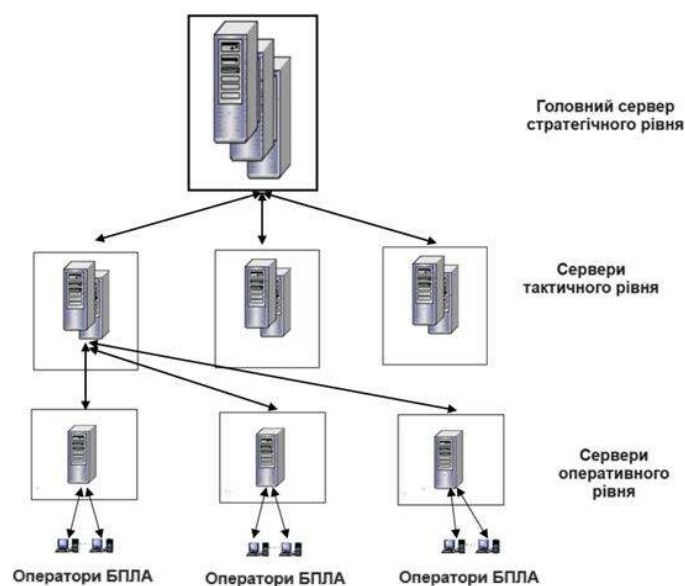


Рисунок 1. Схема обміну інформацією між серверами

Такий підхід дозволяє отримувати необхідну інформацію про противника в реальному часі та виробляти відповідні ситуації рішення. Використання БПЛА є одним із найефективніших засобів отримання такої інформації.

За допомогою БПЛА можна отримувати оперативну (про склад, стан, положення своїх військ (сил) та умови обстановки), розвідувальної (про противника), геопросторової (про характер земної поверхні та морських акваторій), фоноцільової (про стан і розташування об'єктів/цілей та їх конкретні характеристики), гідрометеорологічної та іншої необхідної інформації, доступної кожному користувачеві в обсязі, що визначається його завданнями та правами доступу до даних [3].

Метою статті є розробка імітаційної моделі функціонування головного сервера концепції «мережецентричної війни», яка дозволить розраховувати основні показники роботи сервера. Імітаційне моделювання веб-сервера не лише дозволяє передбачити його ефективність, а й допомагає визначити вимоги щодо його роботи. У разі невиконання сформульованих вимог до роботи веб-сервера адміністратором може бути прийнято рішення провести відповідні заходи щодо його оптимізації. Моделювання веб-серверів дозволяє виявити слабкі місця, прогнозувати поведінку системи під різними навантаженнями та розробляти методи підвищення їхньої продуктивності.

Аналіз існуючих рішень

Для аналізу та моделювання комп'ютерних інформаційних систем класу «клієнт- сервер» найбільшого поширення набули мережі Петрі та системи масового обслуговування [4]. Моделі мереж Петрі є універсальним засобом формалізації процесів функціонування дискретно-подійних систем. Однак їх використання з метою імітаційного моделювання обмежене, по-перше, тим, що доводиться використовувати велику кількість елементів навіть для простих систем, по-друге, тим, що відсутність математичної теорії стохастичних тимчасових мереж Петра призводить до різноманітності підходів до побудови алгоритмів імітації [5]. В роботі [6] пропонується використовувати блокову структуру побудови моделей мереж Петрі, що дозволяє створювати подібні фрагменти мереж Петрі простим копіюванням або вставкою відповідного блоку. Це певною мірою полегшує складання моделей, але все ж таки не вирішує проблему у випадку, коли система складається з сотень подібних елементів, взаємопов'язаних між собою. У [7] пропонується розбивати велику мережу Петрі на функціональні підмережі, що дозволяє досліджувати замість властивостей мережі Петрі властивості її підмереж.

Слід зазначити, що найбільш ефективними у разі моделювання та аналізу КІС із сервісно-орієнтованою архітектурою є розфарбовані мережі Петрі (РМП) [8]. РМП – це графоорієнтована мова для проектування, опису, імітації та контролю розподілених

та паралельних КІС. На відміну від «класичних» мереж Петрі, в РМП важливу роль грає типізація даних, заснована на понятті безлічі кольорів. Для опису динамічних властивостей РМП вводиться поняття розмітки мережі з допомогою фішок, розміщених у певних позиціях. Позиція має певне значення, що визначається з безлічі кольорів. Колір позиції, своєю чергою, визначає тип фішок, які є. РМП є асинхронною системою, в якій фішки переміщуються по позиціях через переходи. Перехід переміщує фішку з вхідної позиції у вихідну, якщо у всіх вхідних позиціях для цього переходу є хоча б одна фішка і виконано логічну умову, що обмежує перехід (спускова функція).

Використання теорії масового обслуговування [9,10] для аналізу та моделювання КІС дозволяє, крім інструменту імітаційного моделювання, використовувати для дослідження апарат марківських ланцюгів. Процеси, що відбуваються в інформаційній системі, розглядаються як системи масового обслуговування. Для всіх процесів будуються окремі моделі, які можна об'єднати і представити в необхідній послідовності. Проведення експериментів дозволить оцінити якість функціонування сервера інформаційної системи, на основі чого прийматиметься рішення про можливість його вдосконалення. Найчастіше для створення імітаційних моделей систем масового обслуговування застосовуються способи моделювання web -серверів мовою GPSS [11].

Постановка задачі

Відомо, що при моделюванні та аналізі комп'ютерних інформаційних систем (КІС) не слід обмежуватися створенням лише однієї моделі. Це пов'язано з тим, що сервісно-орієнтовані інформаційні системи мають складну конфігурацію взаємодіючих компонентів, облік та аналіз характеристик яких у рамках однієї моделі дуже складний і часом недоцільний. У зв'язку з цим, актуальним є завдання побудови кількох моделей роботи КІС, що доповнюють одна одну, зокрема двох моделей роботи головного компонента КІС, тобто web-сервера, побудованих на основі розфарбованих мереж Петрі та апарату марківських ланцюгів в системах масового обслуговування.

Рішення задачі

Для різноманітних заявок у рамках теорії розфарбованих мереж Петрі розглянемо наступний окремий випадок моделі web-сервера. Приймемо у цій моделі $n=15$. Це означає, що сервер налаштований для роботи з 15 одночасними з'єднаннями (каналами). Модель web -сервера містить три типи повідомлень, тобто зображення, статичні HTML-сторінки, стильові таблиці. Імітаційна модель інформаційної системи у вигляді розфарбованої стохастичної мережі Петрі наведена на рис 2. Для моделювання процесу

обробки сервером повідомлень різного типу в модель введена розмальовка у вигляді маркерів різної форми $\langle \blacktriangledown, \blacklozenge, \blacksquare, \bullet \rangle$. Маркери, позначені кружком $\langle \bullet \rangle$, відображають стан зайнятості ресурсу сервера додатків – обробки повідомлень каналами сервера додатків. Маркери, позначені $\langle \blacktriangledown, \blacklozenge, \blacksquare \rangle$, відображають тип вхідної інформації.

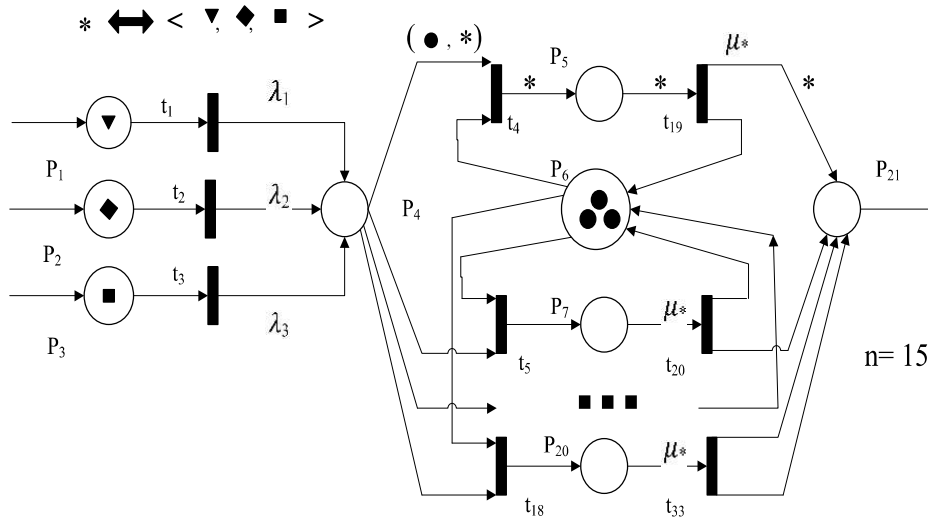


Рисунок 2. Модель web-сервера у вигляді мережі Петрі

Переходи мережі Петрі t_1, t_2, t_3 асоційовані з типом повідомлення, інтенсивність надходження яких на входи сервера додатків $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ відповідно. Безліч M каналів web-сервера розбито на підмножину завантажених каналів M_1 та підмножина вільних каналів M_2 . При цьому $M_1 \cap M_2 = \emptyset$ і $M = M_1 \cup M_2$. Моменти ініціювання обробки повідомлень web-сервером додатків імітуються переходами t_4, t_5, \dots, t_{18} . При надходженні чергової заявки на момент часу τ_j запускається канал обслуговування $K_q \in M_2$ з найменшим номером. Час запуску каналу K_q визначається часом $\tau_k^q = \tau_j$. Закінчення обслуговування заявок імітується переходом $t_{19}, t_{20}, \dots, t_{33}$. Час закінчення обслуговування з розфарбуванням j -тим каналом K_q задається виразом (1):

$$t_k^q = \tau_k^q + \frac{1}{\mu_i}, i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (1)$$

де μ_i – інтенсивність обслуговування заявки з розфарбуванням j -тим каналом.

У загальному випадку моделювання та аналіз комп'ютерних інформаційних систем на базі мереж Петрі дуже складний і трудомісткий, тому потребує використання спеціалізованих програмних продуктів. Зокрема, для цього часто використовують спеціалізований пакет CPN TOOLS [13].

Як уже зазначалося раніше, на відміну від мереж Петрі, теорія масового обслуговування дозволяє окрім імітаційного моделювання за певних припущень щодо

вхідних потоків повідомлень та обслуговування отримати кінцеві формули показників функціонування Web-серверів комп'ютерних інформаційних систем в аналітичному вигляді. Так, для найпростіших потоків повідомлень та обслуговування аналіз комп'ютерних інформаційних систем можна виконати на основі дискретних та безперервних ланцюгів Маркова [12]. У цьому випадку роботу Web-сервера можна представити наступним графом станів X_i (рис.2), який відповідає однорідності потоку повідомлень і відсутності X_i розмальовки моделі мережі Петрі, представленої на рис 3. Тобто в моделі циркулює ординарний потік повідомлень з експоненційним розподілом.

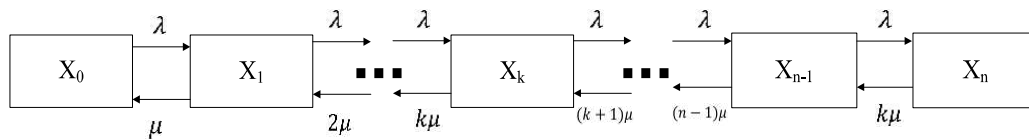


Рисунок 3. Граф станів X_i Web-сервера

На вхід n -канальної системи масового обслуговування подається найпростіший потік заявок з інтенсивністю λ . Інтенсивність найпростішого потоку обслуговування кожного каналу μ . Якщо заявка застала всі n каналів зайнятими, вона отримує відмову і потребує повторного надсилання до серверу. Якщо заявка застала вільним хоча б один канал, вона приймається до обслуговування будь-яким із вільних каналів і обслуговується остаточно («терпляча» заявка).

Згідно з рис.3 в системі можлива наступна множина станів:

- X_0 – всі канали вільні, жодне повідомлення не обслуговується;
- X_1 – зайнятий тільки один канал (який саме – не важливо), обслуговується одне повідомлення;
- X_k – зайнято тільки k каналів (який саме – не важливо), обслуговується k повідомлень;
- X_n – всі n канали зайняті, обслуговується n повідомлень.

Для графа станів Web-сервера (рис. 3) відповідно до мнемонічного правила складання системи диференціальних рівнянь для ймовірностей станів [13] отримаємо:

$$\begin{aligned} \dot{p}_0(t) &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t); \dots \dot{p}_k(t) = -[\lambda + k\mu]p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + \\ & (k+1)\mu p_{k+1}(t) \dots \dot{p}_n(t) = -n\mu p_n(t) + \lambda p_n(t), \end{aligned} \quad (2)$$

де $k = 1, n - 1$.

Система (2) зазвичай інтегрується за початкових умов:

$$p_0(0) = 1; p_k(0) = 0; p_n(0) = 0 \quad (3)$$

Розв'язок системи (2) за початкових умов (3) задовольняє нормувальній умові:

$$\sum_{k=0}^n p_k(t) = 1, \quad (t \geq 0) \quad (4)$$

Рівняння (2) є рівняннями Ерланга [14].

Зауважимо, що вирази (2) – (4) справедливі й у випадку, коли потоки подій не є найпростішими, а є нестационарними пуассонівськими потоками. У цьому випадку параметри $\lambda = \lambda(t)$ та $\mu = \mu(t)$ є деякими функціями часу, які обумовлені поточною ситуацією і станом.

В реальних умовах нас цікавить стаціонарний режим роботи такої системи, коли $\lambda(t) = const, \mu(t) = const$. Це відповідає потоку повідомлень на досить довгому інтервалі часу. У математичному плані такий режим відповідає $t \rightarrow \infty$ і є цілком реальним, оскільки розглянута вище система, як правило, є ергодичною.

Для вказаного вище стаціонарного режиму справедлива система алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} 0 &= -\lambda p_0 + \mu p_1, \dots, 0 = -[\lambda + k\mu]p_k + \lambda p_{k-1} + (k+1) \dots 0 = \\ &= -n\mu p_n + \lambda p_{n-1}, \mu p_{k+1}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $k = 1, n - 1$.

Розв'язавши систему (5) разом з (4), отримуємо формулу для ймовірностей стану системи масового обслуговування, що розглядається:

$$p_k = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{\sum_{k=0}^n \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{k!}}, \quad (k = \underline{0}, n) \quad (6)$$

Введемо позначення $\underline{\lambda} = \frac{\lambda}{\mu}$, де $\underline{\lambda}$ дорівнює середній кількості запитів, які надходять в систему за середній час обслуговування одного запиту одним каналом. Враховуючи вираз для $\underline{\lambda}$ і помножуючи чисельник та знаменник (6) на $e^{-\underline{\lambda}}$ отримаємо:

$$p_k = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k e^{-\lambda}}{\sum_{k=0}^n \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k e^{-\lambda}} = \frac{p(k_1 \underline{\lambda})}{R(n_1 \underline{\lambda})} \quad (7)$$

де $p(k_1 \underline{\lambda})$ та $R(n_1 \underline{\lambda})$ – табличні функції пуассонівського розподілу [13].

З формули (7) можна отримати ряд показників роботи сервера комп'ютерної інформаційної системи, а саме: ймовірність простою, ймовірність відмови, середнє число зайнятості каналів, тощо.

Зокрема, для аналізу роботи сервера КІС актуальні такі показники:

1. Ймовірність обслуговування повідомлення:

$$P_{\text{обсл.}} = \frac{R(n-1, \underline{\lambda})}{R(n, \underline{\lambda})} \quad (8)$$

2. Середній час повного завантаження системи:

$$t_{\text{н.з.}} = \frac{1}{n \underline{\lambda}} \quad (9)$$

3. Ймовірність зайнятості хоча б одного каналу:

$$P_{з.к.} = \frac{P(n, \lambda)}{P(n, \lambda)} \quad (10)$$

4. Імовірність відмови:

$$P_{від.} = 1 - P_{обсл} \quad (11)$$

Приклад розрахунку показників роботи сервера КІС

Припустимо, що інформаційна система містить 15 каналів зв'язку. Потік надходження повідомлень у середньому становить $\lambda = 1$ 1/сек., середній час обробки повідомлення – $T = 10$ сек., тобто $\mu = 1/10$ 1/сек. Закон розподілу – експонентний. Необхідно оцінити основні характеристики роботи сервера інформаційної системи, зокрема ймовірність негайної обробки даних відразу після їх надходження.

З формул (6) – (11) отримуємо такі показники роботи інформаційної системи:

1. Ймовірність обслуговування $P_{обсл.} = 0.9635$.
2. Ймовірність відмови $P_{від.} = 1 - 0.9635 = 0.0365$.
3. Абсолютна пропускна спроможність $A = 1 - 0.9635 \approx 0$, тобто всі запити, що надходять у дану систему, майже одночасно обробляються.
4. Середня кількість працюючих каналів зв'язку дорівнює середній кількості запитів: $n_{сер} = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1}{0.1} = 10$.
5. Коефіцієнти використання та простою каналів зв'язку: $k_{вик} = \frac{n_{сер}}{n} = 0.667$; $k_{пр} = 1 - k_{вик} = 0.333$.

Якщо взяти число каналів зв'язку $n = 10$, то коефіцієнт використання наближається до 1 ($k_{вик} = 0.997$). Інакше кажучи, в КІС за вказаних вище умов практично немає часу простою будь-яких каналів обслуговування.

Приклад розрахунку показників роботи інформаційної системи показує, що можна регулювати певні показники ефективності роботи КІС у певних межах переважно за рахунок числа каналів зв'язку та часу обробки документів. У цьому додатковими каналами зв'язку може бути як фізичні канали, а й віртуальні динамічні канали зв'язку

Висновки

Запропоновані у роботі моделі функціонування сервера на основі розфарбованої мережі Петрі та апарату марківських ланцюгів у вигляді моделі системи масового обслуговування є досить універсальними з погляду характеристик потоків надходження та обслуговування запитів до КІС. Вони дозволяють окрім імітаційного моделювання функціонування сервера КІС, отримати результуючі формули показників ефективності функціонування сервера КІС в аналітичному

вигляді за певних припущень щодо вхідних потоків повідомлень та потоків їх обслуговування. Це відображено у наведеному прикладі розрахунку показників роботи сервера КІС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cebrowski A. K., Garstka J. J. Network-Centric Warfare: Its Origin and Future // U.S. Naval Institute Proceedings. — Annapolis (Maryland), 1998.
2. Кучеренко Ю.Ф. Головні ознаки ведення мережецентричних війн сучасності / Системи управління, навігації та зв'язку. 2011. № 1(17). с. 190-193.
3. Кучеренко Ю.Ф., Носик А.М., Камак Д.О., Возний О.О. Мережецентрична система управління і її вплив на бойові можливості міжвидового угруповання / Випробування та сертифікація, №1(3), 2024. – с.52-58. DOI: 10.37701/ts.03.2024.8
4. Березький О.М. Дослідження і проектування комп'ютерних систем та мереж: навч.посіб. / Березький О.М., Теслюк В.М., Дубчак Л.О., Мельник Г.М., Батько Ю.М. – Тернопіль: ЗУНУ, 2022. – 252 с.
5. Стеценко І.В. Формальний опис систем засобами Петрі-об'єктних моделей / Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка, №53, – с.75-81.
6. Стеценко І.В., Бойко О.В. Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі // Математичні машини і системи. – Київ, 2009. – №1. – с.117-124.
7. Dm. Zaitsev Functional Petri net // Universite Paris Paris-Dauphine. – Cahier N 224. – mars 2005. – P.1-62.
8. Кузьмук В.В., А.М. Парнюк, Супруненко О.А. Класифікація мереж Петрі та приклади їх застосування для розв'язання прикладних задач / Східно-Європейський журнал передових технологій , 2(50), 2011. – с.40-43.
9. Конюшенко І. Г. Використання теорії масового обслуговування для моделювання і оцінки якості функціонування інформаційних систем / І. Г. Конюшенко // Системи обробки інформації. Вип. 3, 2011. – с. 100-102.
10. Win L. Application of Queuing Theory for Internet Server // Annual University Journal on Innovative Research and Products. 2019. Vol. 2 Issue. 1. pp.508-515.
11. Дехтярук М. Т. Імітаційне моделювання багатоканальних систем масового обслуговування / Проблеми інформатизації та управління, №2(26), 2009. – С.31-38. DOI: <https://doi.org/10.18372/2073-4751.2.6976>
12. Трунова О.В. Застосування апарату теорії неперервних марківських ланцюгів при визначенні зміни станів виробничих систем /Фізико-математична освіта, Науковий журнал, випуск №1(7), 2016. – С.167-176.
13. Vohma O. J., Syski R. Queueing Theory and Its Applications (Cwi Publisher: North-Holland, 1988. – 446p.