

Acceleration is achieved by forming recalculation tables at each iteration of the exponentiation algorithm. The paper theoretically substantiates this possibility by using the built-in RAM of the terminal device, provides a detailed description of the method, the operation of which is illustrated by a numerical example, and presents a detailed assessment of its effectiveness.

It is theoretically and experimentally shown that the proposed method allows for 5 times faster modular exponentiation compared to known methods for its implementation on terminal devices in IoT technologies.

Keywords: modular exponentiation, open key cryptography, security of IoT, digital signature.

УДК 629.735.064 5:621.39 (075.8)

DOI: 10.18372/2073-4751.83.20550

Толстікова О.В., к.т.н.,

orcid.org/0000-0002-7616-2757

Водоп'янов С.В., к.т.н.,

orcid.org/0009-0006-0424-6173

Андрєєв О.В., к.т.н.,

orcid.org/0000-0001-9032-1139

Толстіков О.Д.

orcid.org/0009-0006-1620-5221

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ТА БАЗ ДАНИХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

e-mail: olena.tolstikova@npp.kai.edu.ua,

e-mail: serhii.vodopianov@npp.kai.edu.ua,

e-mail: oleksandr.andreiev@npp.kai.edu.ua,

e-mail: tolstikov.o@kitu.nau.edu.ua

Вступ

Розглядається завдання застосування експертної системи з базою даних (БД) реального часу, які використовуються для сумісної (інтегральної) оптимізації маршрутів інформаційно-комунікаційної мережі. Існують алгоритми маршрутизації з різними технологіями доставляння даних по критеріям мінімальної затримки (latency), прийнятної наскрізної якості сервісу (Quality of Service, QoS) та надійності доставляння у сенсі мінімальної величини переключень бітів відносно загальної кількості доставлених бітів (Bit Error Ratio, BER). Найпоширенішими є алгоритми адаптивної (або динамічної) маршрутизації з дуальним навчанням [13]. Ці алгоритми забезпечують автоматичну апперцепцію таблиць маршрутизації (ТМ) після зміни конфігурації мережі.

Протоколи, побудовані на основі адаптивних алгоритмів, забезпечують всім маршрутизаторам збирання інформації про топологію зв'язків у мережі, оперативне опрацювання всіх змін конфігурації зв'язків. У ТМ при адаптивній маршрутизації зазвичай є інформація про інтервал часу, протягом якого даний маршрут залишатиметься дійсним (Time-to-Live, TTL)

Адаптивні алгоритми маршрутизації мають розподілений характер і повинні відповідати декільком ключовим вимогам [5]. Перше, вони повинні забезпечувати якщо не оптимальність, то хоча б раціональність маршруту. Друге, алгоритми мають бути достатньо простими, щоб при їх реалізації не витрачалося дуже багато мережних ресурсів, зокрема, вони не повинні вимагати надмірно великого об'єму обчислень або

продувати інтенсивний службовий трафік. І, нарешті, алгоритми маршрутизації повинні володіти властивістю збіжності, тобто завжди приводити до однозначного результату за прийнятний час.

Таке завдання можна успішно виконати шляхом комбінації формальних математико-статистичних методів та неформальних методів експертного оцінювання на підґрунті інформації, накопиченої у реляційній або темпоральній базі даних, тобто у системі реального часу.

Таким чином, метою даного дослідження є розробка експертної системи з базою даних реального часу, логічною та семантичною оптимізацією планів запитів.

Інформаційні технології вибору алгоритму адаптивної маршрутизації за допомогою експертної системи

Для найбільш повної порівняльної оцінки ефективності того або іншого маршруту, крім класичних метрик, будемо враховувати так звану адміністративну відстань (АВ) – параметр (метрика) маршруту, за допомогою якого визначається ступінь довіри до інформації, одержаної від сусідніх пристроїв маршрутизації. АВ виражається цілим числом від 0 до 255, де нуль означає найбільшу довіру, а 255 – заборону передачі трафіку по даному маршруту. Стандартні значення АВ визначені для джерел, починаючи від приєднаного інтерфейсу (0), статичного маршруту (1), внутрішніх і зовнішніх маршрутів стандартних протоколів маршрутизації (від 5 до 200) і аж до невідомого джерела (255).

Слідуючи [6], задачу оптимізації топологічної структури мережі за критерієм адміністративної відстані поставимо таким чином. Мережу характеризують такі вектори:

$\vec{U}$ – вектор параметрів мережного навантаження: інтенсивності потоків даних між кожною парою сусідніх вузлів комутації, статистичні характеристики трафіку, пріоритети або певні вагові функції окремих потоків даних;

$\vec{Q}$ – вектор параметрів якості сервісу мережі: швидкодія, достовірність та ін., які характеризують якість передачі даних або, у традиційному трактуванні, – якість сервісу QoS ;

$\vec{W}$ – вектор експлуатаційних характеристик мережі: пропускна спроможність каналів передачі даних, швидкодія і об'єми буферної пам'яті вузлів комутації, надійність і час відновлення устаткування, вагові коефіцієнти, за допомогою яких даються порівняльні оцінки параметрів логічних зв'язків між вузлами мережі.

Накладаються (векторні) обмеження на граничні характеристики мережного обладнання, зокрема на загальну вартість і структуру мережі:

$$C_i(\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}) \leq C_{i \max}, i = \overline{1, N_c}, \quad (1)$$

де N_c – число елементів множин C_i і $C_{i \max}$.

Нарешті, накладаються обмеження на технічну архітектуру мережі, що впливають з умов фізичної і практичної реалізованості: гранично досяжна швидкість передачі даних, максимально допустимі відстані між вузлами, мінімально досяжні затримки в комутаційному обладнанні, рівень взаємних завад і т. ін. Позначимо безліч цих обмежень через $R_{\max}$:

$$R(\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}) \in R_{\max}. \quad (2)$$

Потрібно знайти такий набір векторів, який доставляв би екстремум функціоналу нормованої ефективності:

$$\Psi_{en}(\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}) \xrightarrow[\substack{\vec{U}=\vec{U}_{opt} \\ \vec{Q}=\vec{Q}_{opt} \\ \vec{W}=\vec{W}_{opt}}]{\rightarrow} \max \quad (3)$$

при обмеженнях вигляду (1, 2).

Сформульована задача має вельми абстрактний вигляд. Щоб конкретизувати її, задамо всі необхідні початкові дані та цільову функцію. Цей вибір досить складний і неоднозначний, тому керуватимемося загальними постулатами теорії великих систем [2]. За досвідом практичної експлуатації таких систем відомо, що втрати (витрати), як правило, є квадратичними функціями відхилень від оптимуму. Тому для попереднього розгляду візьмемо як цільову функцію квадратичну функцію втрат такого вигляду:

$$\Psi(N_{\text{п}}, N_{\text{сл}} | S_i) = \Psi \left\{ a_i \left[1 - \left(\frac{|N_{\text{п}} - N_{\text{сл}}|}{N_{\text{п}}} \right) \right]^2 | S_i \right\}, \quad (4)$$

де $N_{\text{п}}, N_{\text{сл}}$ – число байт корисних і службових повідомлень відповідно, переданих за одиницю часу; S_i – i -та структура мережі; a_i – масштабний коефіцієнт, вибираний з практичних міркувань.

З урахуванням наведених міркувань запишемо вираз для функціонала якості вибору маршруту в такому вигляді:

$$\Psi_{\text{en}} = \Psi \left(\sum_{i=1}^{N_c} v_i m_i \right), \quad (5)$$

де m_i – компоненти метрики V_{ki} i -го маршруту, $i = \overline{1, N_c}$; v_i – вагові коефіцієнти, які в загальному випадку задово-

ляють умові нормування $\sum_{i=1}^{N_c} v_i = 1$.

Як наголошувалося раніше, одним з компонентів метрики V_{ki} є адміністративна відстань, величина якої визначається, виходячи з практичних міркувань, від 0 до 255 [12]. Для виконання умов нормування функціонала (5) введемо логарифм функції адміністративної відстані:

$$\psi(A_d) = 1 + \log_2(1 + A_d) = 1/m_j, \quad (6)$$

де m_j – компонент метрики маршруту, пов'язаний з адміністративною від-

станню; індекс j може мати значення від 1 до N_c . Оскільки АВ A_d лежить у межах від 0 до 255, то значення $\psi(A_d)$, відповідно, змінюватимуться від 1 до 9. Інформаційна цінність параметра A_d залежить від його величини: при $A_d = 0$ достовірність інформації про стан маршруту вважається повною; при $A_d = 255$ інформація про стан маршруту вважається абсолютно недостовірною і відкидається. Як кількісну оцінку достовірності інформації про адміністративну відстань можна вибрати ентропійну міру Шеннона [14] або зіставити з достовірністю значення (у загальному випадку – вибрану деяким чином функцію) вагового коефіцієнта v_j . Як v_j візьмемо функцію вигляду [15]:

$$\varphi(v_j) = c_j \{1 - [\Psi(A_d) - 1]/8\}, \quad n = 2k, \quad k \geq 1,$$

де c_j – коефіцієнт нормування, який обирається з практичних міркувань..

Вибір функції адміністративної відстані $\psi(A_d)$ у вигляді (6) продиктований такими міркуваннями.

По-перше, у методі аналізу ієрархій [8] вибрана верхня межа шкали, що дорівнює 9. Наведемо такі міркування стосовно обґрунтування цього вибору [9].

1. Використання шкали парних порівнянь у діапазоні від 0 до ∞ може виявитися даремним, оскільки при цьому передбачається, що людська думка якимось чином здатна оцінити відносну перевагу будь-яких двох об'єктів, що зовсім не так. Як добре відомо з досвіду, наша здатність розрізняти знаходиться у вельми обмеженому діапазоні, і коли є значна невідповідність між порівнюваними об'єктами або діями, наші припущення стають довільними і, звичайно, виявляються далекими від дійсності. Це підтверджує думку про те, що наші шкали повинні мати кінцевий діапазон.

2. Якісні аберації значущі на практиці і володіють долею похибки, коли

величина порівнюваних предметів одного порядку або предмети близькі один до одного стосовно властивості, використаної для парного порівняння. Психологічна межа 7 ± 2 градацій при парному порівнянні пояснюється тим фактом, що коли беруться 7 ± 2 окремих об'єктів з близькими властивостями, то знадобиться не більш 9 точок, щоб їх розрізнити.

3. Спроможність людини формувати дуальні уподобання щодо об'єктів або явищ обмежується такими рівнями: рівність, слабка, сильна, дуже сильна та абсолютна перевага. Коли потрібна вища точність, застосовуються проміжні визначення між основними рівнями. Загалом використовується дев'ять градацій, які добре узгоджуються між собою; отримана шкала підтверджується практикою. Метод оцінювання полягає в класифікації стимулів у трихотомію зон: неприйняття, байдужості, ухвалення [4]. Для тоншої таксономії в кожному з цих зон також закладений принцип трихотомії – розподіл на низький, помірний і високий ступені. Таким чином, виходить дев'ять нюансів значущих особливостей.

По-друге, відповідно до закону Вебера – Фехнера [10, 11] реакції людини R на зовнішні подразники S_e описуються лінійною функцією логарифма інтенсивності подразника:

$$R = a \log s_e + b, \quad a \neq 0, \quad (7)$$

де a і b – константи, вибрані з практичних міркувань.

Очевидна відповідність вибраної апроксимації (6) психофізичному закону Вебера – Фехнера.

Решта компонентів $m_i, i = \overline{1, N_c}, i \neq j$ метрик V_{ki} вибирається виходячи з порівняльних експертних оцінок переваг кожного з можливих маршрутів.

Алгоритм обробки запитів у оптимізованих базах даних

Відповідно до запропонованих структурою і параметрами БД і 3 складений алгоритм обробки запитів з оптимізацією плану виконання запиту (рис. 1).

В процесі доступу до БД запит формується на відповідній мові, прийнятій для бази даних. Потім він піддається лексичному і синтаксичному аналізу. В результаті виробляється його внутрішнє уявлення, і запит перетворюється в алгебраїчну форму. Подальші етапи логічної оптимізації плану і оптимізації виконання запиту виконуються вже з використанням форми реляційної алгебри. Як наголошувалося раніше, при цьому спрощуються задачі оптимізації і взагалі функціонування розподіленої БД завдяки уніфікації і відносній простоті мови реляційної алгебри. Полегшується також вирішення задач побудови оптимізаторів з гнучкою структурою.

Як відомо [1, 7], під глобальними мережами розуміються мережі, які служать для надання сервісу великій кількості кінцевих абонентів. Вони розміщені на великій території держави, в нашому випадку по Україні.

При проектуванні мережі головною задачею є виконання основної функції мережі – забезпечення спільного використання ресурсів в реальному часі. Для виконання цієї задачі мережа повинна відповідати вимогам продуктивності, надійності, сумісності, керованості, захищеності, розширюваності і масштабованості [1, 7].

Завдяки частинній децентралізації і модульній архітектурі БД системи збору та аналізу інформації задача модифікації БД також спрощується: при змінах параметрів і структури даних БД i -го фрагмента не потрібно буде вносити зміни в БД j -го фрагмента.

Кожен периферійний підрозділ обробки і аналізу інформації повинен в передавати інформацію у центральний офіс, в головну базу даних комп'ютерної мережі. Ці дані необхідні для збору інформації та статистичної обробки щодо певного виду експертної системи, з подальшим формуванням рекомендацій для усунення або запобігання похибок у відповідному типі баз даних.

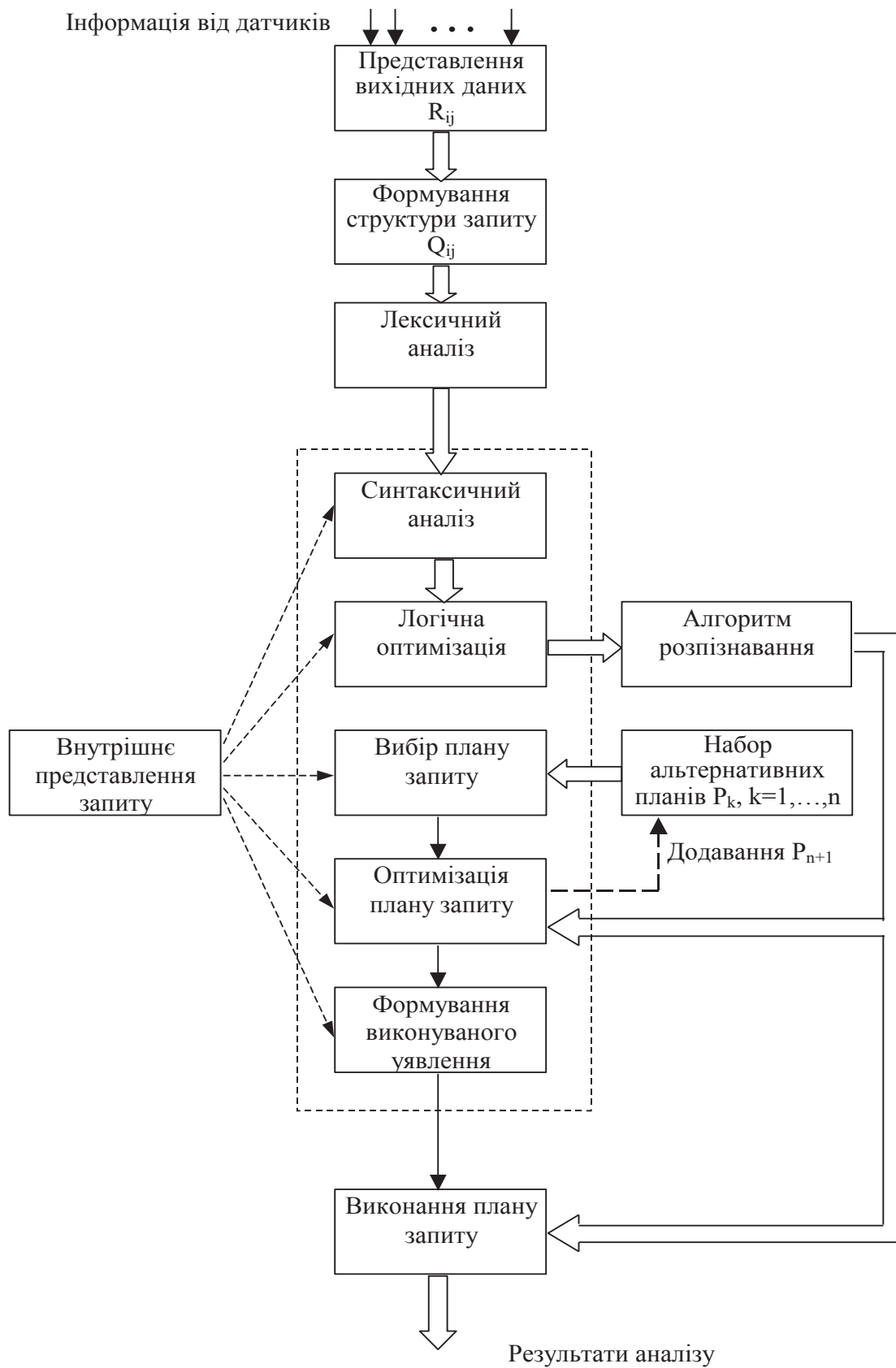


Рис. 1. Алгоритм обробки запитів

Взаємодію між головною базою даних і підрозділами по обробці і аналізу інформації проводиться регулярно. В цьому випадку результати матимуть свою стійкість і спроможність.

Об'єктивну оцінку отримують шляхом математико-статистичного опрацювання результатів оперативного контролю та неформального (експертного) оцінювання.

Принципи створення експертної системи з базою даних реального часу

Перевірка узгодженості експертних оцінок за допомогою рангових коефіцієнтів кореляції

Найбільш придатним методом перевірки узгодженості думок експертів статистичним є метод рангової кореляції Спірмена [2]

Групові експертні оцінки повинні відображати узгоджену думку експертів [10, 11]. Тому перед формуванням групової оцінки треба з'ясувати, чи можна для цих цілей використовувати отримані у результаті опитування індивідуальні оцінки. Це питання з'ясовується за допомогою рангового коефіцієнта кореляції і коефіцієнта конкордації. Ці коефіцієнти придатні в тих випадках, коли результати експертного опитування представляються у ранговій шкалі. За допомогою рангового коефіцієнта кореляції встановлюється тіснота зв'язку між двома ранжированими рядами, яка інтерпретується як узгодженість думок двох експертів. В практиці аналізу узгодженості застосовуються коефіцієнти Спірмена і Кендала. Ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена визначається формулою, аналогічною звичайному коефіцієнту кореляції:

$$r = \frac{K_{12}}{\sqrt{D_1 D_2}}, \quad (8)$$

де K_{12} - величина коваріації між першою

та другою ранжировками; $D_1 D_2$ – дисперсії ранжировок.

Коваріація та дисперсії обчислюються по даним ранжировок за відомими формулами [2]:

$$K_{12} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_{i1} - \bar{p}_1)(p_{i2} - \bar{p}_2), \quad (9)$$

$$D_k = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_{ik} - \bar{p}_k)^2, \quad (10)$$

$$\bar{p}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ik} \quad (11)$$

Розглянемо випадок, коли обидві ранжировки не вміщують зв'язних рангів, тобто коли немає рангів, що повторюються; ми маємо строге упорядкування об'єктів. У цьому випадку середній ранг представляє собою суму натуральних чисел від 1 до n , поділену на n , поза залежністю від порядку, що задається ранжировкою. Іншими словами, середні значення рівні між собою:

$$\bar{p} = \bar{p}_1 = \bar{p}_2 = \frac{n(n+1)}{2n} = \frac{(n+1)}{2} \quad (12)$$

При обчисленні дисперсії, якщо провести піднесення у квадрат, то під знаком суми будуть стояти натуральні числа та їх квадрати. Два ранжированих ряди однакової довжини можуть відрізнятися один від іншого тільки перестановкою рангів, але сума натуральних чисел і їх квадратів не залежить від порядку, в якому розташовані доданки.

Вираз для рангового коефіцієнта кореляції прийме наступний вигляд:

$$r = \frac{1}{n-1} \cdot \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^n (p_{i1} - \bar{p})(p_{i2} - \bar{p}) = \frac{12}{n^3 - n} \sum_{i=1}^n (p_{i1} - \bar{p})(p_{i2} - \bar{p}) \quad (13)$$

У результаті отримуємо формулу коефіцієнта кореляції Спірмена, зручну для практичних розрахунків:

$$r = 1 - \frac{6}{n^3 - n} \sum_{i=1}^n (p_{i1} - p_{i2})^2$$

Можливі значення коефіцієнта змінюються від -1 до $+1$. З формули випливає, що в тих випадках, коли ранжування співпадають, $r = 1$, тобто для усіх i -х значень $p_{i1} = p_{i2}$. Значення $r = -1$ стає тоді, коли ранжування мають протилежний порядок.

Система пріоритетів і алгоритми диспетчеризації

В технічних системах реального часу базовими інструментами розробки сценарію роботи системи являються система пріоритетів процесів (задач) і алгоритми планування (диспетчеризації).

В багатосторонніх системах загального призначення використовуються, як правило, різні модифікації алгоритмів кругової диспетчеризації, основані на понятті атомарного кванта часу ("time slice"), який надається процесу для виконання конкретної операції. Планувальник по завершенні поточного кванта часу проглядає чергу активних процесів і приймає рішення, кому передати управління, ґрунтуючись на пріоритетах процесів. Пріоритети можуть бути фіксованими або можуть еволюціонувати з плином часу - це залежить від параметрів алгоритмів планування в системі.

Планувальники систем реального часу мають можливість зміни процесу до завершення "time slice", якщо виникає необхідність. Один з можливих алгоритмів такого планування – "пріоритетний с витісненням".

Розглянемо модель потоку типу $M/G/1$. Нехай вимоги з пріоритетного класу p створюють потік з середньою інтенсивністю λ_p вимог в секунду. Час обслуговування кожної вимоги із цього класу обирається незалежно у відповідності з розподілом з щільністю імовірності $w_p(x)$ і з середнім значенням:

$$\bar{x}_p = \int_0^{\infty} x w_p(x) dx$$

Введемо наступні позначення:

$$\lambda = \sum_{p=1}^P \lambda_p, \quad \bar{x} = \sum_{p=1}^P \frac{\lambda_p}{\lambda} \bar{x}_p, \quad \rho_p = \lambda_p \bar{x}_p, \quad \rho = \lambda \bar{x} = \sum_{p=1}^P \rho_p.$$

Тут ρ – доля часу, впродовж якого система зайнята ($\rho < 1$), а кожен з парціальних коефіцієнтів ρ_p – доля часу, впродовж якого система обслуговує заявки з пріоритетного класу с номером p .

Якщо вимога в процесі обслуговування може бути видалена з системи и повернена в чергу при надходженні вимоги з більш високим пріоритетом, то вважається, що система реального часу (РЧ) працює з абсолютним пріоритетом; якщо обслуговування будь-якої вимоги, яка знаходиться у системі, не може бути перервано, то вважається, що система РЧ працює з відносним пріоритетом.

Позначимо середній час очікування у черзі в вимог з пріоритетного класу p - τ_p і середній час знаходження у системі для вимог цього класу - T_p : $T_p = \tau_p + \bar{x}_p$.

Розглянемо систему РЧ з відносним пріоритетом деякої маркованої вимоги з пріоритетного класу p . Перша складова часу очікування для маркованої вимоги пов'язана з вимогою, яку вона застала в системі. Друга складова часу очікування для маркованої вимоги визначається тим, що перед маркованою вимогою обслуговуються інші вимоги, які маркована вимога застала в черзі. Позначимо число вимог з класу i , які застали в черзі марковану вимогу (з класу p) і які обслуговуються перед ним, через N_{ip} . Середнє значення N_{ip} є середнє значення складової затримки:

$$\sum_{i=1}^P \bar{x}_i \bar{N}_{ip}$$

Третя складова затримки пов'язана с вимогами, що поступили після того, як прийшла маркована вимога, однак їх обслужили раніше цієї маркованої вимоги. Число таких вимог позначимо M_{ip} . Серед-

не значення цієї складової загальної затримки знаходиться аналогічно и складає:

$$\sum_{i=1}^P \bar{x}_i \bar{M}_{ip}$$

З урахуванням цих складових запишемо вираз для середнього часу очікування у черзі для маркованої вимоги:

$$\tau_p = \tau_0 + \sum_{i=1}^P \bar{x}_i (\bar{N}_{ip} + \bar{M}_{ip}), \quad p = 1, 2, \dots, P \quad (14)$$

Очевидно, що незалежно від дисципліни обслуговування число вимог, N_{ip} и M_{ip} в системі не може бути довільним, тому існує деякий набір співвідношень, яким пов'язані між собою затримки для кожного з пріоритетних класів, які назвемо умовами збереження. Основою умов збереження для затримок є той факт, що незавершена робота в будь-якій системі РЧ впродовж довільного інтервалу часу зайнятості не залежить від порядку обслуговування, якщо система є консервативною (вимоги не зникають всередині системи и система не простоє при непустій черзі).

Для системи РЧ типу $M/G/1$ можна показати, що для будь-якої дисципліни обслуговування має виконуватися наступна важлива рівність:

$$\sum_{p=1}^P \rho_p \tau_p = \begin{cases} \frac{\rho \tau_0}{1 - \rho}, & \rho < 1, \\ \infty, & \rho \geq 1. \end{cases}$$

Ця рівність означає, що зважена сума часів очікування не змінюється, незалежно від вибору дисципліни обслуговування. Якщо вдається скоротити затримку для одних вимог, то вона вимушено зросте для інших.

Для узагальненої системи з довільним розподілом часу надходження вимог $G/G/1$ закон збереження може бути записаний у вигляді:

$$\sum_{p=1}^P \rho_p \tau_p = \bar{U} - \tau_0$$

Загальний сенс цього співвідношення полягає в тому, що зважена сума затримок залишається постійною.

Висновок

У представлений роботі наведені результати аналізу можливих дисциплін обслуговування систем реального часу, які застосовуються для управління виробничими й технологічними процесами. Маючи отримані співвідношення для характеристик якості обслуговування, оптимізації експертних систем і баз даних можна вибирати дисципліну обслуговування системи РЧ, інформаційну технологію підбору експертів, оцінювання узгодження думок експертів тощо у залежності від стану об'єкту та виду вирішуваного завдання.

Література

1. Tanenbaum A., Feamster N., Wetherall D. Computer Networks Global Edition, Pearson, 6th Ed., 2021. - 944 p.
2. Hern'andez-Hern'andez D., Minj'arez-Sosa J.A. Optimization, Control, and Applications of Stochastic Systems. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2012. - 309 p.
3. Liu Q., Wang Z., He X. Stochastic Control and Filtering over Constrained Communication Networks. Springer Nature Switzerland AG 2019. - 222 p.
4. Afzal S., Kavitha G. Load balancing in cloud computing – A hierarchical taxonomical classification. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications, Springer Open*. 2019. 24 p.
5. Скрипніченко А.А. Метод адаптивної К-шляхової маршрутизації у безпроводових мережах спеціального призначення. *Проблеми інформатизації та управління*. 2024. 2. С. 59 - 68.
6. Stallings W. Computer Organization and Architecture, 10th Ed. / Pearson Education, Inc., Hoboken, NJ, 2016. - 864 pp.
7. Peterson L.L., Bruce S. Davie B.S. Computer Networks: A Systems Approach, 6th Edition, Morgan Kaufmann, 2021. - 848 p.
8. Saaty T. L. The analytic hierarchy process / T. L. Saaty. - McGraw Hill, N.-Y., 1980, 288 pp.

9. Soret, B., Mogensen, P., Pedersen, K. I., Aguayo-Torres, M. C. Fundamental tradeoffs among reliability, latency and throughput in cellular networks. *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. 2014. P. 1391 – 1396. DOI: 10.1109/glocomw.2014.7063628
10. Віноградов М.А., Савченко А.С. Концепція управління корпоративною комп'ютерною мережею на основі психофізіологічних механізмів професійної діяльності людини. *Наукові записки УНДІЗ*. 2013. № 3(27). С. 5 – 14.
11. Sheridan T.B. (Ed.) Analysis, Design and Evaluation of Man-machine Systems 1995, A Postprint volume from the Sixth IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium, Cambridge, Massachusetts, USA, 27 - 29 June 1995, Pergamon. - p. 377 - 736.
12. Khaki, M., & Ghasemi, A. The impact of mobility model on handover RATs in heterogeneous multi-tier wireless networks. *Computer Networks*. 2020. 182, 107454. DOI:10.1016/j.comnet.2020.1074.
13. Wittenmark, B. Adaptive Dual Control Methods: An Overview. *IFAC Proceedings Volumes*. 1995. 28(13), 67–72. DOI: 10.1016/s1474-6670(17)45327-4
14. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.В. Телекомунікаційні та інформаційні мережі. Київ: Саміт-книга, 2010. – 640 с.
15. Vinogradov N.A., Savchenko A.S. Comparative analysis of the functionals of optimal control corporate computer network. *Journal of Qafqaz University (Mathematics and Computer Science)*. 2013. Vol. 1, No 2. P. 156 – 167.

Толстікова О.В., Водоп'янов С.В., Андреєв О.В., Толстіков О.Д.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ТА БАЗ ДАНИХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Мета статті – подати інтегрований підхід до пріоритетів ключових параметрів ефективності (КПЕ) інформаційно-комунікаційної мережі у термінах критеріїв специфіки, вимірюваності, живучості, реалістичності постановки мети.

Планування/методологія/підхід – дослідження побудовано з використанням методу аналізу ієрархій (MAI) як базису парних порівнянь з розглядом кожного КПЕ.

Новизна – розроблений новий підхід націлений на покрокові напрями для прийняття рішень для проведення процесу пріоритизації КПЕ. Результати аналізу даної задачі висвітлюють можливість застосування запропонованого підходу та розрахункового процесу пріоритизації КПЕ.

Обмеження дослідження/застосовність – Рейтингові шкали у MAI є концептуальними; дослідження проводилися на кафедрах експертних систем, баз даних та комп'ютерних інформаційних технологіях.

Оригінальність/цінність – У статті наведений новий підхід до оптимізації КПЕ. Запропонований підхід є цілісним механізмом; він зможе забезпечити команди з прийняття рішень; він також спроможний покращити якісні передові технологічні підходи; нарешті, він забезпечує широкі можливості майбутніх досліджень.

Ключові слова: Метод аналізу ієрархій, вимірювання ефективності/придатності, інтеграція.

Tolstikova O.V., Vodopianov S.V., Andreiev O.V., Tolstikov O.D.

INFORMATION TECHNOLOGIES FOR OPTIMIZATION OF EXPERT SYSTEMS AND REAL-TIME DATABASES

The purpose of the article is to present an integrated approach to the priorities of key performance parameters (KPIs) of the information and communication network in terms of the criteria of specificity, measurability, viability, and realistic goal setting.

Planning/methodology/approach – the study was built using the Analytical Hierarchy Process (AHP) as the basis for pairwise comparisons with consideration of each KPI.

Novelty – a new approach was developed aimed at step-by-step directions for making decisions for the KPI prioritization process. The results of the analysis of this problem highlight the possibility of applying the proposed approach and the calculation process for KPI prioritization.

Research limitations/applicability – Rating scales in the AHP are conceptual; the research was conducted at the departments of expert systems, databases, and computer information technologies

Originality/value – The article presents a new approach to KPI optimization. The proposed approach is a holistic mechanism; it will be able to provide teams with decision-making; it is also able to improve the quality of advanced technological approaches; finally, it provides broad opportunities for future research.

Keywords: Analytical hierarchy method, performance/fitness measurement, integration.

УДК 621.313.333.072.6:621.316.925

DOI: 10.18372/2073-4751.83.20513

Чалий О. В., старший викладач,
orcid.org/0009-0003-5429-8869

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ШЛЯХОМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЗБУДЖЕННЯ ТАТЕМПЕРАТУРИ ОБМОТОК

Державний університет «Київський авіаційний інститут»

e-mail: oleg.chalyi@npp.kai.edu.ua

Вступ

Синхронні електродвигуни є одними з основних елементів сучасних електроприводних систем, що забезпечують стабільну частоту обертання, високу енергоефективність та можливість компенсації реактивної потужності.

Однак експлуатаційна надійність синхронних електродвигунів значною мірою залежить від стабільності параметрів збудження та температурного стану обмоток. Перевищення допустимих температур призводить до прискореного старіння ізоляції, зниження електричної міцності та виникнення міжвиткових коротких замикань. Нестабільність струму збудження, у свою чергу, викликає коливання магнітного потоку, зростання втрат потужності та порушення синхронізму. Такі фактори знижують довговіч-

ність машини і можуть спричинити її передчасний вихід з ладу.

Проблема своєчасного виявлення небезпечних режимів роботи синхронних електродвигунів є особливо актуальною для промислових об'єктів безперервного циклу, де зупинка обладнання призводить до суттєвих економічних втрат. Тому виникає необхідність у впровадженні систем моніторингу параметрів збудження та температури обмоток, які забезпечують контроль стану машини в реальному часі та дозволяють прогнозувати можливі відмови.

Мета

Метою статті є дослідження впливу параметрів збудження та температурного режиму на надійність синхронних електродвигунів, а також обґрунтування доцільності використання моніторингових систем