

УДК 004.732+004.735

DOI: 10.31673/2412-9070.2024.023038

О. В. ДРОБИК, канд. техн. наук, професор;

К. О. ТРЕНЬОВА, аспірантка,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

## МЕТОД ОПЕРАТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МЕРЕЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОСЛУГ У КОРПОРАТИВНИХ ВИСОКОШВИДКІСНИХ МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано інтелектуальні методи та алгоритми оперативного оцінювання стану мережних елементів для забезпечення показників якості послуг зв'язку в корпоративних мультисервісних мережах зв'язку, які функціонують у режимі, близькому до реального часу.

Основою одного з таких методів є концепція застосування інтелектуальних агентів. У запропонованому підході інтелектуальні агенти створюються як ієрархічні нечіткі ситуаційні мережі, в яких рішення стосовно керування, на противагу відомим інструментам, заснованим на застосуванні еталонних ситуацій, виробляються на основі розв'язання ієрархічної системи оптимізаційних завдань, ґрунтуючись на методах нечіткого математичного програмування. Головною парадигмою їхнього функціонування є «ситуація – дія». Це дає змогу істотно знизити розмірність розв'язуваного завдання та отримати парето-оптимальні рішення щодо керування якістю послуг зв'язку. Інтелектуальний агент управлінських рішень може реалізовуватись автоматично за умови, що адміністратор мережі такі можливості йому делегує.

Метод оцінювання параметрів трафіку впливає з концепції умовної нелінійної парето-оптимальної фільтрації. Його суть полягає в застосуванні двоетапної процедури: на першому етапі виробляється прогноз значень (оцінок) параметрів, а на другому, з отриманням подальших спостережень, коригування їх значень. Середня відносна похибка оцінювання параметрів трафіку не перевищує 10%, що є достатньо оперативним для керування якістю послуг зв'язку.

**Ключові слова:** передавання даних; корпоративна мультисервісна мережа; мережний елемент; ієрархічна нечітка ситуаційна мережа; інтелектуальний агент.

### ВСТУП

Нині розвиток промисловості, бізнесу, а також транспортних та логістичних систем характеризується успішним застосуванням корпоративних мультисервісних мереж зв'язку (КММЗ), які забезпечують користувачам надання різних інфокомунікаційних послуг. Зазвичай на великих підприємствах КММЗ — це локальні обчислювальні мережі (LAN) з глобальними телекомунікаційними мережами (WAN), що їх об'єднують. Отже, технічна платформа КММЗ є логічно структурованою сукупністю швидкісних каналів зв'язку, маршрутизаторів (вузлів комутації пакетів), серверів послуг і сервісів зв'язку, що надаються користувачам КММЗ, а також ієрархічною автоматизованою системою керування зв'язком (АСКЗ). Функціональною основою КММЗ є технології телекомунікацій та мереж нового покоління (NGN), ядром яких слугують пакетні мережі на основі стека протоколів TCP/IP/MPLS, що інтегрують різні послуги зв'язку [1].

Відомо, що в КММЗ трафік різних застосунків є дуже різноманітним. Він має складну статистичну структуру. Його параметри зазвичай є значеннями нестаціонарних нелінійних випадкових процесів, при цьому задані вимоги до якості сервісів і послуг зв'язку (Quality of Service, QoS) мають виконуватися повністю.

Для доповнення функціональних можливостей стека протоколів TCP/IP/MPLS стосовно забезпечення якості послуг зв'язку (QoS) у процесі передавання різноманітного мережного трафіку розроблено та застосовуються дві, що доповнюють одна одну, моделі керування трафіком: модель інтегрованих (*Integrated Service*) та модель диференційованих (*Differentiated Service*) послуг. Крім цього, у пакетних мережах використовуються протоколи RSVP (*Resource Reservation Protocol*), RTP (*Real-time Transport Protocol*), які дають змогу керувати міжкінцевими затримками під час передавання пакетів [2; 3].

Однак існують об'єктивні труднощі щодо побудови та реалізації методів та алгоритмів оперативного оцінювання параметрів та характеристик, котрі визначають якість послуг зв'язку в КММЗ. Вони зумовлені складністю і великим просторовим розмахом мережної інфраструктури КММЗ, її різноманітністю, потребою у швидкому та якісному аналізі великої кількості різних динамічно змінних мережних та інформаційних параметрів і характеристик для ухвалення управлінських рішень, яким, зі свого боку, іноді властиві неточність, невизначеність і нечіткість.

Зазначені особливості функціонування КММЗ та процесу її керування розкривають потребу в розробленні та застосуванні інтелектуальних методів для оперативного вироблення та реалізації управлінських рішень стосовно керування якістю послуг зв'язку КММЗ, що є актуальною науковою проблемою.

© О. В. Дробик, К. О. Треньова, 2024

Отже, важливість цього дослідження визначається потребою в реалізації процесів керування мережею в режимі, близькому до реального часу із заданою якістю.

**Аналіз проблеми і постановка завдання дослідження.** Мережні характеристики, що найбільше впливають на якість обслуговування, визначаються Рекомендаціями ІТУ – Т У.1540 та У.1541 [4; 5]. До них належать:

- надійність мережі/мережних елементів;
- імовірність втрати пакетів, що передаються;
- пропускна здатність мережі/каналу зв'язку, біт/с;
- затримка передавання пакетів;
- варіація затримки передавання пакетів.

Параметри, пов'язані з необхідною пропускною здатністю для різних застосунків, можуть бути визначені відповідно до Рекомендацій ІТУ-Т У.1221 [6].

До основних механізмів забезпечення QoS у КММЗ, так само, як і в мережах NGN, можна віднести:

◆ **механізми у площині керування, що розглядають:**

- керування доступом під час з'єднання;
- QoS-маршрутизацію;
- резервування ресурсів, засноване на застосуванні протоколу RSVP;

◆ **механізми у площині даних, які охоплюють:**

- керування буферами вузлів комутації (наприклад, керування буферами маршрутизаторів);
- запобігання та керування перевантаженнями трафіку;
- механізми маркування пакетів;
- організацію та планування черг;
- класифікацію трафіку;
- керування характеристиками трафіку;

◆ **механізми у площині менеджменту, що містять методи та процедури:**

- мережні вимірювання;
- забезпечення виконання угод стосовно рівня якості обслуговування SLA (*Service Level Agreement*).

Механізми керування QoS у КММЗ мають реалізовуватись за допомогою АСКЗ. АСКЗ мереж класу NGN розробляється і створюється на основі концепції моделі ієрархічного мережного керування TMN (*Telecommunication Management Network*). АСКЗ КММЗ рівнів керування послугами (КП), мережею (КМ), технологічного керування (ТК) та керування мережними елементами (МЕ) має керувати QoS у режимі, близькому до реального часу. Це пояснюється тим, що ці рівні керування повинні забезпечувати ефективне мережне керування, включно з керуванням QoS, коли змінюються потреби користувачів у послугах зв'язку, або коли змінюється стан КММЗ через різні деструктивні зовнішні впливи. До таких впливів належать загрози мережної та комп'ютерної безпеки або внутрішні технічні мережні відмови різних програмно-апаратних засобів, МЕ, серверів надання послуг зв'язку тощо.

Особливості розв'язуваних АСКЗ завдань із керування QoS роблять вкрай скрутним застосування підходів до керування КММЗ, заснованих на побудові моделей об'єкта керування, а також на використанні відомих статистичних методів, оскільки КММЗ є великою, розподіленою та складною системою. Її характерними особливостями є значний просторовий розмах, висока динаміка зміни стану, стохастичність, багатовимірність і нелінійність процесів, що відбуваються в ній.

Найбільш перспективним підходом до синтезу АСКЗ КММЗ є підхід, що ґрунтується на використанні концепції розподілених інтелектуальних агентів (ІА) та застосуванні для їх створення нечітких методів та моделей, які реалізують принцип «ситуація – дія». Основними перевагами такого підходу є орієнтованість на аналіз і моделювання процесів, котрі можна подати як логіко-часові послідовності, як просторову взаємопов'язану розподілену систему об'єктів керування, а також як взаємопов'язану сукупність процесів, що відбуваються в них. До основних алгоритмів та моделей цього класу можна віднести нечіткі ієрархічні мережі, нечіткі мережі Петрі, нечіткі ситуаційні мережі, нечіткі когнітивні карти, нечіткі семантичні мережі.

Зазначимо основні методи, що реалізують концепцію ситуаційного керування:

- методи, засновані на формуванні докладного списку опису можливих (еталонних) ситуацій. Для великих складних систем це часом буває не зовсім виправдано через свою складність та громіздкість. Іноді такий підхід не може бути реалізований через можливе експоненційне зростання кількості еталонних ситуацій;

- підходи, що ґрунтуються на об'єднанні принципів ситуаційного керування та методів нечіткої логіки і нечіткого висновку. Вони дістали назву методів нечіткого ситуаційного підходу і є найбільш перспективними щодо реалізації.

Особливість автоматизованих систем керування, призначених для забезпечення процесу керування складними організаційно-технічними системами, полягає в тому, що вони мають не лише ідентифікувати поточну ситуацію, а й визначити раціональні режими функціонування керованих систем.

Отже, завданням запропонованого дослідження є розроблення методу розподіленої ієрархічно-нечіткої ситуаційної мережі для оцінювання параметрів стану МЕ в КММЗ з метою забезпечення заданої якості послуг зв'язку на основі концепції створення та застосування ІА.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

#### Метод оперативного оцінювання стану мережних елементів на основі ієрархічних нечітких ситуаційних мереж

Запропоновану функціональну структуру ІА для керування якістю послуг зв'язку наведено на рис. 1, де зображено схему взаємодії ІА з МЕ.

ІА складається з модуля оцінювання ситуації стану МЕ, модуля розв'язання інформаційно-розрахункових задач, модуля ухвалення рішень. Якщо адміністратор мережі (особа, що ухвалює рішення) делегує ІА можливість реалізації прийнятого рішення через автоматизовану систему МЕ, то керування реалізовуватиметься в автоматичному режимі (див. рис. 1, стрілка 1). У цьому випадку ІА тільки повідомляє адміністратору мережі про ухвалені та реалізовані рішення з керування МЕ.

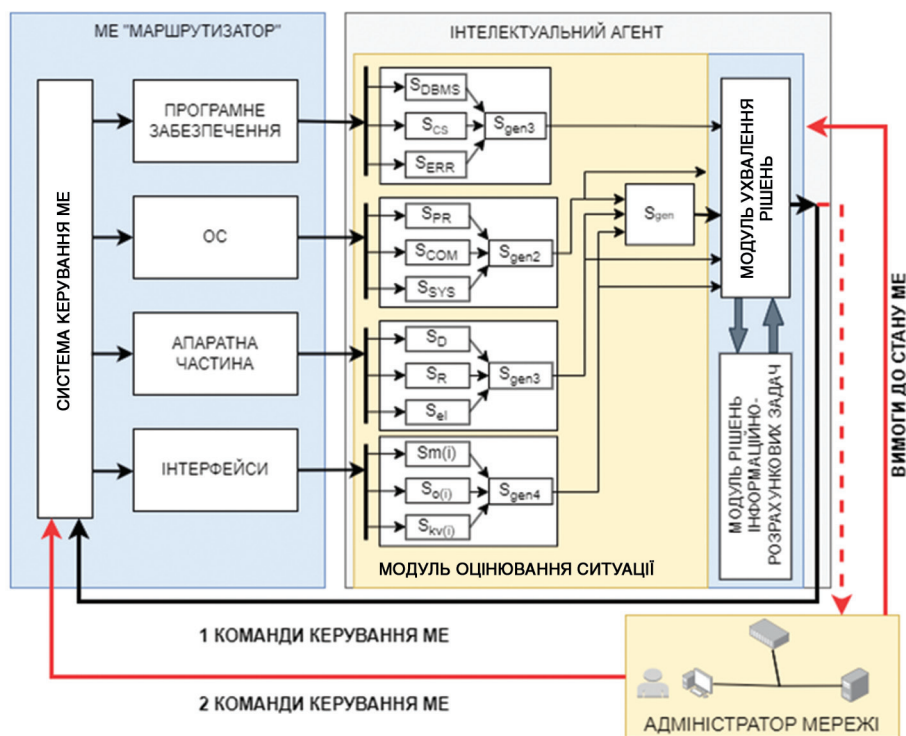


Рис. 1. Функціональна структура ІА для керування якістю послуг зв'язку

Розглянемо коротко принцип функціонування ІА. Нехай  $P_{fg} = \{p_{fg1}, p_{fg2}, \dots, p_{fgm}\}$  — безліч ознак, що описують стан деякої функціональної групи МЕ, наприклад стан операційної системи (ОС), що надходить на вхід ІА у процесі моніторингу.

Ознаки  $p_{fg}, i = (1, \overline{m})$  описуються своїми лінгвістичними змінними:

$$\langle p_{fg}, T_i, U_i \rangle, \tag{1}$$

де  $T_i$  — терм-множина лінгвістичної змінної,  $T_i = \{T_1^i, T_2^i, \dots, T_m^i\}$ ;  $m$  — кількість нечітких значень ознаки;  $U_i$  — базова множина ознаки.

Терми  $T_j^i (i = 1, \overline{m}, j = 1, \overline{k})$  описуються за допомогою відповідних нечітких множин  $A_{ij}$ , що визначаються за допомогою значень функцій належності  $\mu_{A_{ij}}(p_{fgi})$  у відповідних базових множинах  $p_{fgi} \in U_i$ :

$$A_{ij} = \{\mu_{A_{ij}}(p_{fgi})/p_{fgi}\}, p_{fgi} \in U_i. \tag{2}$$

Значення загальної ситуації стану МЕ матиме вигляд  $S_{fgi\text{ зар}} = \langle \text{«допустиме»} \rangle$ .

У наведеній структурі ІА кількість ієрархічних рівнів має умовний характер і може бути змінено відповідно до розв'язку конкретної задачі в процесі проектування ІА.

Тоді оцінка нечіткої ситуації стану МЕ ІА формується на основі ієрархічної побудови машин нечіткого логічного висновку Мамдані як нечітка множина другого рівня:

$$S_{fg} = \{(S_{fg}(p_{fgi})/p_{fgi}), i = 1, \overline{m},\} \quad (3)$$

де

$$S_{fg}(p_{fgi}) = \{(\mu_{Aij}(p_{fgi})/T_j^i)\}, j = 1, \overline{k}. \quad (4)$$

Наприклад, стан ІА (див. рис. 1) за заданих значеннях функціональних ознак «Стан програмного забезпечення (ПЗ)», «Стан ОС», «Стан апаратної частини (АЧ)», «Стан графіку (TR)» може описуватися такою нечіткою ситуацією:

$$S_{fgi} = \left\{ \frac{0,9}{\text{ПЗ:} \langle\langle \text{нормальне} \rangle\rangle}, \frac{0,95}{\text{ОС:} \langle\langle \text{нормальне} \rangle\rangle}, \frac{0,8}{\text{АЧ:} \langle\langle \text{допустиме} \rangle\rangle}, \frac{0,75}{\text{TR:} \langle\langle \text{допустиме} \rangle\rangle} \right\}. \quad (5)$$

На входи машин нечіткого логічного висновку першого рівня ієрархії надходять вектори ознак  $\{p_{fgi}\}$  кожної контрольованої функціональної групи параметрів, що визначають функціональний і технічний стани МЕ. На виході ієрархічного шару формується набір оцінок нечітких ситуацій  $\{S_{fg}(i)\}$  стану МЕ щодо кожної функціональної групи параметрів. На наступному рівні ієрархії відбувається агрегування цих оцінок.

Ієрархічну нечітку ситуаційну мережу керування МЕ можна подати виразом

$$S_l = \langle F_l(\{S_{fg}^l\}, \{p_{fgi}^l\}, R_{fg}^l) \rangle, \quad (6)$$

де  $S_l$  — нечітка ситуація стану МЕ;  $F_l$  — оператор агрегування;  $\{S_{fg}^l\}$  — множина нечітких ситуацій станів контрольованих функціональних груп МЕ;  $\{p_{fgi}^l\}$  — множина нечітких параметрів станів контрольованих функціональних груп МЕ;  $R_{fg}^l$  — розв'язок із керування МЕ, який дістаємо після виконання оптимізаційних інформаційно-розрахункових задач за допомогою методів нечіткого математичного програмування.

Узагальнений алгоритм оперативного оцінювання стану МЕ на підставі запропонованого методу набере такого вигляду:

**Крок 1. ПОЧАТОК.**

**Крок 2. Оцінювання технічного стану МЕ.**

**Крок 3. Формування значень нечітких ситуацій щодо кожної контрольованої функціональної групи МЕ.**

**Крок 4. Якщо  $\mu(S_{fg}^l) \geq \mu(S_{fg0}^l) \forall l$ , то функціонування МЕ штатне.**

**Крок 5. Якщо  $\exists l, \mu(S_{fg \text{ дод}}^l) \leq \mu(S_{fg}^l) \leq \mu(S_{fg0}^l)$ , то технічний стан МЕ погіршився, але допустимо.**

**Дія:** підготовка рішення для варіанта подальшого погіршення ситуації, запит додаткового ресурсу у вищого рівня керування.

**Крок 6. Якщо  $\exists l, \mu(S_{fg \text{ дод}}^l) \geq \mu(S_{fg}^l)$ , то технічний стан МЕ погіршився, функціонування неможливе.**

**Дія:** рішення для випадку відмови МЕ — запит додаткового ресурсу у вищого рівня керування, перерозподіл ресурсів між іншими МЕ, якщо ресурс отримано, відновлення МЕ, якщо ні — вилучення МЕ зі складу мережі. МЕ відновлено? ТАК — продовжити моніторинг. Перехід до кроку 2. НІ — перехід до кроку 7.

**Крок 7. КІНЕЦЬ.**

Метод та алгоритм оцінювання параметрів трафіку реалізується на основі концепції умовної нелінійної Парето-оптимальної фільтрації В. С. Пугачова.

Спостереження трафіку мають вигляд випадкової послідовності (ВП)  $x(i)$ , заданої в дискретні моменти часу  $t = i = \{1, 2, \dots, n, \dots\}$ , із кінцевими значеннями математичного сподівання і дисперсії та описуються нелінійною адитивно-мультиплікативною моделлю

$$x(i) = \theta(i) \cdot \omega(i - 1) + \xi(i), \quad (7)$$

де  $\omega(*)$  — невідома випадкова функція від спостережень;  $\theta(i)$  — випадкова величина;  $\xi(i)$  — завада спостережень із нульовим математичним сподіванням та кінцевою дисперсією. Векторний критерій оцінювання математичного сподівання ВП  $x(i)$  та його середньоквадратичного відхилення (СКВ) можна подати так:

$$J(i) = M\{\bar{\epsilon}\} = \left\{ M(m(i) - \hat{m}(i))^2 \rightarrow \min, M(\sigma(i) - \hat{\sigma}(i))^2 \rightarrow \min \right\}, \quad (8)$$

де  $\hat{m}(i)$ ,  $\hat{\sigma}(i)$  — оцінювання відповідно математичного сподівання і СКВ ВП на кроці  $i$ ;  $m(i)$ ,  $\sigma(i)$  — відповідно їх справжні значення на цьому кроці. Тоді функція прогнозу поточного значення математичного сподівання ВП визначатиметься за формулою

$$\hat{m}(i) = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} x(i-k), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

де  $N$  — розмір ковзного вікна, який вибирається щодо невеликого розміру. Прогноз оцінювання СКВ ВП на кроці  $i$  здійснюється в цьому самому ковзному вікні:



$$\hat{\sigma}(i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N x^2(i-k) - \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(i-k) \right)^2}. \quad (10)$$

Побудову процедури, що коригує, виконаємо для компоненти оцінювання математичного сподівання функціонала (8), з подальшим узагальненням на векторний випадок. Зазвичай значення функціонала  $J(\hat{m}(i))$  не є спостереженням, а доступне тільки як реалізація його градієнта з випадковою помилкою:

$$\nabla Q(\xi \hat{m}(i)) = \nabla J_m(\hat{m}(i)) + \xi(i), \quad \xi \in R^n, \quad (11)$$

де  $\xi$  — помилка спостереження градієнта. Припустимо, що  $\xi$  — центровані, некорельовані помилки оцінювання градієнта функціонала якості. Мінімізацію функціонала (11) здійснюватимемо за допомогою рекурентного псевдоградієнтного алгоритму (ПГА):

$$\hat{m}(i+1) = \hat{m}(i) - \lambda_m(i+1) \nabla Q(\xi, \hat{m}(i+1)), \quad (12)$$

де  $\nabla Q(\xi, \hat{m}(i+1))$  — деякий випадковий напрямок руху у фазовому просторі в точці  $\hat{m}(i+1)$ ;  $\hat{m}(i)$  — скоригована оцінка математичного сподівання на попередньому кроці. Зазначимо, що  $\{\lambda_m(i)\}$  — послідовність позитивних чисел, яка для стаціонарного ВП має задовольняти умови Дворецького:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \lambda_m(i) = \infty, \quad \sum_{i=1}^{\infty} \lambda_m^2(i) < \infty. \quad (13)$$

Реалізація функціонала якості у точці  $\hat{m}(i+1)$  набере вигляду

$$\nabla Q(\xi, \hat{m}(i+1)) = (\hat{m}(i+1) - \hat{m}(i))^2. \quad (14)$$

Після перетворень, рекурентний ПГА оцінювання значення математичного сподівання визначатиметься за виразом

$$\hat{m}(i+1) = \hat{m}(i) + \lambda_m(i+1) (\hat{m}(i+1) - \hat{m}(i)). \quad (15)$$

Зазначимо, що для симетричної густини розподілу значень ВП  $\hat{m}(i)$  можливе застосування ПГА такого вигляду:

$$\hat{m}(i+1) = \hat{m}(i) + \lambda_m(i+1) \varphi(\hat{m}(i+1) - \hat{m}(i)), \quad (16)$$

де як функцію  $\varphi(*)$  може бути взято неспадну монотонну функцію, наприклад знакову функцію  $\varphi(*) = \text{sing}(*)$ . Як зазначається у статті [7], її застосування дає змогу підвищити стійкість ПГА до випадкових помилок оцінювання градієнта функціонала якості.

Узагальненням алгоритму (15) є векторний ПГА оцінювання параметрів ВП, який можна подати так:

$$\hat{H}(i+1) = \hat{H}(i) + Z(i+1) \times \nabla Q(i+1), \quad (17)$$

де  $\hat{H}(i+1)$  — вектор оцінювання параметрів СП на кроці  $i+1$ ,

$$\hat{H}(i+1) = [\hat{m}(i+1), \hat{\sigma}(i+1)]^T. \quad (18)$$

Матриця  $Z(i+1)$  є діагональною матрицею коефіцієнтів кроку параметрів, що оцінюються.

Структура алгоритмів (15) і (16) інваріантна щодо статистичних характеристик ВП  $x(i)$  з точністю, що визначається точністю ідентифікації своїх параметрів. Це твердження ґрунтується на застосуванні центральної граничної теореми. Його наслідком є те, що за будь-яких імовірнісних властивостях трафіку структура алгоритму оцінювання його параметрів постійна, можуть змінюватися лише його параметри.

Для оцінювання параметрів нестаціонарних ВП умова (13) обмежує застосування ПГА, оскільки ПГА має відстежувати зміни значення параметрів трафіку, а не зводитися до певних значень. Пропонується послідовність  $Z(i)$  обмежити знизу постійними значеннями. У цьому разі СКВ оцінювання також буде обмежено знизу. Тому потрібно досягти компромісу між швидкістю та точністю оцінювання параметрів ВП.

Модулі градієнтів компонентів векторного функціонала якості пропорційні швидкості зміни параметрів ВП. Подібні залежності мають характер складноформалізованих завдань. Пропонується підлаштування коефіцієнтів кроку ПГА автоматизувати на основі методу нечіткого логічного висновку Такагі-Сугено або на основі його окремого виду — логічного висновку, у такий спосіб:

$$\begin{aligned} &\text{ЯКЩО } \langle \hat{H}(i) \in D1 \rangle \text{ АБО } \langle \nabla Q(i) \in D2 \rangle \text{ АБО } \langle \hat{\sigma}(i) \in D2 \rangle \\ &\text{ТО } Z(i+1) = Z(k) \text{ та } N = N(k). \end{aligned} \quad (19)$$

Для реалізації цих правил попередньо проводиться навчання системи нечіткого логічного висновку за експериментальними даними, отриманими на стадії її проектування.

Відомо кілька варіантів аналітичної апроксимації залежності середньої тимчасової затримки від параметрів потоку і характеристик обслуговувального приладу для систем масового обслуговування (СМО) класу  $G/G/1$ . Одним із найчастіше застосовуваних функціональних уявлень є залежність, в якій

верхня межа сумарного часу затримки обслуговування заявки та її передавання до лінії зв'язку набирає вигляду

$$t_{k,l} \leq \frac{\rho_{k,l}}{\lambda_{k,l}} + \frac{K_{ak,l}^2 + \rho_{k,l}^2 K_{bk,l}^2}{2\lambda_{k,l}(1-\rho_{k,l})}, \quad (20)$$

де  $t_{k,l}$  — час затримки обслуговування заявки та її передавання до лінії зв'язку;  $\lambda_{k,l}$  — інтенсивність вхідного потоку;  $\rho_{k,l}$  — коефіцієнт використання лінії зв'язку;  $K_{ak,l}^2$  — квадрат коефіцієнта варіації вхідного потоку;  $K_{bk,l}^2$  — квадрат коефіцієнта варіації процесу обслуговування заявки в лінії ( $k, l$ ).

У виразі (20) усі вхідні величини можна оцінити за допомогою ПГА (15)–(17).

Імовірність втрати пакетів  $P_{loss}$  для КММЗ з обмеженим буфером визначається для системи типу  $G/G/1/N$ , яка є найбільш загальною моделлю, відповідно до виразу

$$P_{loss} \approx \frac{1-\rho}{\frac{2}{1-\rho} K_a^2 + K_b^2} \rho^{\frac{2}{K_a^2 + K_b^2} N}, \quad (21)$$

де  $\rho$  — коефіцієнт використання лінії зв'язку;  $N$  — ємність буфера;  $K_a^2$  — значення квадрата коефіцієнта варіації вхідного трафіку;  $K_b^2$  — значення квадрата коефіцієнта варіації процесу оброблення трафіку на вузлі комутації.

Ці значення, а також поточні значення інтенсивності трафіку пропонується також оцінювати за допомогою ПГА (15)–(17). Для СМО типу  $M/M/1/N$  вираз (21) спрощується і може мати такий вигляд:

$$P_{loss} \approx \frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}} \rho^N \quad (22)$$

Для мережі передавання даних, в якій  $M$  вузлів комутації пакетів, загальна ймовірність втрати пакетів обчислюється відповідно до правила:

$$P_{loss\text{ заг}} \approx 1 - \prod_{i=1}^M (1 - P_{loss\ i}). \quad (23)$$

Розроблені підходи щодо оцінювання поточної нечіткої ситуації стану МЕ дають змогу реалізовувати практично всі механізми забезпечення QoS у КММЗ.

### Аналіз результатів чисельного моделювання

У експерименті оцінювався загальний стан МЕ за такими функціональними групами: продуктивністю процесорного модуля, станом програмного забезпечення, електричними параметрами процесорного модуля та інтерфейсів МЕ.

Характеристики системи нечіткого висновку для оцінювання нечіткої ситуації стану електричних параметрів МЕ функціональної групи «Апаратна частина» наведено на рис. 2 і 3. Тут зображено одновимірні та двовимірні функції належності (ФН) можливих значень цих параметрів.

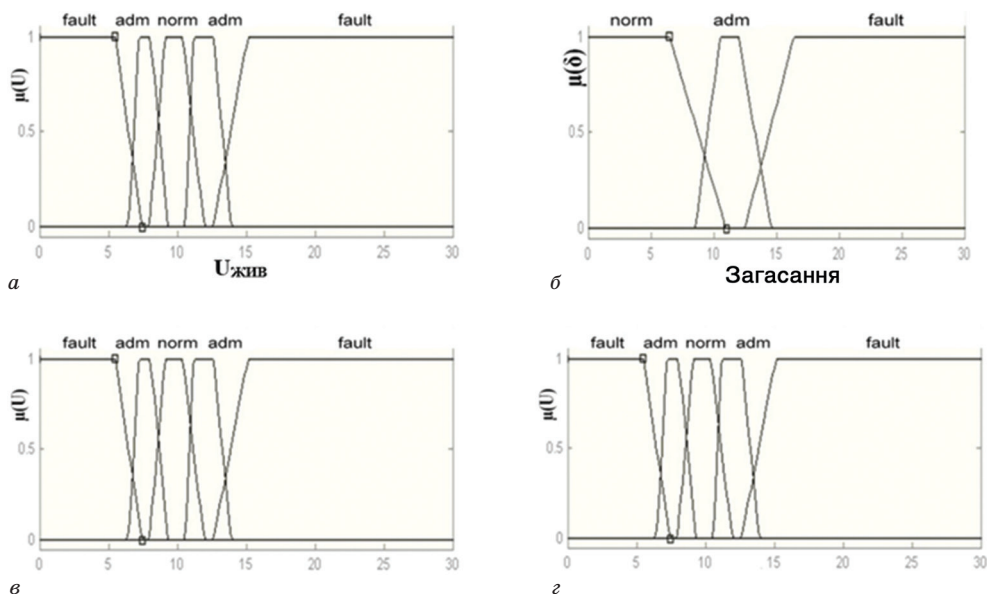


Рис. 2. Вхідні та вихідні функції належності ІА параметрів: а — ФН параметра «електроживлення»; б — ФН параметра «загасання»; в — ФН параметра «опір інтерфейсів»; г — ФН значення нечіткої ситуації  $S_{заг1}$

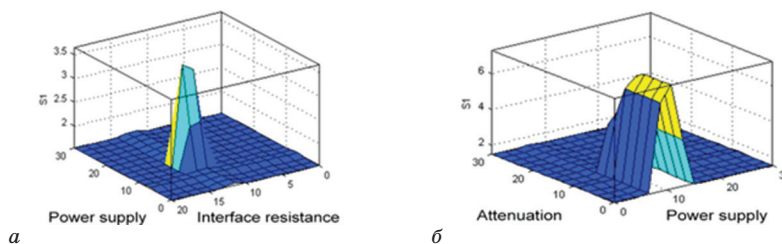


Рис. 3. Приклад двовимірних функцій належності:  
 а — ФН «електроживлення – опір інтерфейсів»; б — ФН «електроживлення – загасання»

У цьому обчислювальному експерименті всі ФП мають трапецієвидну форму, досить просто практично реалізуються і мають хороші апроксимаційні властивості.

Здійснений аналіз необхідної продуктивності роботи процесорного модуля ІА показав, що з реалізації оцінювання технічного стану МЕ досить мати його продуктивність лише на рівні 1,8...1,9 Гфл. І тут час циклу ухвалення управлінського рішення становитиме приблизно  $15...70 \times 10^{-6}$  с (15...70 мкс). Точність алгоритму оцінювання стану МЕ багато в чому визначається характеристиками первинних сенсорів аналізованої інформації. Усі виконані експерименти показали високу стійкість функціонування ієрархічної нечіткої ситуаційної мережі. Невірогідних вихідних лінгвістичних змінних під час експерименту не було зафіксовано.

Отже, відносна середня похибка оцінювання параметрів трафіку КММЗ для розподілу Парето не перевищує 10%. За інших випадків ця похибка перевершує 5–7%.

Залежності сумарного часу затримки обслуговування заявки та її передавання до лінії зв'язку відповідно до (20) унаочнює рис. 4. Проведені дослідження показали, що оцінка середнього часу затримки обслуговування заявки та її передавання до лінії зв'язку виробляється із середньою відносною похибкою, що має значення менш як 10%. Слід зазначити, що запропонований метод оцінювання параметрів трафіку дає можливість визначати поточний прогноз часу затримки обслуговування заявки, що є важливим для реалізації механізмів оперативного керування показниками QoS КММЗ.

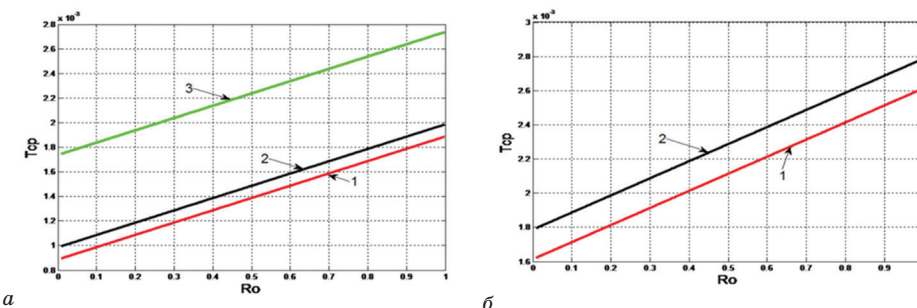


Рис. 4. Середній час затримки оброблення трафіку на МЕ:  
 а — 1 — пуасонівський потік за відомих характеристик; 2 — пуасонівський потік, відносна похибка оцінки  $K_{a,k,l}$  5%;  
 3 — логнормальний потік з  $K_{a,k,l} = 1,4$ ; б — 1 — логнормальний потік з  $K_{a,k,l} = 1,4$ ;  
 2 — логнормальний потік з  $K_{a,k,l} = 1,4$ , відносна похибка оцінки  $K_{a,k,l}$  5%

Графіки залежності ймовірностей втрати пакетів від значень розмірів буферів МЕ  $P_{loss} = \vartheta(N)$  із заданими значеннями  $\rho$  зображено на рис. 5. З наведених залежностей випливає, що за наявного поточного оцінювання параметрів трафіку як поточний прогноз можна оцінювати розміри буферів МЕ для забезпечення необхідних показників QoS. Середня відносна помилка прогнозу величини буфера із високими значеннями коефіцієнта використання каналу  $\rho$  не перевищує 6-8%, що є достатнім значенням під час оперативного керування МЕ.

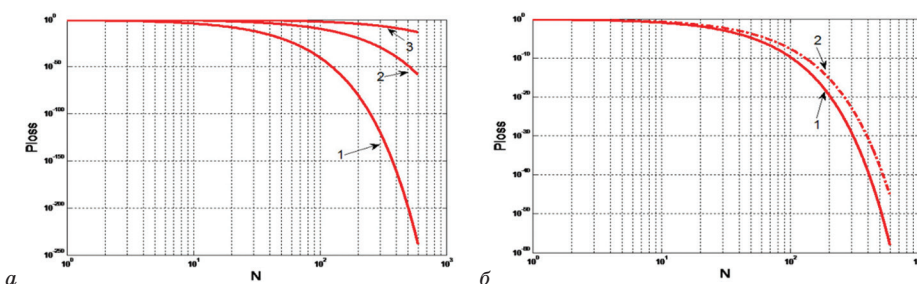


Рис. 5. Графіки залежності ймовірностей втрати пакетів від значення розмірів буферів МЕ:  
 а — 1 —  $\rho = 0,4$ ; 2 —  $\rho = 0,8$ ; 3 —  $\rho = 0,9$ ; б — 1 —  $\rho = 0,8$ ; 2 —  $\rho = 0,85$

### ВИСНОВКИ

Аналіз результатів моделювання інтелектуального методу та алгоритмів оперативного оцінювання стану МЕ для забезпечення QoS у КММЗ показав можливість його функціонування в режимі, близькому до реального часу. Затримка ухвалення управлінського рішення становить трохи більше десятків мікросекунд. При цьому середня відносна похибка оцінювання основних технічних характеристик МЕ та параметрів мережного трафіку не перевищує 10%, що є достатнім значенням для реалізації завдань оперативного керування МЕ та мережним доменом загалом.

Запропонований метод може функціонувати як моделі інтегрованих, так і моделі диференційованих послуг забезпечення QoS послуг зв'язку в КММЗ.

Автоматизовані системи, які реалізують розглядуваний метод, можуть бути віднесені до систем нового класу, який посідає проміжне положення між класом систем ухвалення та класом систем підтримання ухвалення рішень. Як переваги запропонованого методу слід розглядати те, що ІА системи адаптуються до мережної архітектури і адекватно відповідають змінам у конфігурації мережного устаткування, вони розподілені за всіма МЕ в КММЗ, що дає змогу раціонально розподілити обчислювальні ресурси.

Аналіз здобутих результатів дозволяє стверджувати про гнучку можливість апаратно-програмної реалізації даного методу як на універсальних процесорах, так і на основі технології логічних інтегральних схем, що програмуються (FPGA).

### Список використаної літератури

1. **ITU-T: General principles and general reference model for Next Generation Networks. Recommendation Y.2011.** Geneva, 2004. URL:

<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2011-200410-I/en>

2. **RFC 2205: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification.** URL:

<http://tools.ietf.org/html/rfc2205> (дата звернення: 24.09.2023).

3. **RFC 3550: RTP: A Transport Protocol for real – Time Applications.** URL:

<http://tools.ietf.org/html/rfc3550> (дата звернення: 27.09.2023).

4. **Recommendation ITU – T Y.1540. Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters, 2011 (Recommendation ITU-T Y.1540 defines parameters that may be used in specifying and assessing the performance of speed, accuracy).** URL:

<https://www.itu.int/itu-t/recommendations/rec.aspx?rec=Y.1540> (дата звернення: 24.09.2023).

5. **Recommendation ITU – T Y.1541. Network performance objectives for IP – based services. December 2011.** URL:

<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-201112-I> (дата звернення: 03.10.2023).

6. **Recommendation ITU – T Y.1221. Traffic control and congestion control in IP – based networks. June 2010.** URL:

<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1221/en> (дата звернення: 01.10.2023).

7. **Треньова К. О. Адаптивний метод і алгоритм оперативного оцінювання параметрів трафіку у високошвидкісних корпоративних мультисервісних мережах зв'язку // Наукові записки ДУТ. 2023. № 2(4). С. 107–115.** URL:

<https://journals.dut.edu.ua/index.php/sciencenotes/index>

O. Drobyk, K. Trenova

### METHOD OF OPERATING ASSESSMENT OF THE STATE OF NETWORK ELEMENTS TO ENSURE THE QUALITY OF SERVICES IN CORPORATE HIGH-SPEED MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORKS

The article proposes intelligent methods and algorithms for operational assessment of the state of network elements to ensure indicators of the quality of communication services in corporate multi-service communication networks that function in a mode close to real time.

A feature of corporate multi-service networks is the high dynamics of changes in their state. And the task of the automated network management system is to ensure the given quality of communication services.

Thus, the relevance of this study is determined by the need to implement network management processes in a mode close to real time, with a given quality.

The basis of the method of operational assessment of the state of network elements is the concept of using intelligent agents. In the proposed approach, intelligent agents are created as hierarchical fuzzy situational networks, in which management decisions,



*in contrast to known methods based on the application of reference situations, are produced on the basis of solving a hierarchical system of optimization tasks based on fuzzy mathematical programming methods. The main paradigm of their functioning is «situation – action». This makes it possible to significantly reduce the dimension of the task to be solved and obtain Pareto-optimal solutions for managing the quality of communication services. The intelligent agent of management solutions can be implemented automatically, provided that the network administrator delegates such capabilities to it.*

*The method of estimating traffic parameters is based on the concept of conditional nonlinear Pareto-optimal filtering. Its essence is to apply a two-stage procedure; at the first stage, a forecast of the values of parameter estimates is made, but in the second, with the receipt of the following observations, their values are adjusted. The average relative error of traffic parameter estimation does not exceed 10%, which is sufficiently operational for managing the quality of communication services.*

**Keywords:** data transmission; corporate multiservice network; network element; hierarchical fuzzy situational network; intelligent agent.

