

НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук

Методи та системи штучного інтелекту

*Тема №7. Методи інтелектуального управління
маршрутизацією потоків даних в гетерогенних
мережах*

Київ - 2026

Зміст

- 1. Метод формального уявлення сенсорної мережі у вигляді математичної моделі і нотації (мови) опису функціонування мережі.*
- 2. Концептуальна схема взаємодії функціональних обчислювальних системи вузлів сенсорної мережі.*
- 3. Система інтелектуального управління вузла сенсорної мережі.*
- 4. Метод опису топології сенсорної мережі у вигляді графу, математичної моделі і нотації (мови).*
- 5. Метод формування функціонального віртуального простору параметрів сенсорної мережі варіативної топології.*
- 6. Результати дослідження процесів функціонування обчислювальних систем вузлів СМ при ПД.*
- 7. Синтез і вибір маршруту ПД.*

Мета лекції

Вивчення та дослідження методів інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних в гетерогенних мережах

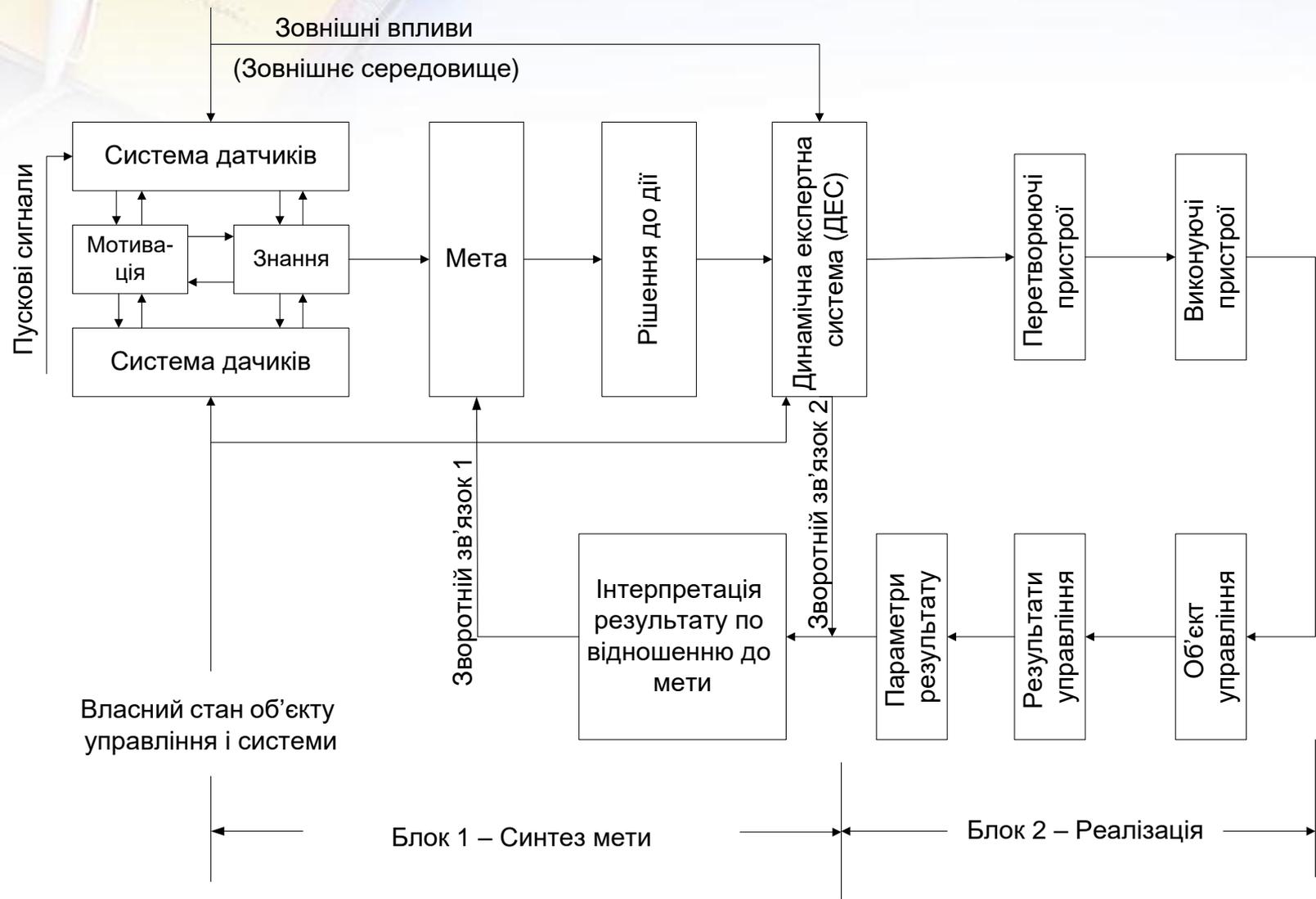
Список літератури

1. Encyclopedia of artificial intelligence / Eds.: J. R. Dopico, J. D. de la Calle, A. P. Sierra. - New York : Information Science Reference, 2009. - Vol. 1-3. - 1677 p.
2. Gen M. Genetic algorithms and engineering design / M. Gen, R. Cheng. - New Jersey : John Wiley & Sons, 1997. - 352 p.
3. Haupt R. Practica genetic algorithms / R. Haupt, S. Haupt. - New Jersey : John Wiley & Sons, 2004. - 261 p.
4. Емельянов В. В. Теория и практика эволюционного моделирования / В. В. Емельянов, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. - М. : Физмат - лит, 2003. - 432 с.
5. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: монография /М. Курейчик. - Таганрог : ТРТУ, 1998. - 242 с.
6. Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. - М.: Вильямс, 2006. - 1408 с.
7. Скобцов Ю. А. Основы эволюционных вычислений / Ю. А. Скобцов. - Донецк: ДонНТУ, 2008. - 330 с.
98. Эволюционные методы компьютерного моделирования: монография / А. Ф. Верлань, В. Д. Дмитриенко, Н. И. Корсунов, В. А. Шорох. - К: Наукова думка, 1992. - 256 с.
15. Емельянов В. В., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Теория и практика эволюционного моделирования. — М : Физматлит, 2003. — 432 с.
16. Курейчик В. М., Лебедев Б. К., Лебедев О. К. Поисковая адаптация: теория и практика. — М : Физматлит. — 272 с.
17. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. — 2-е изд. — М : Физматлит, 2006.
18. Гладков Л. А., Курейчик В. В, Курейчик В. М. и др. Биоинспирированные методы в оптимизации: монография. — М : Физматлит, 2009. — 384 с.

1. Метод формального уявлення сенсорної мережі у вигляді математичної моделі і нотації (мови) опису функціонування мережі

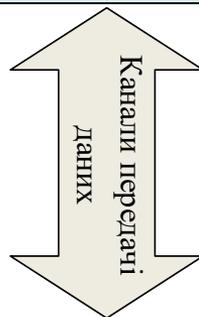
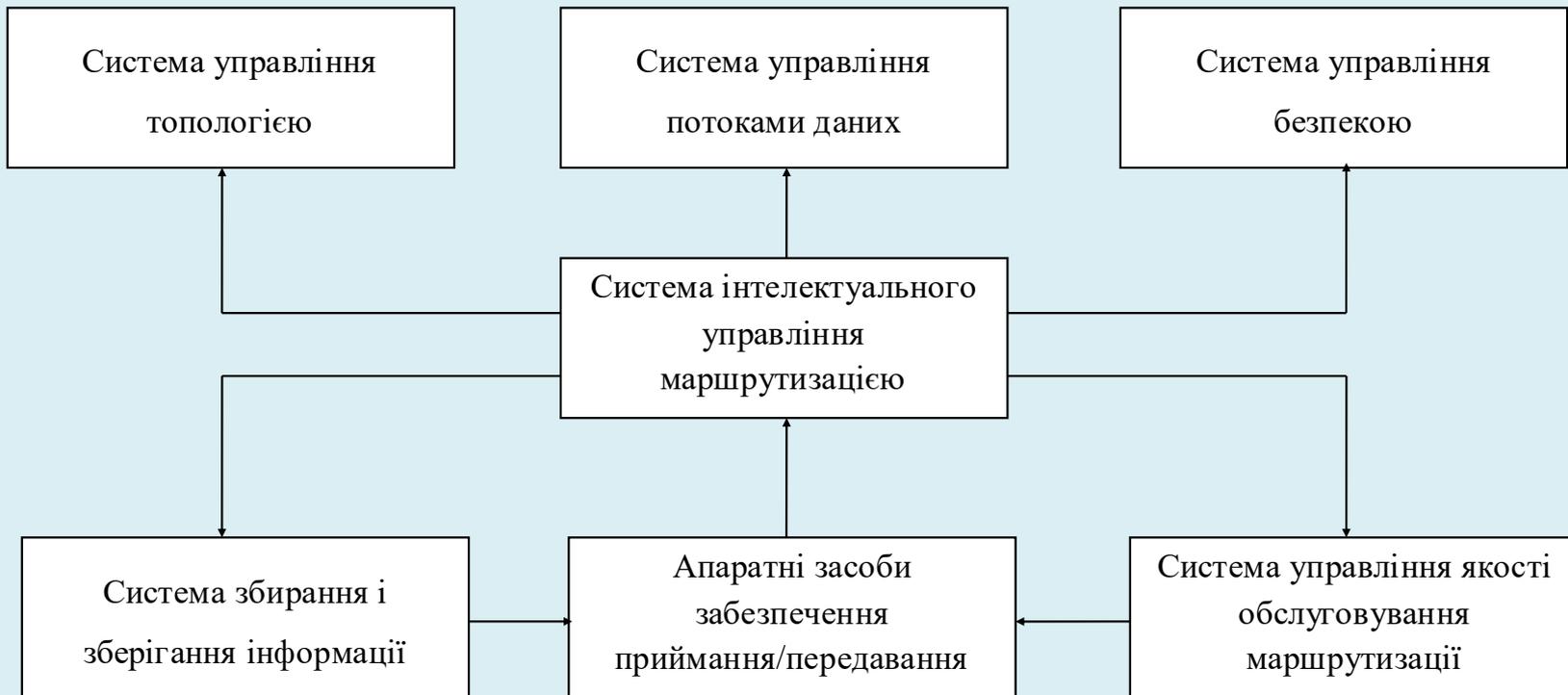


Структурна схема системи інтелектуального управління вузла мережі

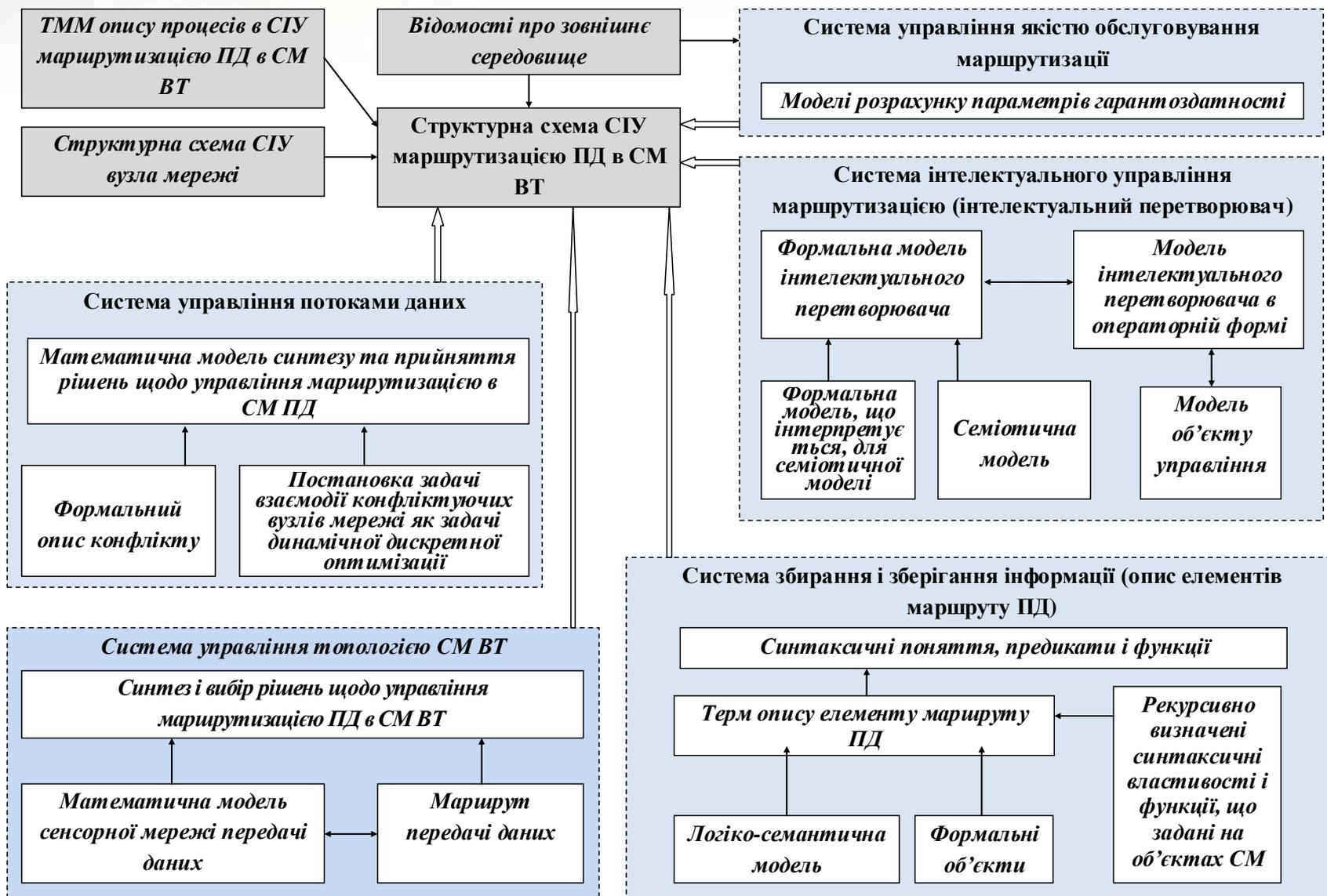


Структурна схема системи інтелектуального управління СМ

Обчислювальна система вузла сенсорної мережі

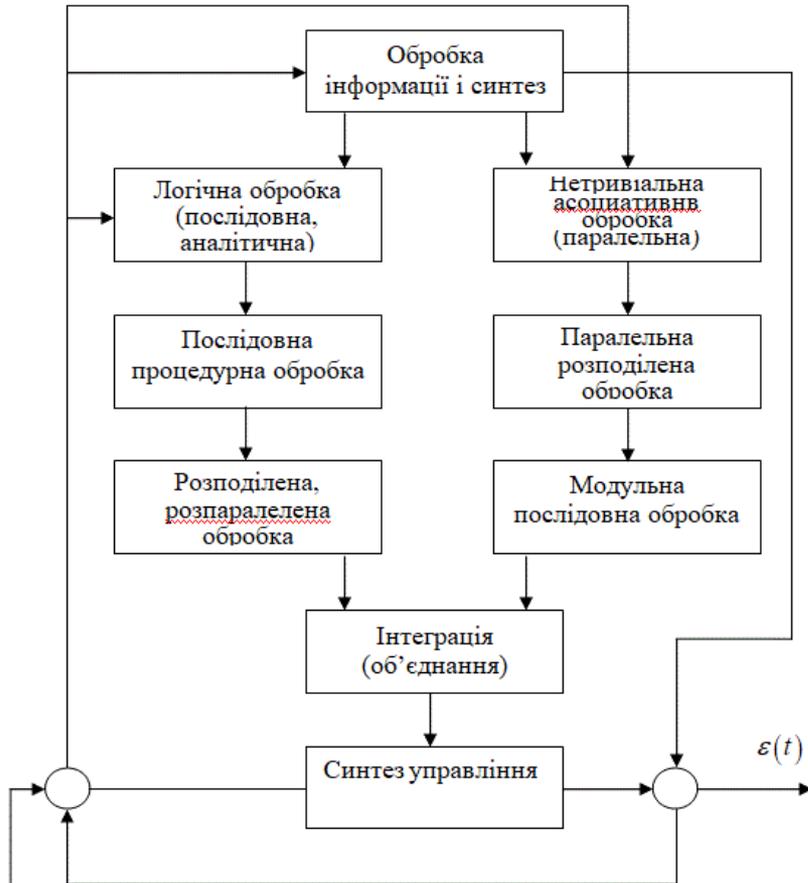


2. Концептуальна схема взаємодії функціональних обчислювальних систем вузла сенсорної мережі



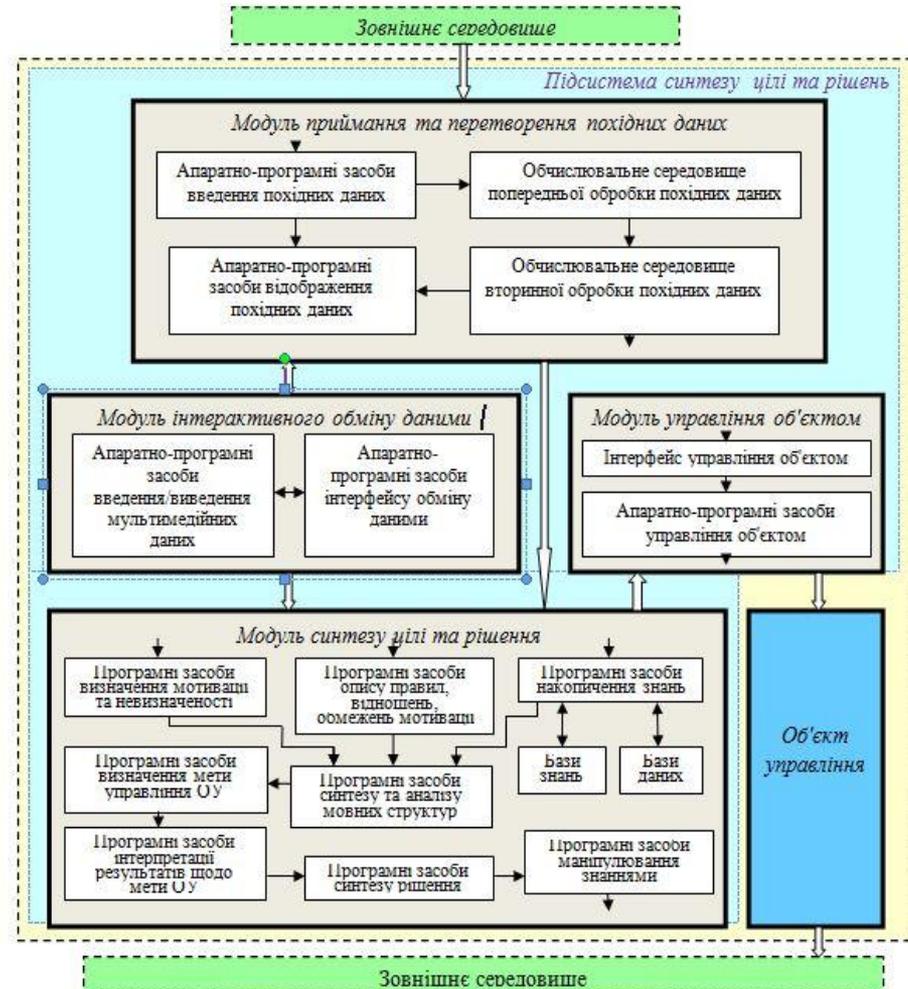
3. Система інтелектуального управління вузла сенсорної мережі

Діаграма функціонування



Відомості про зовнішнє середовище

Функціональна схема СІУ вузла СМ



ІІІ – інтелектуальний перетворювач

ІІІ є логіко-перетворюючим пристроєм, який перетворює інформацію про стан зовнішнього середовища і параметри функціонування ОУ, трансформуює в сигнали для пристрою управління СУ

Концептуальна математична модель опису процесів, що відбуваються в інтелектуальній системі

$$T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_1} M \times T; C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_3} R \times T;$$

$$C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_3} R \times T; T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T;$$

$$T \times Y = \{D \times T\} X \times T; T \times R \times Y \xrightarrow{\alpha_4} C \times T,$$

Рішення проблеми кількісного та якісного описів процесів в інтелектуальній системі пов'язане з необхідністю визначення операторів

$$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$$

T — множина моментів часу X, S, M, C, R, Y , — множини станів системи, середовища, мотивації, мети, прогнозованого і реального результатів відповідно; $\{A\}, \{B\}, \{D\}$ — матриці параметрів системи; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання

$F(.)$ - оператор інтелектуального перетворення, який характеризує структуру та роботу ІІІ; x - вектор стану СУ; u - вектор управління; w - вектор впливу зовнішнього середовища; p - вектор параметрів мети (цілі); z - вектор параметрів ОУ

$f(.)$ - вектор-функція, яка описує властивості ОУ; $C(.)$ - задана функція вихідних сигналів; t - координата часу; y - вихідний вектор (вектор вимірів)

Математична модель ІІ в операторній формі

$$Y = F(x, u, w, p, z),$$

де $F(.)$ - оператор інтелектуального перетворення, який характеризує структуру та роботу ІІ; x - вектор стану СУ; u - вектор управління; w - вектор впливу зовнішнього середовища; p - вектор параметрів мети (цілі); z - вектор параметрів ОУ [83].

В загальному випадку ОУ можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} x = f(x, u, w, t) \\ y = C(x) \\ x(t_0) = x_0 \\ t \geq t_0 \end{cases},$$

де $f(.)$ - вектор-функція, яка описує властивості ОУ; $C(.)$ - задана функція вихідних сигналів; t - координата часу; y - вихідний вектор (вектор вимірів).

Обчислювальні та перетворюючі пристрої формують вектор управління u для ОУ з множини його можливих значень згідно задачі управління для досягнення мети, яка сформована ІІ на підставі похідних даних.

В разі побудови ІІ на основі методів ситуаційного управління використовуються семіотичні моделі, що ґрунтуються на формальній моделі, яка задається четвіркою

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle,$$

де T - множина базових елементів; P - синтаксичні правила; A - система аксіом; Π - семантичні правила.

Семіотичної моделі M задається формальна модель, що інтерпретується,

$$L = \langle Z, D, H, V \rangle,$$

де Z - множина значень, які інтерпретуються, D - правила відображення, які надають відображення $T \rightarrow Z$ та зворотнє $Z \rightarrow T$, тобто приписує кожному відображенню T деяке відображення, що його інтерпретує; H - правила відображення; V - правила інтерпретації, які дозволяють приписувати деяке інтерпретуюче значення до будь-якої синтаксично правильної сукупності базових елементів.

Семіотична модель $C(.)$ визначається четвіркою

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_{II} \rangle,$$

де $\chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_{II}$ відповідно є правилами зміни T, P, A, II .

На відміну від формальних моделей використання семіотичної моделі $C(.)$ дозволяє в процесі ситуаційного управління змінювати усі елементи формальної моделі M і формувати моделі, які відображають поточний стан СМ.

Спрощена модель прийняття рішення

$$D_0 = \langle Y, G, U, J, \Omega \rangle,$$

де Y - множина результатів, G - модель переваг результатів (рішень, що приймаються); U - множина стратегій прийняття рішень; L - множина можливих значень невизначених чинників; J - функція, що визначає взаємозв'язок невизначеного чинника і результат прийнятого рішення (функція ціни, критерій); Ω - вся інша інформація про рішення, що приймається, у формалізованому виді відомості про конфлікт (переваги конфліктуєчих вузлів СМ, тощо).

Застосування моделі в умовах взаємодії конфліктуєчих вузлів СМ визначається тим, що вона дозволяє просто і наочно зв'язати значення невизначених чинників і стратегій з управління маршрутизацією ПД, що реалізовується інтелектуальною системою.

Множини Y, G, U, L, Ω і функція J формально задають компоненти рішення, що приймається, і визначають зв'язок з СУ через поняття функції ціни J і показників ефективності системи (показників якості і критеріїв).

Показником якості або ефективності системи управління W є міра відповідності реального результату управління маршрутизацією ПД Y потрібному для досягнення мети управління в ПП вузла-відправника ПД і взаємодії конфліктуючих вузлів мережі при отриманні оцінок або вимірів параметрів, що характеризують маршрут, і представляє ланцюжок оптимальної взаємодії вузлав СМ на маршруті від вузла-відправника до вузла-отримувача ПД в СМ, як результатів рішення.

Критерієм оптимізації K є правило| введене на основі певної концепції раціональної поведінки інтелектуальної системи (придатності, оптимізації, адаптивності, витрат ресурсів, гарантоздатності, безпеки, тощо).

Рішення задачі взаємодії конфліктуючих вузлів мережі доцільно розглядати в постановці задачі дискретної оптимізації для множини усіх значень цільової функції

$$j(x) = \min \{j(x) : x \in X\},$$

де X - припустима область значень параметрів; j - цільова функція; кожен елемент $x \in X$ - припустиме рішення задачі дискретної оптимізації (J, X) за умови скінченності множини X .

Оптимальному рішенню $x^* \in X$ відповідає значення цільової функції

$$j(x^*) = \min \{j(x) : x \in X\}.$$

Тоді дискретний процес для рівняння стану можна уявити у вигляді

$$y_t = W(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t), t = 1, 2, \dots, T,$$

де $x_{t-s}, x_{t-s+1}, \dots, x_t$ - управління при перетворенні стану y_{t-1} етапу $t-1$ в стан y_t етапу t . Стан y_t обирається виходячи з множин станів Y_t , областей існування управління X_t і множин Z_t . Множини X_t скінченні, а цільова функція J для кожного t дозволяє визначити мінімум сумарної оцінки $j(\cdot, \cdot, \dots, \cdot)$ на множині $Y_{t-1} \times X_{t-s} \times \dots \times X_t$.

Для синтезу і вибору оптимального управління маршрутизацією ПД в СМ визначимо немарківську динамічну задачу дискретної оптимізації у вигляді

$$\sum_{t=1}^T j_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) + j_0(y_T) \rightarrow \min ,$$

де $y_t = W_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t)$, $x_t \in X_t$, $y_t \in Y_t$, $(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) \in Z_t$, $t = 1, 2, \dots, T$,
 $x_t = x_t^0$, $t = 1-s, \dots, 0$, $y_0 = y^0$.

Визначимо скінченні множини $\overset{\circ}{Y}_t$, що вміщують стани, в яких може знаходитись процес рішення задачі динамічної дискретної оптимізації, що визначена співвідношенням (2.12), і для яких є справедливим включення:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_t \in Y_t : y_t = W_t(y_{t-1}, x_t), x_t \in X_t, (y_{t-1}, x_t) \in Z_t, y_{t-1} \in \overset{\circ}{Y}_{t-1}, \\ t = 1, 2, \dots, T, Y_0 = \{y^0\} \end{array} \right\}$$

Алгоритм синтезу і вибору стратегій управління маршрутизацією ПД в СМ, як задачі дискретної динамічної оптимізації.

1. Для усіх $y \in \overset{\circ}{Y}_T$ визначаємо функцію ціни для немарківської динамічної задачі $J_{t+1}(x) = j_0(t)$.

2. Для усіх $y \in \overset{\circ}{Y}_{t-1}$ і $t = \{T, T-1, \dots, 1\}$ обчислюємо $J_t(y) = \min \left\{ j_t(y, x + J_{t+1}(W_t(y, x))) : x \in X_t, W_t(y, x) \in Y_t, (y, x) \in Z_t \right\}$.

Якщо задача $J_t(y)$ не може бути вирішена, припускаємо, що $J_t(y) : +\infty$. В іншому випадку визначаємо оптимальне рішення, як $x_t(y)$.

3. $J_1(y^0)$ є мінімальним значенням функції для немарківської динамічної задачі.

4. Визначаємо $x_1 : x_1(y^0)$ та $y_1 := W_1(y^0, x_1)$.

5. Для усіх $t = \{2, 3, \dots, T\}$ припускаємо $x_t := x_t(y_{t-1})$, $y_t := W_t(y_{t-1}, x_t)$.

При $J_1(y^0) < +\infty$ немарківська динамічна задача має оптимальне рішення $\{x_t, y_{t-1}\}_{t=1}^T$. Кроки 4 і 5 алгоритму породжують оптимальне рішення оскільки $x_t(y)$ визначає відповідне оптимальне управління на першому етапі процесу, який складається з етапів $t, t+1, \dots, T$ і починається з стану y . Тим самим здійснюється перехід до нового стану $W(y, x_t(y))$, для якого відомо оптимальне управління $x_{t+1}(W(y, x_t(y)))$ першого етапу процесу, який вміщує етапи $\{t, t+1, \dots, T\}$.

Структурно-логічна схема формальної моделі інтелектуального перетворювача вузла мережі



Модель інтелектуального перетворювача в операторній формі

$$Y = F(x, u, w, p, z)$$

Формальна модель ІІІ

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle$$

Формальна модель ІІІ, що інтерпретується

$$L = \langle Z, D, H, V \rangle$$

Семіотична модель ІІІ

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi \rangle$$

Формальний опис об'єкту

$$\left. \begin{array}{l} \text{управління} \\ x = f(x, u, w, t) \\ y = C(x) \\ x(t_0) = x_0 \\ t \geq t_0 \end{array} \right\}$$

Формальний опис конфлікту взаємодії вузлів см

$$\Gamma = \langle R_D, S_{R_d}, S, R_H, G_{R_H} \rangle$$

Спрощена модель прийняття рішень

$$D_0 = \langle Y, G, U, J, \Omega \rangle$$

4. Метод опису топології сенсорної мережі у вигляді графу, математичної моделі і нотації (мови)

Модель синтезу, вибору і прийняття рішень

Рішення задачі взаємодії конфліктуючих вузлів СМ

Постановка задачі дискретної оптимізації

$$M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle \quad M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle$$

$$B^i = (X_N^i, Y^i, A^i) \quad F^i = (f_x^i, f_c^i, d^{ij})$$

$$M = \bigcup_{i=1}^N M^i$$

Модель взаємодії вузлів в топологічній схемі СМ

Оптимальне рішення $j(x^*) = \min \{ j(x) : x \in X \}$

Рівняння стану дискретного процесу

$$y_t = W(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t), t = 1, 2, \dots, T$$

$$\sum_{t=1}^T j_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) + j_0(y_T) \rightarrow \min$$

Лрґіко-семантична модель

$$J_3(a, b, c) = J_2(a, J_2(b, c))$$

$$J_2(k, l) = \frac{1}{2}(k+l-1) \times (k+l-2) + l$$

Граф-модель топології СМ і маршруту ПД

$$G = (V, E), e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$$

$$\sum_k f_{k\bar{i}} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s, t\}$$

Функція визначення стратегій маршрутизації

$$f : H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n \rightarrow Y$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \forall y_j \in [0, \dots, 1], j = \overline{1, \dots, k}, k \leq n$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi &= \sum_{i=1}^k C_i \lambda_i \\ \lambda_i &= \frac{\Delta u_i}{\sup |u_i|}, \forall \lambda_i \in \lambda \\ \sum_{i=1}^k C_i &= 1 \end{aligned} \right.$$

Функція вибору маршруту ПД (евристичне правило)

$$\left\{ \begin{aligned} K &= \langle M, A, \Gamma_{np}, G, \mu \rangle \\ \chi K &= \mu \end{aligned} \right.$$

$$\mu^* = \inf_{\chi, \Gamma_{зун}} K$$

Модель конфлікту взаємодії вузлів в топологічній схемі СМ



5. Метод формування функціонального віртуального простору параметрів сенсорної мережі варіативної топології

Віртуалізація простору функціонування СМ

Віртуальна відстань між вузлами СМ

$$d^{ij} = C_{зад}^{ij} d_{зад}^{ij} + C_{\Delta}^{ij} \Delta d^{ij} + C_{звирт}^{ij} d_{звирт}^{ij}$$

$$C_{зад}^{ij} + C_{\Delta}^{ij} + C_{звирт}^{ij} = 1.$$

Корегуючі віртуальні відстані

Корегуюча відстань за значенням додаткового затухання радіосигналу

$$\Delta d_{ij}^k = z(n, s) \implies d_{ij}^k = \left(d_{ij}^l \right)^{\frac{k-\Delta}{k}} \left(\frac{4\pi\eta}{c} \right)^{\frac{-\Delta}{k}}$$

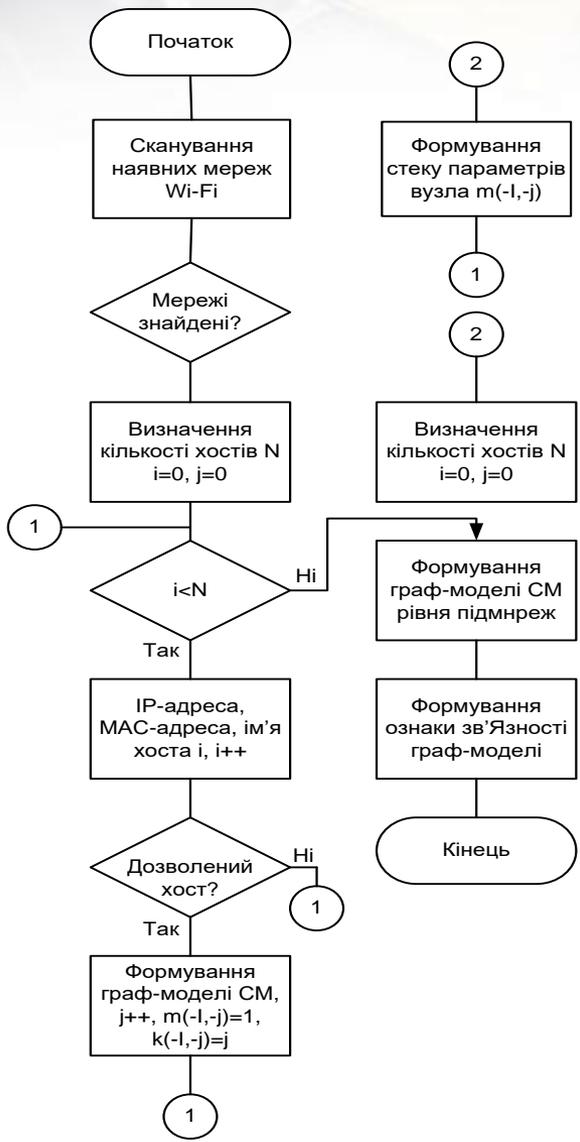
Корегуюча віртуальна відстань, що враховує прогноз і невизначеність взаємного переміщення вузлів СМ

$$\left\{ \begin{aligned} d_{звирт}^{ij} &= x_j^i + v_j^i \Delta t + \Delta v_j^i \frac{\Delta t^2}{2} \\ v_j^i &= \frac{\sqrt{\sum_{m=1}^k (x_m^i - x_m^j)^2}}{\Delta t} \\ x_j^i &= \sqrt{\sum_{m=1}^k (x_m^i - x_m^j)^2} \\ \Delta v_j^i &= \frac{v_j^i|_{t=0} - v_j^i|_{t=0+\Delta t}}{\Delta t} \end{aligned} \right.$$

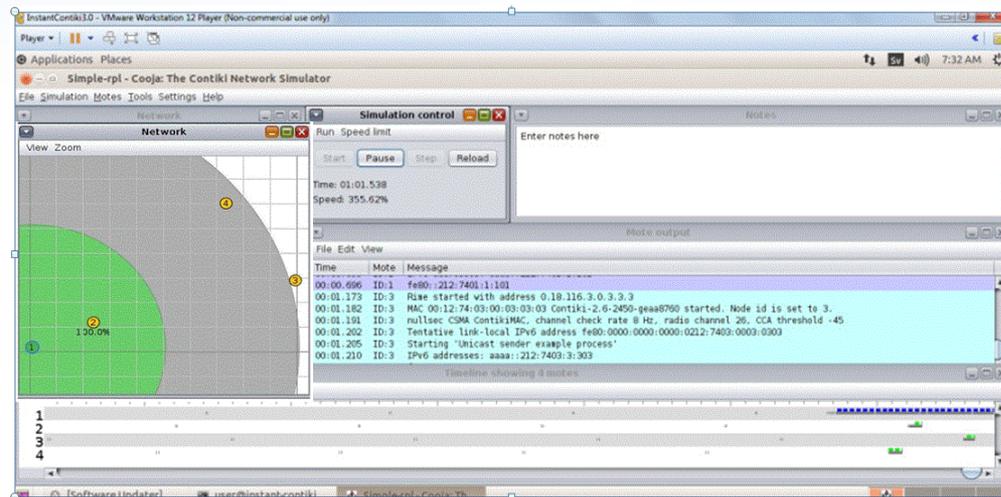
Невизначеність, яка враховує динамічність і-го вузла і параметрів каналів ПД

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta d^{ij} &= \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\left| \Delta x_j^i \Big|_{t=0} - \Delta x_j^i \Big|_{t=0+\Delta t} \right| - \left| \Delta x_j^j \Big|_{t=0-\Delta t} - \Delta x_j^j \Big|_{t=0} \right| \right)^2} \frac{\Delta t^2}{2} + d_{ij}^k + \Delta d_{ij}^k \\ \Delta x_j^i &= \left| (x^i - x^j) \Big|_{t=0} - (x^i - x^j) \Big|_{t=0+\Delta t} \right| \end{aligned} \right.$$

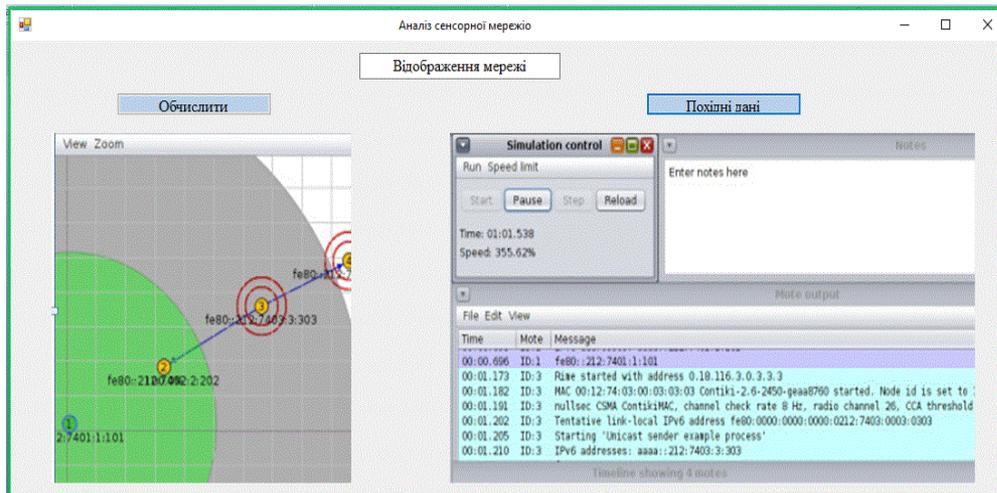
Алгоритм синтезу топології СМ



Результати імітаційного експерименту



Похідні дані сканування топології мережі вузлом –відправником ПД



Результат віртуалізації топології мережі вузлом –відправником ПД

Нелінійна модель CIY ваузла CM

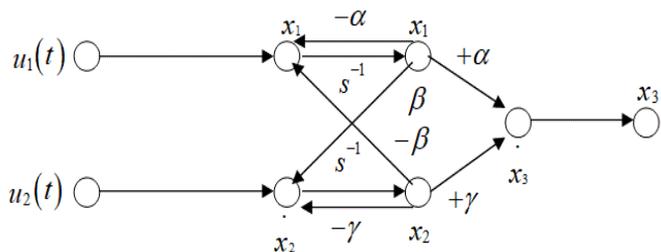
$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\alpha x_1 - \beta x_1 x_2 + u_1(t) \\ \frac{dx_2}{dt} = -\beta x_1 x_2 - \gamma x_2 + u_2(t) \\ \frac{dx_3}{dt} = \alpha x_1 + \gamma x_2 \end{cases}$$

$\alpha = \beta = \gamma = 1, u_1(t) = 0, i u_2(k) = 1, \forall k \geq 1$

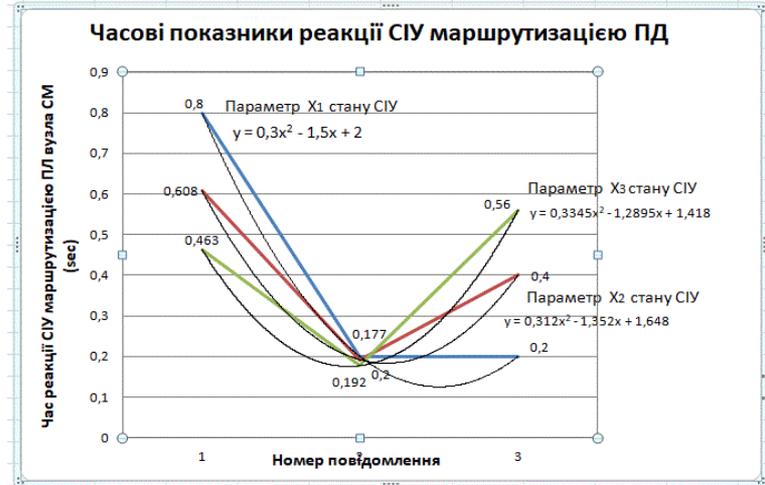
Рівняння стану динамічної CIY у векторно-матричній формі

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}$$

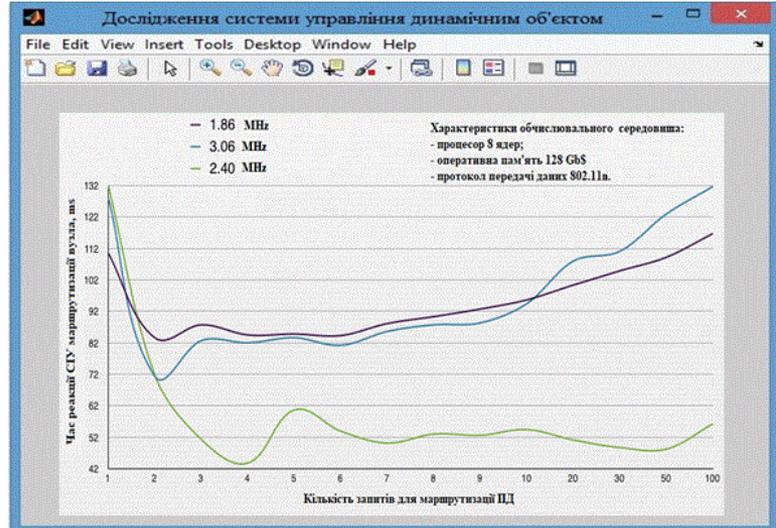
Сигнальний граф функціонування CIY ваузла CM



Результати розрахунку часових показників реакції CIY при здійсненні ПД



Результати експериментальних досліджень часових показників реакції CIY при здійсненні ПД



6. Метод синтезу і вибору стратегій гарантованого управління маршрутизацією потоків даних в енсорних мережах варіативної топології

Процес обробки запитів при ПД в СМ для k -го запиту при реверсній передачі даних при взаємодії i -го і j -го вузлів формально можна описати у вигляді

$$\begin{cases} \chi_j^k = W_{ji}^k(\chi_j, T_j, P_j) \cdot \chi_j^k + R_{ij}^k(\chi_i, T_i, P_i) \cdot \chi_i^k + \xi_j \\ \chi_i^k = R_{ij}^k(\chi_i, T_i, P_i) \cdot \chi_i^k + W_{ji}^k(\chi_j, T_j, P_j) \cdot \chi_j^k + \xi_i \end{cases}$$

де χ_j^k, χ_i^k - кількість запитів k -го типу до j -го і i -го вузлів; $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$, $k = \overline{1, n}$; n - кількість запитів на ПД в СМ; χ_j, χ_i - кількість запитів k -го типу в j -му і i -му вузлах; $W_{ji}^k(\chi_j, T_j, n_j)$, $R_{ij}^k(\chi_i, T_i, n_i)$ - час реакції СМ при переході зі стану ПД від j -го до i -го вузла і навпаки; T_j, T_i - час обробки відповідних запитів χ_j, χ_i ; ξ_j, ξ_i - кількість запитів до j -го і i -го вузлів; p_j, p_i - коефіцієнт, що визначає зміну часу обробки запитів χ_j, χ_i при розпаралелювальні обчислень у вузлах СМ на маршруті ПД

Управління навантаженням вузлів СМ

Визначення кількості запитів за умов забезпечення якості обслуговування при ПД

$$\begin{cases} \chi_j^k = W_{ji}^k(\chi_j, T_j, P_j) \cdot \chi_j^k + R_{ij}^k(\chi_i, T_i, P_i) \cdot \chi_i^k + \xi_j \\ \chi_i^k = R_{ij}^k(\chi_i, T_i, P_i) \cdot \chi_i^k + W_{ji}^k(\chi_j, T_j, P_j) \cdot \chi_j^k + \xi_i \end{cases}$$

Розрахунок частки втрачених пакетів в пачці (PLR)

$$PLR = \frac{I_{dis}}{I_{in}} = \frac{T_{in}}{E_{(j)} \times T_{res}} \sum_{\substack{(h,m): \\ h > d - t_{res}}} (m + n_{h,m} \times E(j)) \tilde{\pi}_{h,m}$$

Розрахунок навантаження на канал ПД, як доли зарезервованих інтервалів часу

$$\eta(B, T_{res}) = \frac{R(B)}{T_{res}}$$

Розрахунок навантаження на канал ПД при заданій тривалості зарезервованого інтервалу

$$\hat{\eta}(R) = \min_{\substack{T_{res} \\ PLR(T_{res}, B(R)) \leq PLR_{прин}}} \eta(B(R), T_{res}).$$

Параметри стану завантаження обчислювальних систем вузлів СМ

Розрахунок значення відносних інтенсивностей потоку запитів класу, які проходять через вузол s

$$e_{sr} = \sum_{j=1}^{2n+1} e_{je} P_{js}(r), s = \overline{1, 2n+1}, r = \overline{1, n}.$$

Розрахунок значення часу затримки обслуговування для реактивної СМ

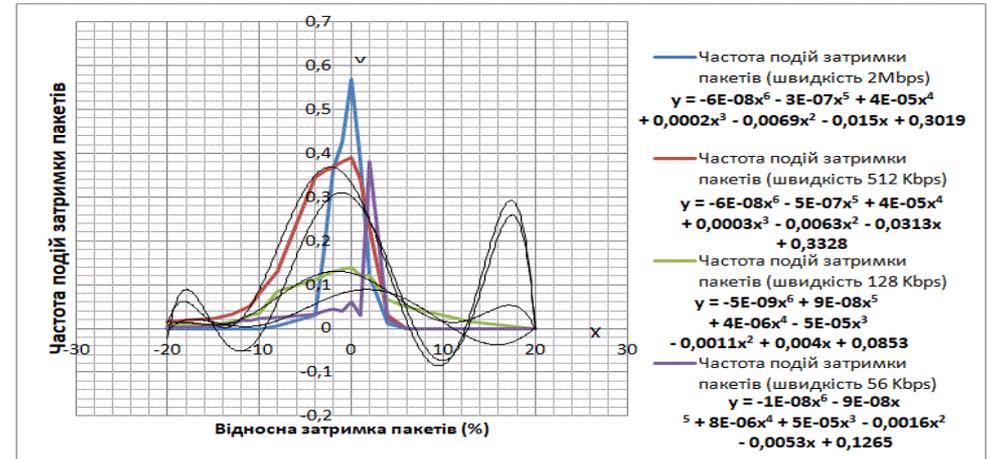
$$\bar{T} = \frac{1}{\sum_{r=1}^n \lambda_r} \sum_{r=1}^n \lambda_r \bar{T}_r.$$

6. Результати дослідження процесів функціонування обчислювальних систем вузлів СМ при ПД

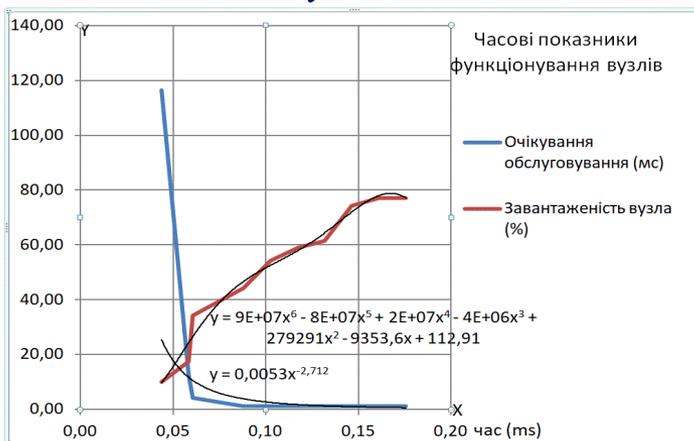
Залежність завантаженості ОС вузла СМ від часу ПД



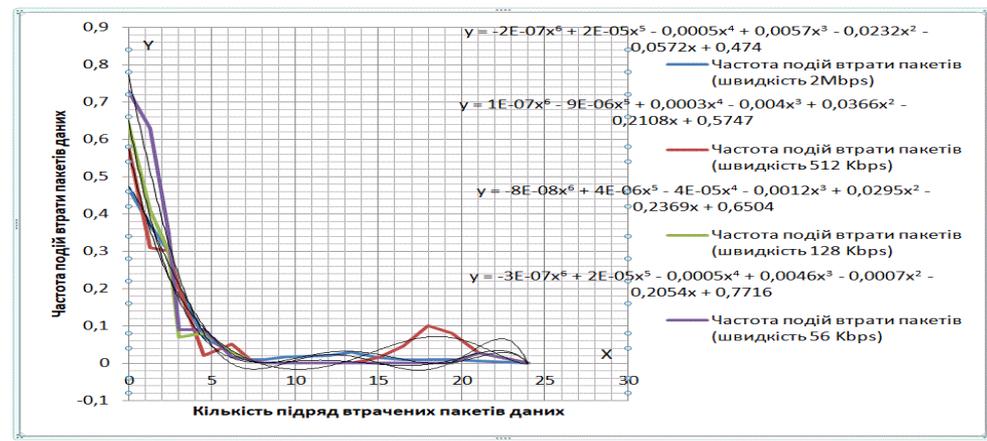
Залежність частоти подій затримки пакетів від відносної затримки пакетів



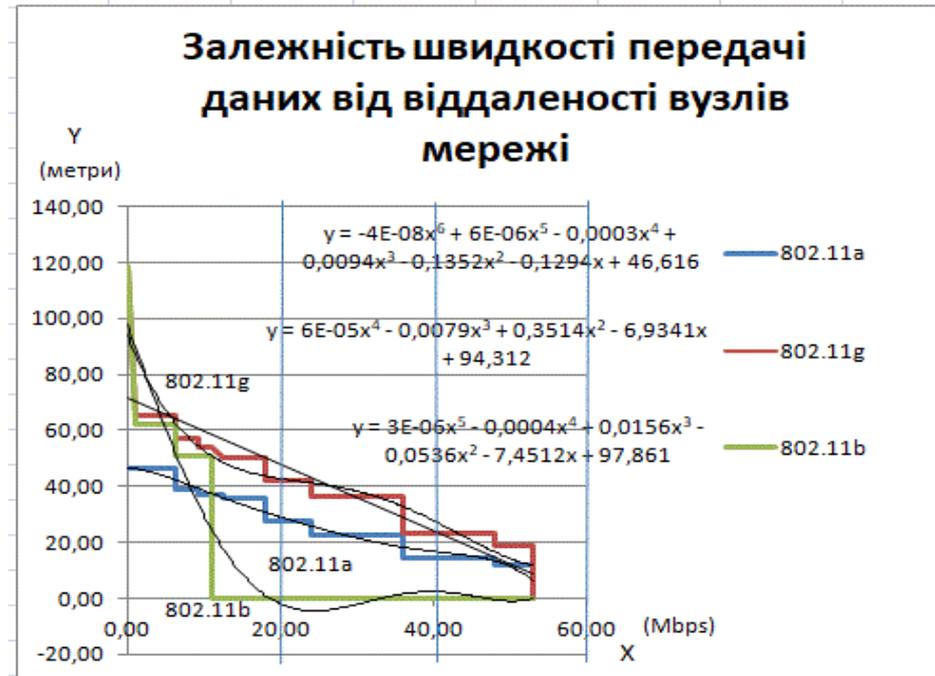
Залежність часу очікування обслуговування від завантаженості ОС вузла СМ



Залежність частоти подій затримки пакетів від кількості втрат пакетів

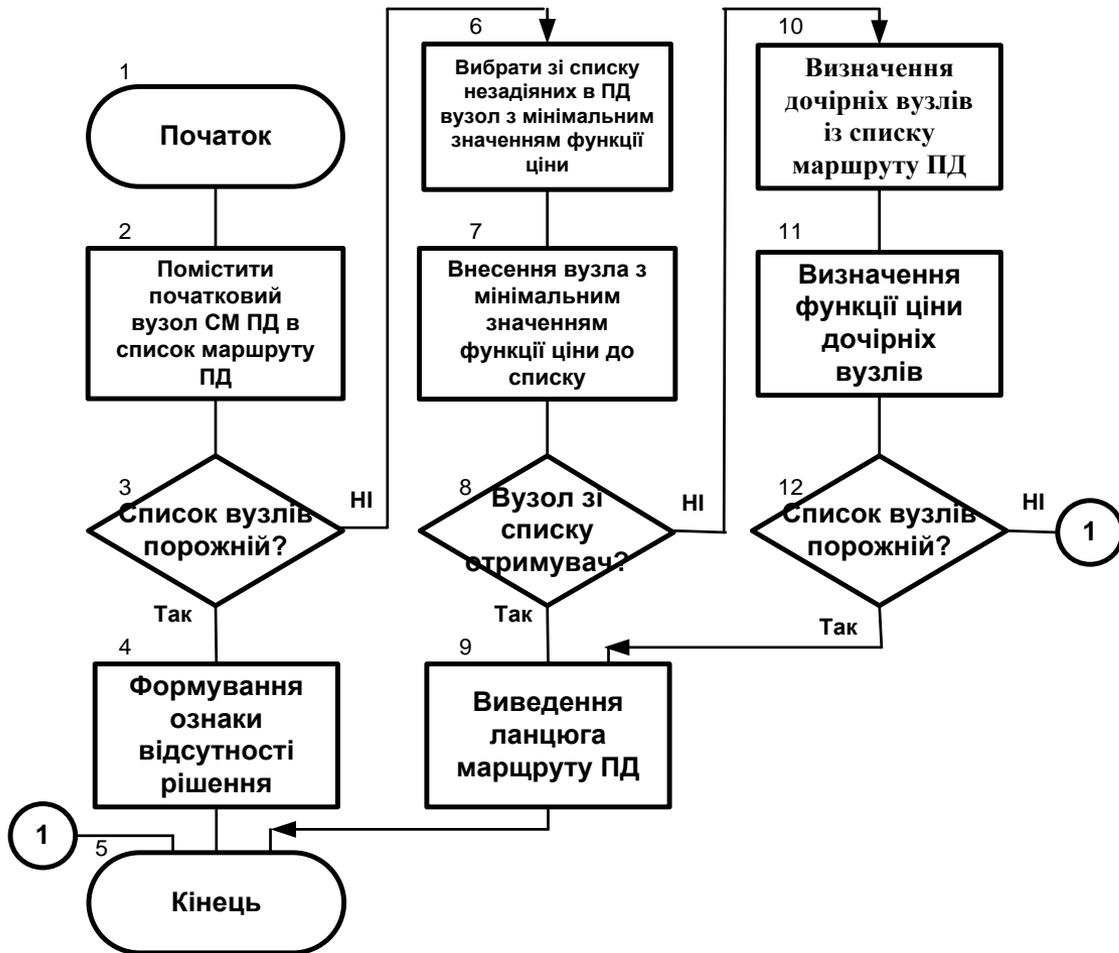


Залежність швидкості ПД від віддаленості вузлів СМ



7. Синтез і вибір маршруту ПД

Схема алгоритму синтезу і вибору маршруту ПД



Евристична функція вартості оптимального маршруту ПД, що відповідає граф-моделі

$$h^*(G) = \inf_{i=s}^n d^{si} \sum_{j=1}^t d^{ij}, \forall i \in V,$$

$$i \neq \{s, t\}, \forall j \in V, j \neq \{s, t\},$$

$$\forall e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$$

$$G = (V, E)$$

Показник цілеспрямованості (оцінка ефективності евристичного алгоритму)

$$P = \frac{L}{N}$$

Результати розрахунків оптимальних ПД при інформаційній взаємодії вузлів СМ ВТ

```

Эвристический поиск при синтезе маршрута передачи данных (метод МИУВ)
Метод интегрального усечения вариантов

Двухмерное пространство поиска

Использовать данные геолокации (да)или виртуальные данные (нет) ? : нет

Данные передаются от узла : u
r("","u")
r("Данные передаются от узла u к узлу w","w")
r("Данные передаются от узла w к узлу x","x")
r("Данные передаются от узла x к узлу y","y")
r("Данные передаются от узла y к узлу z","z")
r("Данные передаются от узла z к узлу t","t")
r("Данные передаются от узла t к узлу p","p")
r("Данные передаются от узла p к узлу l","l")

Продолжить расчеты (да/нет) ? :

```

```

Эвристический поиск при синтезе маршрута передачи дан...
Метод интегрального усечения вариантов

Двухмерное пространство поиска

Использовать данные геолокации (да)или виртуальные данные (нет) ? : нет

Данные передаются от узла : j
r("","j")
r("Данные передаются от узла j к узлу k","k")
r("Данные передаются от узла k к узлу e","e")
r("Данные передаются от узла e к узлу c","c")
r("Данные передаются от узла c к узлу u","u")
r("Данные передаются от узла u к узлу z","z")
r("Данные передаются от узла z к узлу s","s")
r("Данные передаются от узла s к узлу v","v")

Продолжить расчеты (да/нет) ? :

```

```

Эвристический поиск при синтезе маршрута передачи дан...
Метод интегрального усечения вариантов

Двухмерное пространство поиска

Использовать данные геолокации (да)или виртуальные данные (нет) ? : нет

Данные передаются от узла : v
r("","v")
r("Данные передаются от узла v к узлу s","s")
r("Данные передаются от узла s к узлу z","z")
r("Данные передаются от узла z к узлу t","t")
r("Данные передаются от узла t к узлу k","k")
r("Данные передаются от узла k к узлу e","e")
r("Данные передаются от узла e к узлу f","f")

Продолжить расчеты (да/нет) ? :

```

```

Эвристический поиск при синтезе маршрута передачи дан...
Метод интегрального усечения вариантов

Двухмерное пространство поиска

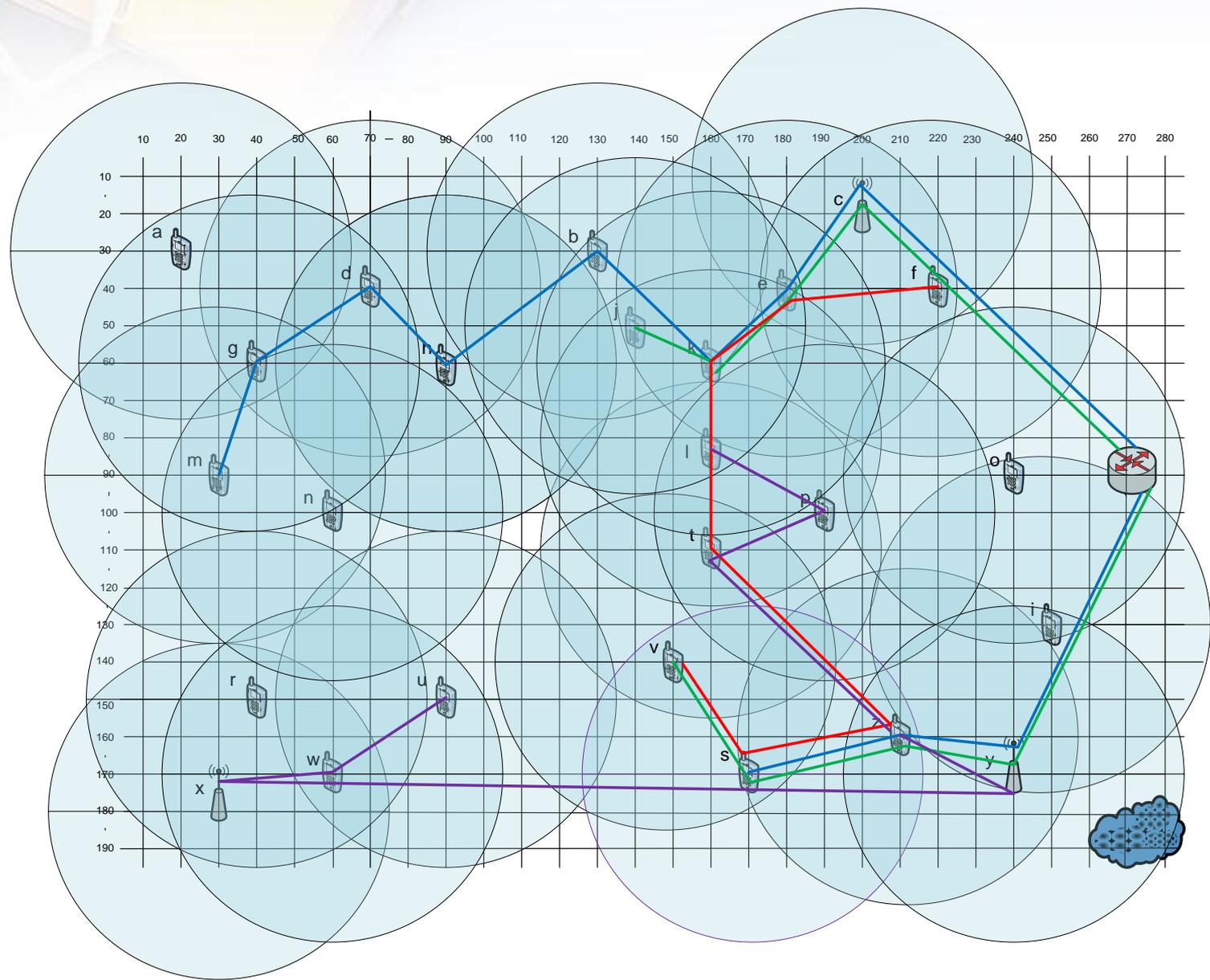
Использовать данные геолокации (да)или виртуальные данные (нет) ? : нет

Данные передаются от узла : m
r("","m")
r("Данные передаются от узла m к узлу g","g")
r("Данные передаются от узла g к узлу d","d")
r("Данные передаются от узла d к узлу h","h")
r("Данные передаются от узла h к узлу b","b")
r("Данные передаются от узла b к узлу k","k")
r("Данные передаются от узла k к узлу e","e")
r("Данные передаются от узла e к узлу c","c")
r("Данные передаются от узла c к узлу y","y")
r("Данные передаются от узла y к узлу z","z")
r("Данные передаются от узла z к узлу s","s")

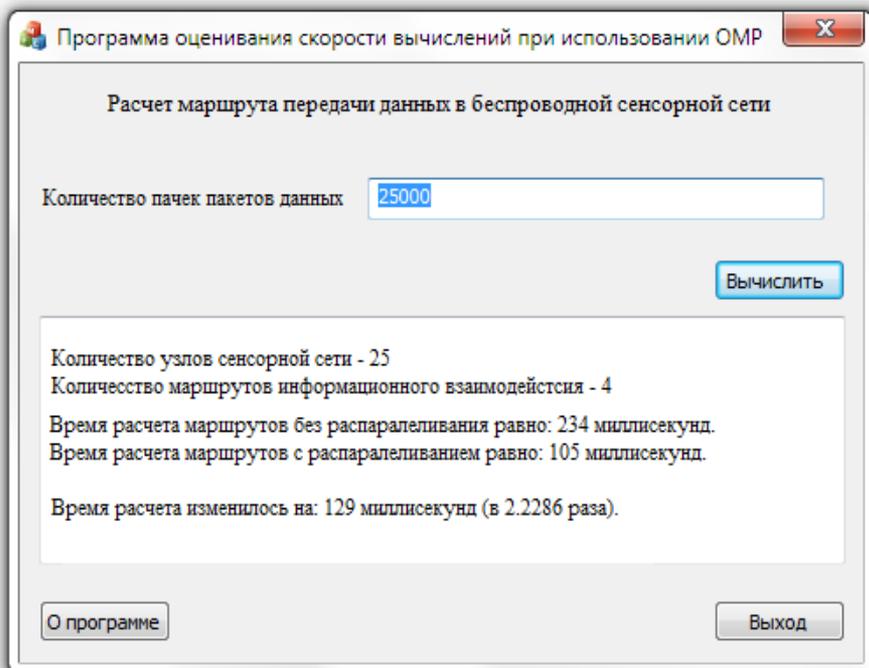
Продолжить расчеты (да/нет) ? :

```

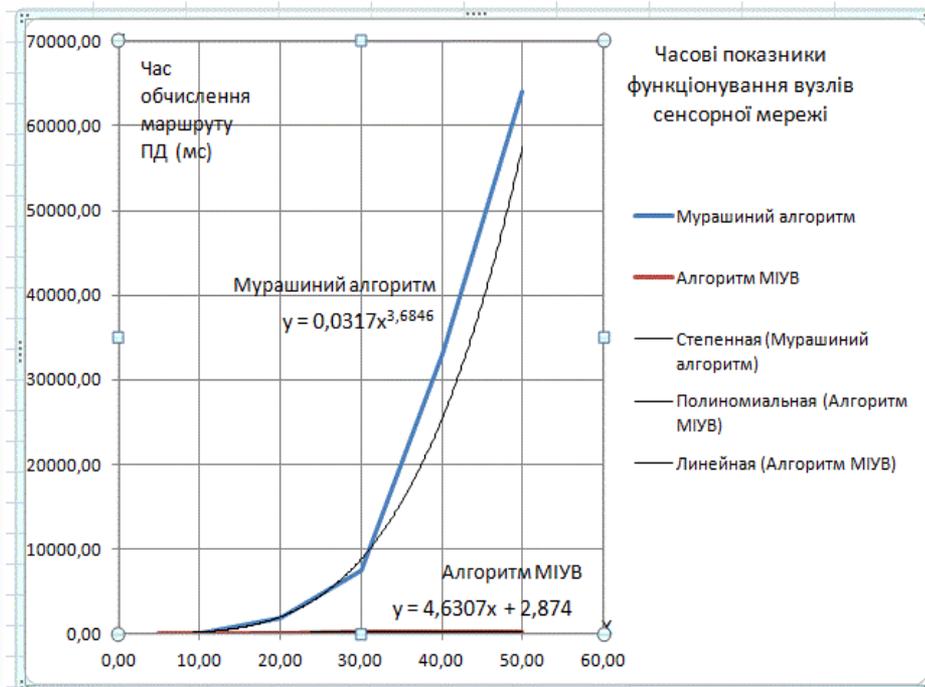
Результати імітаційного експерименту щодо синтезу і вибору маршрутів ПД в СМ ВТ



Оцінка ефективності застосування технологій розпаралелювання обчислень



Часові характеристики обчислення маршруту ПД в СІУ вузла СМ



Результати дослідження часових показників функціонування СІУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ

		Кількість обчислювальних процесів	Час обчислення, мсек											
			Послідовне обчислення						Паралельне обчислення					
			5	10	20	30	40	50	5	10	20	30	40	50
Метод управління мережею за умов забезпечення гарантоздатності	Метод інтегрального усікання варіантів	5000	0,9	3,0	31,0	47,0	49,0	62,0	0,6	11,0	17,0	32,0	41,0	47,0
		25000	16,0	62,0	94,0	141,0	188,0	234,0	15,0	28,0	79,0	125,0	172,0	203,0
		100000	63,0	189,0	361,0	704,0	1406,0	2187,0	31,0	169,0	343,0	687,0	1359,0	2156,0
		250000	125,0	453,0	891,0	1313,0	1750,0	2813,0	94,0	422,0	859,0	1265,0	1703,0	2734,0
		750000	329,0	672,0	1314,0	1985,0	2625,0	3213,0	312,0	641,0	1281,0	1938,0	2562,0	3203,0
		1500000	656,0	1328,0	2609,0	3953,0	5250,0	6547,0	625,0	1296,0	2508,0	3907,0	5109,0	6406,0
	Метод управ-ління трафіком	5000	2,0	9,0	620,0	2470,0	8624,0	16978,0	1,3	33,0	340,0	1680,0	7216,0	12878,0
		25000	19,0	82,0	1880,0	7400,0	33088,0	64116,0	35,9	84,0	1580,0	6526,6	30272,0	55622,0
		100000	69,0	262	7220,0	36960,0	247456,0	599238,0	68,2	507,0	6860,0	36067,8	237952,0	590744,0
		250000	137,0	628,0	17820,0	69893,0	308021,0	707764,0	206,8	1266,0	17180,0	66412,7	299728,0	749116,0
		750000	362,0	932	26280,0	104212,0	462103,0	880362,0	684,4	1923,0	25620,0	102745,1	450912,0	877622,0
		1500000	721,0	1842	5218,0	207533,0	924231,0	1793878,0	1375,0	3888,0	50160,0	205117,3	899184,0	1755244,0
		5	10	20	30	40	50	5	10	20	30	40	50	
Кількість обчислювальних систем мережі														