

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ І ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО**  
**ПРОСТОРУ**

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**СЕМКО ОЛЕКСІЙ ВІКТОРОВИЧ**

УДК 681.5(042.3)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ**  
**МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ**  
**ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ**

Спеціальність 05.13.06 – Інформаційні технології  
05 Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ (О.В. Семко)  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Бурячок Володимир Леонідович, доктор технічних наук, професор

Київ – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Семко О.В.* Інформаційна технологія інтелектуального управління маршрутизацією в сенсорних мережах варіативної топології за умов обмежень і невизначеностей. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню і вирішенню актуальної наукової задачі оптимального управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах (СМ) варіативної топології (ВТ), які побудовані на основі сервіс-орієнтованої архітектури (SOA) і функціонують в умовах обмежень та невизначеностей, за рахунок функціонування розподіленої системи інтелектуального управління (СІУ) маршрутизацією. Для рішення зазначеної задачі запропоновано метод інтелектуального управління мережею, що базується на математичній моделі вирішення задачі конфлікту, як задачі дискретної динамічної дискретної оптимізації, що забезпечує децентралізоване управління маршрутизацією в реальному часі за відсутності базових станцій або опорних вузлів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення швидкодії і стійкості функціонування СІУ маршрутизацією потоків даних (ПД) в конфліктуючих СМ ВТ за умов обмежень, невизначеностей та забезпечення гарантоздатності, а також створення інформаційної технології динамічного управління маршрутизацією ПД за рахунок вдосконалення існуючих та розробки нових моделей і методів.

В результаті дисертаційного дослідження отримані такі наукові результати:

1. Отримав подальшого розвитку метод опису топології СМ у вигляді графу, математичної моделі і нотації (мови), що дозволило за рахунок застосування теоретико-множинної моделі (ТММ) опису процесів взаємодії елементів мережі:

- визначити методологію побудови СІУ;
- визначити можливість синтезу управління топологією мережі, що відрізняється від базових топологічних описів, як то «шина», «зірка» і «кільце»;
- сформувати модель опису процесів взаємодії елементів СМ;
- визначити множини станів елементів СМ в просторі її функціонування незалежно від лінійності або нелінійності формальних співвідношень, що описують це середовище в системі обмежень, яка є визначальною щодо способу їх поведінки.

2. Отримав подальшого розвитку метод рішення конфліктів при функціонуванні гарантоздатних сервіс-орієнтованих СМ ВТ в умовах обмежень і невизначеностей, що дозволило за рахунок інтегрального формального множинного уявлення простору функціонування:

- визначити множину гарантованого значення параметрів управління;
- визначити чисельне, а не аналітичне подання моделі рішення задачі оптимального управління маршрутизацією в конфліктуючій мережі;
- визначити спосіб синтезу гарантоздатного оптимального управління сервіс-орієнтованою СМ;
- визначити формалізовану структуру алгоритму, що спрощує процес рішення конфлікту за умов забезпечення гарантоздатності при функціонуванні сервіс-орієнтованої мережі;
- дослідити показники функціонування гарантоздатної сервіс-орієнтованої СМ ВТ в умовах обмежень і невизначеностей.

3. Розроблено модель динамічної дискретної оптимізації щодо рішення конфлікту при управлінні сервіс-орієнтованою гарантоздатною СМ ВТ в

умовах обмежень і невизначеностей, що дозволило за рахунок системно-структурного та системно-функціонального дослідження явища:

- дослідити основні взаємозв'язки конфліктуючої сенсорної мережі з середовищем її функціонування;
- визначити характер і способи взаємодії елементів і підструктур мережі;
- сформувати формальну модель динамічної дискретної оптимізації щодо управління сервіс-орієнтованою сенсорною мережею;
- розробити математичну модель забезпечення гарантоздатності при функціонуванні сервіс-орієнтованої сенсорної мережі.

Практична цінність роботи полягає в доведенні отриманих наукових результатів до інформаційної технології функціонування розподіленою СІУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ.

Отримані результати досягнуті завдяки коректному використанню методів досліджень та математичного апарату. Адекватність обраних методів і моделей підтверджується узгодженістю аналітичних досліджень, імітаційного моделювання та експериментальних перевірок, а відповідність висновків витікає зі змісту роботи.

Практична цінність роботи підтверджена актами впровадження основних результатів дисертаційного дослідження на підприємствах та організаціях:

1. Проекту «Програма для прогнозування, оцінки готовності та реагування на штучні та природні катастрофи в ENPI Східного регіону - EuropeAid/129397/C/SER/Multi» Молдова, Україна, Беларусь, Армения, Азербайджан, Грузія», схваленого Європейською комісією (Ares(2014)691843).

2. Проекту з доопрацювання складових компонентів інформаційно-телекомунікаційної системи електронної взаємодії органів виконавчої влади (шифр НДР «ДЦІР5-1», державний номер реєстрації 0115U006734).

3. Проекту з розробки вимог до архітектури системи електронної взаємодії державних інформаційних ресурсів (шифр НДР «НП/2-2015», державний номер реєстрації 0115U007171).

4. Проекту з розробки єдиного інформаційного ресурсу звернень громадян до органів державної влади і органів місцевого самоврядування (шифр НДР «НДР-08/12-2015», державний номер реєстрації 0115U007172).

**Ключові слова:** гарантоздатність, сервіс-орієнтована сенсорна мережа, обчислювальна мережа, система інтелектуального управління, інтелектуальний перетворювач, варіативна топологія, конфлікт, обмеження, невизначеність, модель, метод, алгоритм.

### **Список опублікованих праць за темою дисертації**

*Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Семко О.В., Семко В.В. Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів. *Проблеми інформатизації та управління*. 2014. №46. С.60-71.

2. Семко О.В. Сенсорна сервіс-орієнтована мережа телемедичної системи моніторингу стану серцево-судинної системи. *Сучасний захист інформації*. 2016. №4. С.111-115.

3. Семко О.В. Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №52. С.135-139.

4. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л., Складанний П.М. Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології. *Сучасна спеціальна техніка*. 2018. №55. С.64-76.

5. Семко О.В., Семко В.В. Розробка формальної моделі інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології. *Математичне моделювання в економіці*. 2019. №1. С.5-19.

6. Семко О.В., Бурячок В.Л., Платоненко А.В. Вибір раціонального способу генерування паролів серед множини існуючих. *Безпека інформації*. 2019. №1. С.59-64.

*Праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

7. Семко О.В., Наумець М.В. Система передачі даних в телекомунікаційній мережі космічних апаратів. *Політ. Сучасні проблеми науки: Тези доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів (м.Київ, 3-4 квіт. 2013 р.)*. Київ. 2013. С.193.

8. Семко О.В., Нечипорук О.П., Наумець М.В., Атаманюк Т.В. Перспективи розвитку імітаційної моделі в моделюванні складних систем. *Materialy IX Miedzynarodowej naukowo-practycznej konferencji „Naukowa przestrzen Europy: Nowoczesne informacyjne technologie. Nauka i studia (м. Перемишль, 7-15 квіт. 2013 р.)*. Перемишль. 2013. С.55-58.

9. Аналіз і оптимізація лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат: №51097; заявл. 03.07.2013; опубл. 02.01.14, Бюл. № 32. С.17.

10. Оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в персональному комп'ютері: №48079; заявл. 11.02.2013; опубл. 03.05.13, Бюл. № 30. С.625.

11. Семко О.В. Використання вразливостей сервісів у кібернетичному просторі . *«Інформатика та комп'ютерні технології» (ІКТ-2013): Збірка праць IX міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців (м.Донецьк, 4-6 листоп. 2013 р.)*. Донецьк. 2013. С.354-358.

12. Семко О.В. Організація захищеного інформаційного обміну у мережах стільникового зв'язку. *Політ. Сучасні проблеми науки: Тези доповідей XIV міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів (м.Київ, 2-3 квіт. 2014 р.)*. Київ. 2014. С.76.

13. Семко О.В., Масловський Б.Г. Система управління спеціалізованою базою даних медичних комісій . *Materialy X Miedzynarodowej naukowo-*

*practycznej konferencji „Wykształcenie i nauka bez granic: Matematyka. Fizyka. Nauka i studia (м. Перемишль, 7-15 груд. 2014 р.). Перемишль. 2014. С.55-58.*

14. Семко О.В. Інформаційно-телекомунікаційна система видачі медичних довідок. *Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави: Матеріали науково-технічної конференції студентів, викладачів та науковців (м.Київ, 18 груд. 2014 р.). Київ. 2014. С.96-97.*

15. Семко О.В., Ящук Д.Ю. Математична модель захищеної інформаційно-телекомунікаційної. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Матеріали доповідей (м.Київ, 10-11 берез. 2016 р.). Київ. 2016. С.98-99.*

16. Семко О.В. Безпека бездротових сенсорних мереж. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 3-6 жовт. 2016 р.). Київ. 2016. С.203-206.*

17. Семко О.В., Семко В.В. Інформаційна технологія функціонування захищеної системи обміну даними в умовах кібернетичного протистояння. *Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави: Збірник матеріалів VIII науково-практичної конференції (м.Київ, 24 трав. 2017 р.). Київ. 2017. С.326-328.*

18. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л., Бурячок Л.В. Шляхи рішення задач оптимального управління проблемами кібербезпеки при побудові мереж нового покоління. *Перспективи надання послуг на основі мереж пост-NGN. 4G b 5G. Організаційні та технічні рішення по їх побудові та захисту: Тезиси доповідей (м.Київ, 7-9 черв. 2017 р.). Київ. 2017. С.111-113.*

19. Семко О.В. Інтелектуальне ситуативне управління топологією гарантоздатної сенсорної мережі. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Колективна монографія за матеріалами XVI Міжнародної*

науково-практичної конференції (м.Київ, 3-4 жовт. 2017 р.). Київ. 2017. С.85-86.

20. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л. Метод оцінювання безпеки застосування програмних засобів. Математична модель системи інтелектуального управління сенсорною мережею в умовах конфлікту. *Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів та комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці* :Збірник матеріалів ІІ Всеукраїнської конференції (м.Київ, 28 берез. 2018 р.). Київ. 2018. С.172-174.

21. Семко О.В. Управління маршрутизацією в бездротових сенсорних мережах. *Інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: Колективна монографія за матеріалами XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 25-26 верес. 2018 р.). Київ. 2018. С.103-106.

22. Oleksiy Semko, Viktor Semko. System telemedyczny monitorowania stanu kardiologicznego ludnoszci, *Dialogi zarzadzania cyfrowego: roczny zbior tez*. Czesc 1(m.Wroclaw, 4 march. 2019 r.). Wroclaw. 2019. pp. 44-46.

## ANNOTATION

*Semko O.V.* Intellectual routing information technology in sensor networks of variable topology in the conditions of limitations and uncertainties. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of engineering sciences in specialty 05.13.06 «Information technology». – Institute of telecommunications and global information space of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the research and solution of the actual scientific problem of optimal control of data flow routing in sensor networks (CM) of variant topology (BT), which are built on the basis of service oriented architecture (SOA) and operate in conditions of limitations and uncertainties, due to the functioning of



the distributed system of intellectual management (SIM) routing. To solve this problem, a method of intellectual network management based on a mathematical model for solving the problem of conflict, as a problem of discrete dynamic discrete optimization, which provides decentralized management of routing in real time in the absence of base stations or reference nodes.

The aim of dissertation work is an increase of fast-acting and firmness of functioning of the system of intellectual management routing of data streams (DS) in conflicting sensor networks of variant topology at the terms of limitations, vaguenesses and providing of warranty, and creating of information technology of dynamic management routing of streams given due to perfection of existing and development of new models and methods.

As a result of dissertation research such scientific results are got:

1. The method of describing the topology of the computational system in the form of a graph, a mathematical model and notation (languages) has been further developed, which has made possible the use of a set-theoretic model for describing the interaction processes of elements of the sensor network:

- determine the methodology for building an intelligent management system;
- determine the possibility of synthesis and management of topologies, which differs from the basic topological descriptions, such as "bus", "star" and "ring";
- to form a model for describing the interaction processes of elements of the sensor network;
- to determine the sets of states of the elements of the sensor network in the cybernetic space of its functioning, regardless of the linearity or nonlinearity of the formal relations that describe this medium in the constraint system, which is determinative in relation to the mode of their behavior.

2. The method of solving conflicts during the operation of guaranteed service-oriented computational networks of variational topology has been further developed in conditions of limitations and uncertainties, which allowed due to the integral formal multiple representation of the functioning space:

- define the set of guaranteed value of control parameters;
- to determine the numerical, and not analytical, representation of the conflict resolution model and the constraints of the conflating system;
- to determine the way of synthesis of optimal optimal control;
- determine the formalized structure of the algorithm, which simplifies the conflict resolution process provided that the service-oriented computer network of the variable topology is guaranteed in the conditions of constraints and uncertainties;
- study the performance indicators of a reliable service-oriented computer network of variable topology in conditions of conflict, limitations and uncertainties.

3. For the first time, a model of dynamic discrete optimization was developed for solving a conflict in the management of a service-oriented, reliable, computational network of variational topology under conditions of limitations and uncertainties, which allowed for the system-structural and system-functional study of the phenomenon:

- to investigate the basic interrelationships of the conflict with the environment in which the conflict develops;
- determine the nature and ways of interaction of elements and substructures of the conflict;
- to form a formal model of dynamic discrete optimization for managing a service-oriented computer network;
- develop a mathematical model for ensuring the availability of a service-oriented computer network.

The practical value of work consists in taking of the got scientific results to information technology functioning the distributed system of intellectual management routing of data streams in sensor networks of variable topology.

The got results are attained due to the correct use of methods of researches and mathematical vehicle. Adequacy of select methods and models is confirmed

by coordination of analytical researches, imitation design and experimental verifications, and accordance of conclusions follows from maintenance of work.

The practical value of the work is confirmed by the acts of implementation of the main results of the dissertation research at the enterprises and organizations:

1. The project "Program for forecasting, assessment of preparedness and response to artificial and natural disasters in the ENPI of the Eastern region - EuropeAid / 129397 / C / SER / Multi" Moldova, Ukraine, Belarus, Armenia, Azerbaijan, Georgia ", approved by the European Commission (Ares (2014) 691843).

2. Project on the finalization of the components of the information and telecommunication system for electronic interaction of executive authorities (code of research "DTSR5-1", state registration number 0115U006734).

3. The project on the development of requirements for the architecture of the electronic communication system of state information resources (the code of research "PE / 2-2015", state registration number 0115U007171). 4. The project to develop a single information resource of citizens' appeals to state authorities and local self-government bodies (code of research "GDR-08 / 12-2015", state registration number 0115U007172).

**Keywords:** reliability, service-oriented sensor network, computer network, intelligent control system, intelligent converter, variational topology, conflict, constraints, uncertainty, model, method, algorithm

### **Publications list of the candidate**

*Papers in which the main scientific results of the dissertation are published:*

1. Семко О.В., Семко В.В. Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів. *Проблеми інформатизації та управління*. 2014. №46. С.60-71.

2. Семко О.В. Сенсорна сервіс-орієнтована мережа телемедичної системи моніторингу стану серцево-судинної системи. *Сучасний захист інформації*. 2016. №4. С.111-115.

3. Семко О.В. Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №52. С.135-139.

4. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л., Складанний П.М. Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології. *Сучасна спеціальна техніка*. 2018. №55. С.64-76.

5. Семко О.В., Семко В.В. Розробка формальної моделі інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології. *Математичне моделювання в економіці*. 2019. №1. С.5-19.

6. Семко О.В., Бурячок В.Л., Платоненко А.В. Вибір раціонального способу генерування паролів серед множини існуючих. *Безпека інформації*. 2019. №1. С.59-64.

*Papers certifying the approbation of dissertation materials:*

7. Семко О.В., Наумець М.В. Система передачі даних в телекомунікаційній мережі космічних апаратів. *Політ. Сучасні проблеми науки: Тези доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів (м.Київ, 3-4 квіт. 2013 р.)*. Київ. 2013. С.193.

8. Семко О.В., Нечипорук О.П., Наумець М.В., Атаманюк Т.В. Перспективи розвитку імітаційної моделі в моделюванні складних систем. *Materialy IX Miedzynarodowej naukowii-practycznej konferencji „Naukowa przestrzen Europy: Nowoczesne informacyjne technologie. Nauka i studia (м. Перемишль, 7-15 квіт. 2013 р.)*. Перемишль. 2013. С.55-58.

9. Аналіз і оптимізація лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат: №51097; заявл. 03.07.2013; опубл. 02.01.14, Бюл. № 32. С.17.

10. Оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в персональному комп'ютері: №48079; заявл. 11.02.2013; опубл. 03.05.13, Бюл. № 30. С.625.

11. Семко О.В. Використання вразливостей сервісів у кібернетичному просторі . *«Інформатика та комп'ютерні технології» (ІКТ-2013)*: Збірка праць ІХ міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців (м.Донецьк, 4-6 листоп. 2013 р.). Донецьк. 2013. С.354-358.

12. Семко О.В. Організація захищеного інформаційного обміну у мережах стільникового зв'язку. *Політ. Сучасні проблеми науки*: Тези доповідей XIV міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів (м.Київ, 2-3 квіт. 2014 р.). Київ. 2014. С.76.

13. Семко О.В., Масловський Б.Г. Система управління спеціалізованою базою даних медичних комісій . *Materialy X Miedzynarodowej naukowo-practycznej konferencji „Wykształcenie i nauka bez granic*: *Математика. Фізика. Nauka i studia* (м. Перемишль, 7-15 груд. 2014 р.). Перемишль. 2014. С.55-58.

14. Семко О.В. Інформаційно-телекомунікаційна система видачі медичних довідок. *Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави*: Матеріали науково-технічної конференції студентів, викладачів та науковців (м.Київ, 18 груд. 2014 р.). Київ. 2014. С.96-97.

15. Семко О.В., Ящук Д.Ю. Математична модель захищеної інформаційно-телекомунікаційної. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем*: Матеріали доповідей (м.Київ, 10-11 берез. 2016 р.). Київ. 2016. С.98-99.

16. Семко О.В. Безпека бездротових сенсорних мереж. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 3-6 жовт. 2016 р.). Київ. 2016. С.203-206.

17. Семко О.В., Семко В.В. Інформаційна технологія функціонування захищеної системи обміну даними в умовах кібернетичного протиборства . *Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави*: Збірник матеріалів VIII науково-практичної конференції (м.Київ, 24 трав. 2017 р.). Київ. 2017. С.326-328.

18. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л., Бурячок Л.В. Шляхи рішення задач оптимального управління проблемами кібербезпеки при побудові мереж нового покоління. *Перспективы предоставления услуг на основе сетей пост-NGN. 4G b 5G. Организационные и технические решения по их построению и защите*: Тезисы докладов (м.Київ, 7-9 июн. 2017 р.). Київ. 2017. С.111-113.

19. Семко О.В. Інтелектуальне ситуативне управління топологією гарантоздатної сенсорної мережі. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: Колективна монографія за матеріалами XVI Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 3-4 жовт. 2017 р.). Київ. 2017. С.85-86.

20. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л. Метод оцінювання безпеки застосування програмних засобів. Математична модель системи інтелектуального управління сенсорною мережею в умовах конфлікту. *Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів та комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці*: Збірник матеріалів II Всеукраїнської конференції (м.Київ, 28 берез. 2018 р.). Київ. 2018. С.172-174.

21. Семко О.В. Управління маршрутизацією в бездротових сенсорних мережах. *Інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: Колективна монографія за матеріалами XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 25-26 верес. 2018 р.). Київ. 2018. С.103-106.

22. Oleksiy Semko, Viktor Semko. System telemedyczny monitorowania stanu kardiologicznego ludnoszci, *Dialogi zarzadzania cyfrowego: roczny zbior tez. Czesc 1*(m.Wroclaw, 4 march. 2019 r.). Wroclaw. 2019. pp. 44-46.

## ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	18
	ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІКТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ	31
	1.1 Аналіз сучасного стану проблеми управління маршрутизацією в сенсорних мережах	34
	1.2 Аналіз існуючих методів та моделей інтелектуального управління маршрутизацією в сервіс-орієнтованих сенсорних мережах	45
	1.3 Система інтелектуального управління маршрутизацією в гарантоздатних сенсорних мережах	51
	1.4 Формулювання і постановка наукової задачі дослідження	56
	Висновки до першого розділу	58
РОЗДІЛ 2	МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІКТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ ГАРАНТОЗДАТНИХ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ	60
	2.1 Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології	60
	2.2 Теоретико-множинна модель конфліктуючої сенсорної	62

	мережі	
2.3	Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах	71
2.4	Визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих сенсорних мереж	74
2.5	Математична модель управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах	77
	Висновки до другого розділу	81
РОЗДІЛ 3	МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІКТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ ГАРАНТОЗДАТНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ	85
3.1	Визначення та обґрунтування параметрів управління маршрутизацією в сенсорних гарантоздатних мережах	85
3.2	Метод інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах	91
3.2.1	Метод визначення показників гарантоздатності сенсорних мереж	92
3.2.2	Метод самоорганізації сервіс-орієнтованих конфліктуючих гарантоздатних сенсорних мереж	101
3.3	Метод синтезу та вибору маршруту передачі даних	105
	Висновки до третього розділу	109
РОЗДІЛ 4	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ ПОТОКІВ ДАНИХ В КОНФЛІКТУЮЧИХ ГАРАНТОЗДАТНИХ СЕРВІС-	111



## ОРІЄНТОВАНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

4.1	Імітаційна модель розрахунку параметрів гарантоздатності системи інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах	111
4.1.1	Імітаційна модель синтезу топології сенсорних мереж	112
4.1.2	Імітаційні моделі розрахунку параметрів гарантоздатності	115
4.1.3	Імітаційна модель синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією в конфліктуючій сенсорній мережі за умов забезпечення гарантоздатності	120
4.2	Дослідження характеристик стійкості функціонування інтелектуального перетворювача динамічної розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних	131
	Висновки до четвертого розділу	138
	ВИСНОВКИ	140
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
	Додаток А Акти впровадження	156
	Додаток Б Свідоцтва про авторське право	160
	Додаток В Програмні засоби імітаційної моделі системи інтелектуального управління маршрутизацією	165
	Додаток Г Інформаційна технологія оцінки завантаженості обчислювальної системи вузла сенсорної мережі	175

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

АПК	-	апаратно-програмний комплекс;
БСМ	-	бездротова сенсорна мережа;
ДІ	-	диференційні ігри;
ДО	-	динамічний об'єкт;
ДС	-	динамічна система;
ЕП	-	евристичний пошук;
ІБ	-	Інформаційна безпека;
ІМ	-	імітаційна модель;
ІМНСПР	-	інформаційна множина небезпечних станів простору рішення;
ІТ	-	Інформаційна технологія;
ІТМ	-	інтегрально-топологічні методи;
ІТС	-	Інформаційно-телекомунікаційна система;
КА	-	кінцевий автомат;
КВ	-	контекстно-вільна;
ККП	-	конфліктно-керований процес;
КП	-	кібернетичний простір;
КС	-	кібернетична система;
КОС	-	компоненти обчислювального середовища;
КУ	-	комбіноване управління;
ЛА	-	лексичний аналізатор;
ЛАП	-	літальний апарат;
ЛАЧХ	-	логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
ЛАФЧХ	-	логарифмічна амплітудно-фазова частотна характеристика;
ЛВР	-	лінія відносного руху;
ЛО	-	людина-оператор;
ЛС	-	лексичний сканер;

ЛШ	- "лінійка швидкостей";
МІУВ	- метод інтегрального усікання варіантів;
МП	- магазинна пам'ять;
НСД	- несанкціонований доступ;
ОПР	- особа, яка приймає рішення;
ОС	- об'єкт спостереження;
ОУ	- об'єкт управління;
ПЗ	- програмні засоби;
ПД	- пропорційно-інтегрально-диференційний;
ПКУО	- простір комбінованого управління об'єктом;
ПНП	- простір неприпустимих положень;
ПР	- простір рішень;
ПРМ	- простір реалізації маневру;
ПС	- простір спостереження;
ПСП	- простір спостереження і пошуку;
ПСЦР	- підсистема синтезу цілі та рішень;
СА	- синтаксичний аналіз;
СБНП	- сектор безпечних напрямів переміщення;
СЗІ	- система захисту інформації;
СІУ	- система інтелектуального управління;
СМ	- ситуаційна модель;
СМА	- семантичний аналізатор;
СММ	- семіотична модель;
СННП	- сектор небезпечних напрямів переміщення;
СО	- система обмежень;
СР	- стабілізуючий регулятор;
ССЛУО	- синтез стратегій і ланцюжків управління об'єктом;
СУ	- система управління;
ТС	- технічна система;

- ТЕС - технічна ергатична система;
- ФБ - функціональна безпека;
- ФЧХ - фазова частотна характеристика;
- Ad hoc* - бездротова самоорганізована динамічна сервіс-орієнтована мережа;
- Multihop* - мережа з багаторазовою (багато прольотною/багатоскачковою) ретрансляцією;
- MANET* - (англ. *Mobile Ad hoc Network*) — безпроводна децентралізована самоорганізована мережа;
- SOA* - сервіс-орієнтована архітектура;
- Multihop* - обчислювальна мережа з багаторазовою ретрансляцією;

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Сучасне суспільство все більше стає залежним від якості сучасних інформаційно-телекомунікаційних послуг, що є наслідком стрімкого розвитку інформаційних технологій (ІТ). Важливими показниками якості таких послуг є рівень надійності і безпеки сервісів та ІТ-систем, що використовують ці послуги.

Сервіс-орієнтовані СМ є розподіленими самоорганізованими мережами збирання і передачі даних до певного хоста або до зовнішньої мережі через інші сенсори з використанням бездротового каналу передачі даних. Такі мережі, як правило, мають радіуси взаємодії з вузлами, що можуть перевищувати гранично припустимі. В такому разі вибір топології СМ має безпосередній вплив на вибір протоколів, параметрів каналів взаємодіючих вузлів та маршрут ПД. Саме тому дослідження моделей СМ ВТ і методів інтелектуального управління маршрутизацією ПД за умов забезпечення гарантоздатності мереж є актуальним науковим завданням.

Зазначені проблеми управління досліджувались як вітчизняними, так і зарубіжними вченими, зокрема А.О.Чикрієм [125], Ф.Л.Черноузьком [124], В.В.Павловим [78], В.М.Кунцевичем [57], В.С.Михалевичем [67], Л.С.Понтрягіним [83], Д.А.Поспеловим [84], Г.С.Поспеловим [85], М.М.Красовським [54], А.І.Суботіним [117], В.О.Касьяновим [41], К.Ріхтером [89] та іншими.

Сучасні СІУ самоорганізованими гарантоздатними СМ і процесами, що обумовлені їх функціонуванням, структурно та функціонально є складними і багатомірними. Їх прагматична сутність обумовлюється перш за все наявністю взаємозв'язків, правил та відношень, як між власне внутрішніми компонентами, так і з компонентами зовнішнього середовища. Взаємозв'язки між компонентами описуються, як правило, моделями, які відображають специфіку взаємодії цих компонент, елементів та підсистем з зовнішнім і внутрішнім середовищем в умовах невизначеностей, довільних обмежень та конфлікту. При цьому невизначеності обумовлені неоднозначністю, неповнотою або відсутністю даних

про вектор стану і параметри функціонування СІУ; неконтрольованими завадами вимірювання значення параметрів. зовнішніми та внутрішніми збуреннями; властивостями простору існування СМ; наявністю об'єктів, які знаходяться в стані конфлікту. Під конфліктом в цьому сенсі розуміють явище взаємодії по-різному цілеспрямованих сторін – об'єктів технічних систем (ТС), які або мають складний опис, що не може бути використаним практично або взагалі не можуть бути повною мірою описаними як формально, так і вербально.

Проблемам дослідження властивостей та характеристик, що впливають на процеси функціонування і управління сучасними мережами ПД, присвячені роботи вітчизняних та закордонних вчених, таких як Д.Бертсекас [11], Л.Н. Беркман [118], Б.С.Гольдштейн [31], В.К. Стеклов [119], Х.Пападимитру [80], А.Е.Кучерявий [60] та інших. За їх висновками встановлено, що процеси функціонування гарантоздатних самоорганізуючих СМ ВТ потребують створення новітніх СІУ на основі дискретних моделей та методів вирішення задач вибору з використанням методів динамічної дискретної оптимізації.

Враховуючи викладене, **тема досліджень**, яка полягає у розробці методів інтелектуального управління маршрутизацією в СМ ВТ, як основи запобігання та оптимального вирішення конфлікту взаємодії об'єктів мережі за умов обмежень і невизначеностей – є **актуальною**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження, результати якого викладено в дисертаційній роботі, виконувалося відповідно до державних програм та планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт Європейської комісії, Державного агентства з питань електронного урядування України: «Programme for the prevention, preparedness, and response to man-made and natural disasters in the ENPI East Region-EuropeAid/129397/C/SER/Multi», PROJECT REFERENCE: EP 105044 (2014р.); шифр «ДЦП5-1» тема «Послуги з доопрацювання складових компонентів інформаційно-телекомунікаційної системи електронної взаємодії органів виконавчої влади з придбанням примірника програмної продукції перевірки/накладання електронного цифрового підпису та примірника

програмної продукції платформи віртуалізації серверів VMWare vSphere (ESX/ESXi) з системою vCenter Server» (номер державної реєстрації 0115U006734); шифр «НП/2-2015» (тема «Розробка вимог до архітектури Системи електронної взаємодії державних електронних інформаційних ресурсів» (номер державної реєстрації 0115U007171); шифр «НДР-08/123-2015» тема «Доопрацювання Єдиного інформаційного веб-ресурсу звернень громадян до органів державної влади та органів місцевого самоврядування в частині ідентифікації особи та інтеграції до системи електронної взаємодії органів виконавчої влади» (номер державної реєстрації 0115U007172).

Автор дисертаційної роботи брав участь у цих науково-дослідних та дослідно-конструкторських роботах в якості виконавця.

Використання наукових результатів дисертаційної роботи автора підтверджуються відповідними актами впровадження, які наведені в додатку дисертаційної роботи.

Роль автора в перерахованих науково-дослідних роботах та проектах полягає в розробці наукових, методологічних та технологічних основ створення та застосування інформаційної технології системи інтелектуального управління при забезпеченні обміну даними інформаційних систем за умов інтероперабельності та забезпечення гарантоздатності на основі моделей, методів та гарантовано оцінюваного значення параметрів управління.

**Мета і завдання дослідження.** *Мета дисертаційної роботи* полягає у підвищенні ефективності функціонування інтелектуального управління маршрутизацією ПД в конфлікуючих СМ ВТ за умов обмежень, невизначеностей та забезпечення гарантоздатності.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

1) провести аналіз, дослідження і узагальнення принципів функціонування, існуючих моделей, методів та алгоритмів забезпечення роботи систем управління маршрутизацією ПД в сервіс-орієнтованих СМ, визначення шляхів підвищення їх ефективності і гарантоздатності при наявності обмежень і невизначеностей;

2) розробити, провести обґрунтування та дослідити властивості математичної моделі та методу забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих СМ ВТ за умов конфлікту взаємодії їх вузлів при наявності обмежень і невизначеностей;

3) розробити і формально визначити задачі синтезу і вибору маршруту ПД в СМ ВТ, як задачі дискретної динамічної оптимізації;

4) визначити і обґрунтувати функцію ціни, як критерію оптимальності при синтезі і виборі маршруту ПД, у вигляді віртуальної відстані між вузлами мережі, що враховує обмеження, невизначеності та конфлікти взаємодії вузлів, а також властивості процесів, які притаманні їх функціонуванню;

5) розробити метод і евристичний алгоритм управління маршрутизацією ПД для розподіленої СІУ СМ ВТ, як *NP*-повної перебірної задачі дискретної динамічної оптимізації при рішенні конфлікту взаємодії вузлів мережі при наявності обмежень та невизначеностей;

б) провести імітаційні експерименти з метою підтвердження теоретичних положень, а також дослідження характеристик функціонування розподіленої СІУ при синтезі і виборі стратегій щодо управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ при наявності обмежень і невизначеностей.

**Об'єкт дослідження** – процеси оптимального управління багатомірними інформаційними об'єктами варіативної топології в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей.

**Предмет дослідження** – моделі і методи синтезу і вибору стратегій оптимального управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ при взаємодії конфліктуєчих вузлів мережі в умовах обмежень та невизначеностей.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставленої наукової задачі в дисертаційній роботі використані методи теорії динамічних конфліктних систем, теорії систем, теорії автоматичного керування, теорії оптимального керування, теорії множин, теорії графів, теорії конфліктів, теорії алгоритмів, теорії диференціальних рівнянь, а також обчислювальні методи дискретної динамічної оптимізації, методи синтезу систем ситуаційного управління, основ топології, об'єктно-орієнтованого програмування і оптимізації.



Експериментальні дослідження здійснені шляхом імітаційного моделювання в сучасному обчислювальному середовищі з застосуванням обчислювальних методів, підходів штучного інтелекту, системного аналізу та сучасних технологій об'єктно-орієнтованого та абстрактного програмування з використанням імперативних та функціональних парадигм програмування.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в подальшому розвитку теоретичних та практичних методів синтезу і вибору рішень з використанням методів дискретної динамічної оптимізації математичної моделі в теоретико-множинному підході (ТМП), що дозволяє отримувати більш прості процедури синтезу рішень щодо управління маршрутизацією ПД в конфлікуючих СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей.

Новими результатами, отриманими в дисертаційній роботі є:

– *вперше розроблений* метод формального уявлення СМ ВТ у вигляді математичної моделі і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі, **впровадження якого** за рахунок застосування теоретико-множинної моделі (ТММ) процесів взаємодії вузлів СМ ВТ, логіко-семантичної моделі (ЛСМ) управління маршрутизацією ПД в СМ, математичної моделі синтезу та прийняття рішень щодо стратегій управління маршрутизацією ПД в конфлікуючих СМ, а також технології визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфлікуючих СМ **дозволило: визначити** властивості методу синтезу і вибору гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД за умови врахування множини параметрів, які визначають властивості гарантоздатного функціонування мережі; *визначити* оптимальні маршрути ПД згідно критерію гарантоздатності за умови обмежень та невизначеностей; *розробити* алгоритм синтезу і вибору гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД за умови врахування множини параметрів, які визначають властивості гарантоздатного функціонування мережі в умовах конфлікту, як задачі динамічної дискретної оптимізації;

– вперше розроблений метод синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД СМ ВТ, **впровадження якого** за рахунок математичної моделі і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі, методу інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах, методу формування функціонального віртуального простору параметрів сенсорної мережі, методу синтезу та вибору маршруту передачі даних, **дозволило: визначити** чисельне подання моделі синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД в конфліктуючій мережі; **визначити** оптимальний маршрут ПД в мережі за умов синтезу та вибору оптимального рішення СІУ; **визначити** формалізовану структуру алгоритму, що спрощує процес синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД в мережі; **розробити** інформаційну технологію рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту ПД в розподіленій СІУ СМ; **визначити** показники стійкості ІІ вузла мережі;

– вдосконалений метод формування функціонального віртуального простору параметрів СМ ВТ, **впровадження якого** за рахунок формування віртуального простору параметрів, а також технології визначення та обґрунтування параметрів управління маршрутизацією в сенсорних гарантоздатних мережах **дозволило: врахувати** невизначеності при переміщенні об’єктів мережі; **визначити** множини гарантованого управління маршрутизацією ПД в мережі; **визначити** інтегральне формальне множинне уявлення простору параметрів функціонування відповідно до запропонованої ТММ мережі.

**Практичне значення одержаних результатів.** Проведені в дисертаційній роботі дослідження реалізовані й впроваджені (акти подані у Додатку А до дисертаційної роботи):

– в Державному підприємстві “Держінформресурс” Державного агентства з питань електронного урядування при доопрацюванні та впровадженні системи електронної взаємодії органів виконавчої влади України (ДКР шифр “НП/2-2015”, НДР шифр “НДР-08/123-2015”, акт впровадження результатів від 05.03.2015р.);

– в товаристві з обмеженою відповідальністю “БМС-консалтинг” при доопрацюванні складових частин програмних компонентів системи електронної взаємодії органів виконавчої влади та місцевого самоврядування з метою введення в промислову експлуатацію інформаційно-телекомунікаційної системи електронної взаємодії, що забезпечує автоматизацію процесів створення, відправлення, передавання, одержання, оброблення, використання, зберігання та знищення електронних документів та копій паперових документів в електронному вигляді з використанням електронного цифрового підпису, які не містять інформацію з обмеженим доступом, та контролю за виконанням актів, протокольних рішень Кабінету Міністрів України та інших документів (ДКР шифр “ДЦП5-1”, акт впровадження результатів від 11.02.2016 р.);

– в товаристві з обмеженою відповідальністю “Елан” при створенні та впровадженні інформаційних технологій проекту «Програма для прогнозування, оцінки готовності та реагування на штучні та природні катастрофи в ENPI Східного регіону - EuropeAid/129397/C/SER/Multi» Молдова, Україна, Беларусь, Армения, Азербайджан, Грузія», схваленого Європейською комісією (Ares(2014)691843).

### **Особистий внесок здобувача.**

Безпосередньо автором здійснено:

- інформаційний пошук та аналіз літературних даних за темою дисертації;
- запропоновано метод формального уявлення СМ ВТ у вигляді математичної моделі і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі;
- розроблено метод формування функціонального віртуального простору параметрів СМ ВТ, що враховує обмеження, невизначеності та конфлікти взаємодії вузлів, а також властивості процесів, які притаманні їх функціонуванню;
- запропоновано метод і евристичний алгоритм синтезу та вибору стратегій управління маршрутизацією ПД для розподіленої СІУ СМ ВТ, як NP-

повної перебірної задачі дискретної динамічної оптимізації при рішенні конфлікту взаємодії вузлів мережі при наявності обмежень та невизначеностей;

– розроблено імітаційні моделі і проведені імітаційні експерименти з метою підтвердження теоретичних положень та дослідження характеристик функціонування розподіленої СИУ при синтезі і виборі стратегій щодо управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ при наявності обмежень і невизначеностей.

Наукові роботи опубліковані у співавторстві з Бурячком В.Л., Семком В.В., Складанним П.М., Бурячок Л.В., Платоненком А.В., Наумцем М.В., Нечипорук О.П., Атаманюк Т.В., Масловським Б.Г., Ящуком Д.Ю.

Усі результати, які виносяться на захист, отримані автором особисто і опубліковані в одноосібно підготовлених працях [99], [103], [104], [109], [106], [108].

У наукових працях, написаних у співавторстві, автору належить: [98] – формальне уявлення функції ціни, як універсального адитивного критерію вибору при рішенні задачі дискретної динамічної оптимізації; [110] – структура і функції елементів інтелектуального перетворювача, як елемента розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних в сенсорній мережі; [111] – граф-модель, її зв'язок з логіко-семантичною і теоретико-множинною моделлю функціонування системи інтелектуального управління маршрутизацією в сенсорних мережах варіативної топології, визначення і формальний опис сутності поняття віртуальної відстані між вузлами мережі, як критерію вибору при синтезі оптимальних маршрутів потоків даних; [112] – застосування формули Маєрса при формальному визначенні вектору переваг при генерації множини паролів, що надалі дозволяє вирішувати проблему генерації паролів, як оптимізаційну задачу; [100] – інформаційна технологія імітаційної моделі аналізу і оптимізації лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат; [101] – інформаційна технологія імітаційної моделі оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в обчислювальній системі; [102] – математична модель управління доступом в захищеній розподіленій мережі передачі даних; [107] – математична та імітаційна моделі моніторингу показників

гарантоздатності обчислювального середовища терміналів сенсорної мережі передачі даних, [105] – математична модель інтелектуального перетворювача мереж зв'язку нового покоління.

Співавторами наукових праць є науковий керівник та науковці, спільно з якими проведені дослідження. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить фактичний матеріал і основний творчий доробок.

Співавторами наукових праць дисертанта захищені такі дисертації: Бурячок В.Л. «Методологія формування державної системи кібернетичної безпеки», Київ, 2013; Семко В.В. «Методологія оптимального управління об'єктом в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей», Київ, 2017, 422с.

За результатами дисертаційних досліджень отримано 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (копії свідоцтв про реєстрацію авторського права подані у Додатку Б до дисертаційної роботи).

Постановка мети та завдань, обговорення результатів проведені разом з науковим керівником.

**Апробація результатів дисертації.** Наукові результати та основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались на республіканських, всесоюзних і міжнародних наукових семінарах і конференціях, а саме: секціях V міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» (м.Київ, 2012р.); наукових семінарах Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України (Київ, 2016-2018р.р.); секціях XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м.Київ, 2017р.); секціях II Всеукраїнської конференції «Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів і комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті і науці» (Київ, 2018р.); секціях Регіональної конференції МСЕ «Перспективы предоставления услуг на основе сетей пост-NGN, 4G и 5G.

Организационные и технические решения по их построению и защите» (Київ, 2017р.); секціях VIII науково-практичної конференції «Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави» (Київ, 2017р.); секціях XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м.Київ, 2016р.); секціях науково-прапктичної конференції «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем» (м.Київ, 2016р.); секціях науково-технічної конференції «Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави» (м.Київ, 2016р.); секціях XII, XIII, XIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (м.Київ, 2012-2014р.р.); секціях IX Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Інформатика та комп'ютерні технології» (м.Донецьк, 2013р.); секціях X Міжнародної науково-практичної конференції „Wykształcenie i nauka bez granic – 2014” (Przemysl, 2014); секціях IX Міжнародної науково-практичної конференції „Naukowa przestrzen Europy – 2013” (Przemysl, 2013).

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 176 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 4 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 141 сторінки друкованого тексту. Робота ілюстрована 1 таблицею, 25 рисунками. Список використаних джерел містить 151 найменування, з них 130 кирилицею та 21 латиницею.

## РОЗДІЛ 1

### **АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІКТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ**

В галузі телекомунікацій та комп'ютерних мереж на даний час все більшого поширення набувають мережі зв'язку гетерогенної топологічної структури, які включають до свого складу підсистеми передачі та обробки інформації з використанням дротової і бездротової складової. Використання бездротових складових призводить до ускладнення топологічних структур за рахунок їх варіативності, що впливає на управління маршрутизацією передачі даних і параметри, що визначають показники гарантоздатності функціонування ІТС і КС. Параметри, що визначають спосіб оптимального управління маршрутизацією при передачі даних, визначаються при рішенні задачі динамічної дискретної оптимізації відповідно формальної моделі управління конфліктуючою мережею передачі даних за умов невизначеності топології і параметрів, які визначають динамічні властивості елементів сенсорної мережі і мережі взагалі, а також змінну в часі систему обмежень щодо значень параметрів гарантованого управління і обмежень віртуального простору функціонування мережі. В такому разі значення параметрів управління маршрутизацією і показники, що визначають гарантоздатність мережі, можуть бути зведені в формальний критерій, який визначає принцип оптимальності при синтезі і виборі стратегій оптимального управління маршрутизацією потоків даних в конфліктуючій гетерогенній сенсорній мережі варіативної топології.

Слід зазначити, що поняття конфлікту, яке тісно пов'язане з проблемою цілеспрямованості і ціледосяжності при функціонуванні або переміщенні об'єктів в фізичному або віртуальному просторі, є одним з засадних понять теорії систем [75], [78]. З поняттям конфлікту пов'язане існування напряду технічних систем в кібернетиці. В цілому конфлікт розуміється як явище

взаємодії по-різному спрямованих сторін - об'єктів, систем, тощо в фізичному або віртуальному просторі існування та уявлення. Щодо конфліктуючих сенсорних ІТС і КС модель цілі функціонування, яка полягає в переміщенні або передачі даних, об'єднує три підмоделі - попередню, поточну і майбутню, що закріплюються в топології мережі, і складають три рівні по відношенню до моделі цілі, які забезпечують цілісність управління ІТС в цілому.

Для формального опису конфліктів в технічних системах застосовується математичний апарат теорії управління, а саме - теорія конфліктно-керованих процесів, яка є розділом сучасної математики.

В теорії конфліктно-керованих процесів досліджуються завдання управління динамічними процесами в умовах конфлікту, обмежень і невизначеностей, що припускає наявність двох або більше сторін, які здатні впливати на процес з протилежними або неспівпадаючими цілями і оптимізувати задані функціонали якості процесу. При цьому динамічні процеси можуть мати довільний формальний опис у вигляді рівнянь.

Маршрутизація (*routing*) є однією з ключових функцій мережного рівня базової еталонної моделі взаємодії відкритих систем - моделі *OSI (Open Systems Interconnection Basic Reference Model)*, яка є абстрактною мережевою моделлю для комунікацій і розробки мережевих протоколів. В даному випадку протокол є способом взаємодії і обміну даними між обчислювальними системами вузлів СМ при роботі у мережі. Сукупність протоколів є систематизованим стеком протоколів TCP/IP, що поділяється на чотири рівні, які корелюються з еталонною моделлю OSI.

При цьому під маршрутизацією розуміється, процес визначення в телекомунікаційній мережі одного або множини маршрутів (шляхів), оптимальних у рамках обраних критеріїв, між заданою парою або множиною мережних вузлів. Таким чином, маршрутом є послідовність мережних вузлів і трактів передачі даних, які з'єднують пару вузлів мережі для інформаційної взаємодії.



Основні цілі технологій і протоколів маршрутизації полягають у мінімізації (максимізації) значень обраних показників якості обслуговування (швидкості передачі, середньої затримки, джитера, втрат пакетів й ін.), а також у забезпеченні збалансованого завантаження мережі, її каналних і буферних ресурсів. Таким чином, при управлінні маршрутизацією ПД в СМ необхідно забезпечити контроль і збір інформації про стан мережі (топології, завантаження мережних ресурсів тощо), синтез і вибір маршрутів ПД та забезпечення процесів ПД за маршрутами.

Мережний рівень за допомогою маршрутизації також реалізує функції об'єднання мереж, побудованих з використанням різнотипних технологій, що використовують різні принципи адресації, пересилання даних, управління (рис.10.4.8). Для об'єднання мереж на третьому рівні ЕМВВС, як правило, використовується спеціальний пристрій — маршрутизатор мережі, який підтримує різні технології каналного рівня (на рис. 10.4.8 технології Frame Relay і Fast Ethernet) і обробляє блоки даних мережного рівня. При такому підключенні протокольні особливості локалізуються в межах однієї ділянки мережі, а пересилання пакетів здійснюється на базі єдиного протоколу мережного рівня, який має бути налаштований на кожному кінцевому пристрої.

Методи і алгоритми маршрутизації пакетів та потоків даних в гетерогенних СМ будуються за технологією багаторазової ретрансляції (*Multihop*), як самоорганізована динамічна сервіс-орієнтована мережа ВТ.

При управлінні маршрутизацією в конфліктуючих СМ також враховуються спеціально призначені протоколи маршрутизації, що розроблені і апаратно імплементовані в мережне обладнання та операційні системи і є стандартами для таких мереж.

## 1.1 Аналіз сучасного стану проблеми управління маршрутизацією в сенсорних мережах

Маршрутизація – це процес визначення шляху передачі даних від вузла-відправника до вузла-отримувача через проміжні елементи і вузли СМ, а також подальшого перенаправлення пакета даних (логічної одиниці потоку даних) в мережі або за її межами. Протоколи маршрутизації реалізують механізми визначення напрямку передачі даних між елементами СМ. При визначенні маршруту передачі даних елементи СМ здійснюють обмін службовою інформацією щодо топології мережі та функціонального стану елементів мережі з метою побудови таблиць маршрутизації і карти зв'язків елементів.

Створення та забезпечення оптимальної СУ управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих сервіс-орієнтованих СМ ВТ потребує вирішення задач синтезу і вибору рішень у відповідності до функції ціни.

Управління маршрутизацією ПД і топологією може здійснюватись централізовано або децентралізовано з використанням багатокритеріального підходу [12], при якому кожний елемент СМ вміщує програмний засіб (ПЗ) СУ, що виконує певну функцію управління, а саме максимізації покриття СМ ВТ, мінімізації потужності засобів обміну службовою інформацією з використанням радіоканалу або іншої мережної технології зв'язку, мінімізації кількості активних вузлів мережі за умов зв'язності топології [68], [81], [90].

Найбільш поширеними алгоритмами управління маршрутизацією потоків даних в СМ, що базуються на методах і принципах побудови СУ СМ, є *SPIN (Sensor Protocols for Information via Negotiation)*, *DD (Directed Diffusion)*, *RR (Rumor Routing)*, *GBR (Gradient-based routing)*, *GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)*, *MCF (Minimum Cost Forwarding)*, *LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)*, *TEEN (Threshold sensitive Energy*

*Efficient Sensor Network*), *GAF* (*Geographic Adaptive Fidelity*), *TTDD* (*Two-Tier Data Dissemination*).

*SPIN* - сімейство протоколів, що відносяться до методів маршрутизації з одноранговими вузлами без гарантованого доставки повідомлень та забезпечують доставку даних на основі процедури взаємного обміну службовою інформацією. Протоколи призначені для використання в СМ ВТ з мобільними елементами [134]. Протокол використовує адаптивний варіант простої техніки лавинного розповсюдження (*flooding*), що значно підвищує ефективність маршрутизації потоків даних в СМ. Протокол використовує адаптивний варіант простої техніки лавинного розповсюдження (*flooding*), що значно підвищує ефективність маршрутизації потоків даних в СМ.

Механізм взаємодії базується на трьох типах повідомлень: *ADV* - для інформування про наявність нових даних у вузлі СМ, містить їх опис у вигляді так званих "метаданих"; *REQ* - для запису даних; *DATA* - для пересилання безпосередньо самих даних. При отриманні нових даних вузол СМ проводить попередній обмін інформацією з сусідніми вузлами, посилає повідомлення *ADV* і очікує від них відповідь *REQ*. Отримавши запис на передачу *REQ*, він транслює фактичні дані. Кожен сусідній вузол СМ, отримавши нові дані, аналогічним чином проводить обмін інформацією з сусідніми вузлами СМ і розсилає дані вузлам, що мають їх отримати для подальшої трансляції. В такому разі метадані є ідентифікатором реальних даних, використовуючи які вузол СМ унеможлиблює повторну передачу одних і тих даних. До сімейства входять основні протоколи *SPIN-1*, *SPIN-2*, а також ряд інших протоколів: *SPIN-BC* (для широковещальної розсилки), *SPIN-PP* (для взаємодії типу «точка-точка»), *SPIN-EC* (з обліком енергоспоживання елементів).

*DD* - орієнтований на централізовану модель збирання даних (*data-centric*) з доставкою по запису (*query-driven*) та локальну взаємодію елементів (вузлів) СМ, використовує високорівневі засоби іменування даних [138]. Централізована модель означає наявність у мережі центрального вузла збору

даних (*sink*), і, відповідно, маршрутизацію від множини джерел даних до одного отримувача.

*GBR* - варіація алгоритму *DD*, що дозволяє враховувати запаси енергії елемента (вузла) *CM* з метою його виключення з маршруту передачі даних за енергетичними показниками, а також для доставки потоків повідомлень про події [142]. В такому разі маршрут передачі потоків інформації формується таким чином, щоб у нього входили тільки ті вузли *CM*, які не приймають участь у доставці інших потоків.

*GPSR* відноситься до класу алгоритмів, які використовують географічну інформацію про місце розташування вузла і найближчих вузлів у просторі *CM* [138]. Пересилка повідомлення здійснюється вузлом тому сусідньому вузлу *CM*, що знаходиться ближче всього до адресату. Для обходу зон відсутності зв'язку (*holes, dead-ends*), застосовується маршрутизація по периметру, коли вибираються по правилу "правої руки" вузли, які знаходяться далі від вузла-отримувача, ніж вихідний вузол-відправник.

*MCF* - алгоритм виходить з припущення, що напрямок маршрутизації завжди відомий і нема необхідності використовувати для маршрутизації адресну схему з унікальною ідентифікацією кожного вузла *CM* [148]. Замість ідентифікатора вузел зберігає параметр найменшої ціни (*least cost*), який оцінює мінімальну відстань від вузла *CM* до центрального або похідного у заданій метриці. Функція ціни передачі даних за маршрутом визначається параметрами енергоспоживання, кількості ретрансляцій (*hops*), одиниць лінійної відстані в просторі *CM*, тощо.

*LEACH* відноситься до класу ієрархічних методів маршрутизації з балансуванням енергетичного навантаження [132]. Найближчі вузли, які знаходяться в одній зоні доступу, об'єднуються в кластер, який виконує функції маршрутизації і є основою комунікаційної інфраструктури *CM*. Головний елемент кластеру обирається випадковим чином і періодично

змінюється з метою забезпечення енергозбереження та ретрансляції повідомлень від усіх вузлів кластеру.

*TEEN* базується на методиці кластеризації *LEACH* і також має ієрархічну структуру на основі кластерної організації *TEEN* [141]. Алгоритм оперує параметрами порогу вимірюваних значень параметрів функціонування вузлів і передачею їх в центральний вузол мережі.

Модифікована версія даного протоколу *APTENN* (*Adaptive Periodic*), додає протоколу *TEEN* більш гнучку логіку і забезпечує передачу дані не тільки при виході величин, які вимірюються, за межі припустимих значень, а і передачу значень вимірюваних величин з визначеною частотою через задані проміжки часу.

*GAF* засновано на кластерному розбитті мережі і використовує інформацію про просторове розташування вузлів *СМ* [143]. Алгоритм дозволяє скорочувати витрати енергоспоживання мережі за рахунок можливості переведення вузлів *СМ* в режим “сон” і базується на об’єднанні вузлів мережі в кластер, в якому обирається вузол, який є відповідальним за підтримку зв’язності мережі і маршрутизацію ПД за умов, коли всі інші вузли знаходяться в режимі “сон”. *СМ* розбивається на фіксовані зони, які формують так звану «віртуальну сітку» (*virtual grid*), що асоціюється з кластером та забезпечує моніторинг стану вузлів мережі і не потребує ретрансляції даних про їх стан.

*TTDD* – алгоритм, який застосовує дволанковий механізм передачі даних в *СМ* [151]. Модель, яка застосована в алгоритмі, передбачає, що вузли *СМ* є стаціонарними, а центральний вузол є мобільним. Сіткова структура формується вузлами мережі, які найбільш близько розташовані до точок пересічення лінії сітки. Такі вузли мережі утворюють ланки маршрутизації верхнього рівня (*higher-tier*) і визначаються, як вузли розповсюдження (*dissemination nodes*). Вузли *СМ*, що знаходяться всередині осередків сітки, передають свої дані через найближчий вузол–розповсюджувач за допомогою ланок нижчого рівня (*lower-tier*). При побудові сітки використовуються

відомості про місцезнаходження вузлів мережі. Доставка запитів до джерел даних від центральних вузлів і відповідей у зворотньому напрямку відбувається у два етапи. Першочергово – усередині ланки від сусіда до сусіда, потім – по вузлам сітки.

Проактивні, реактивні або гібридні протоколи маршрутизації, що спрямовані на забезпечення якості управління ресурсами пакетних мереж *QoS (Quality of service)*, не можуть гарантувати повного задоволення всіх вимог гарантоздатності розширених СМ *Ad-hoc*-мереж, вузли яких можуть вільно переміщатись в межах мережі та здійснювати обмін із зовнішньою мережею через будь-який граничний маршрутизатор за обраним маршрутом з найкращими показниками гарантоздатності. Для управління ПД в таких самоорганізованих гетерогенних гарантоздатних СМ розроблені протоколи з використанням алгоритмів маршрутизації *AODV (Ad-hoc On Demand Distance Vector)*, *DSR (Dynamic Source Routing)*, *OLSR (Optimized Link State Routing protocol)*, *TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm)*, *HSLs (Hazy-Sighted Link State)*, які забезпечують функціонування СУ потоками даних в мережі.

*AODV* - дистанційно-векторний реактивний протокол динамічної маршрутизації для мобільних *ad-hoc* мереж *MANET (Mobile Ad hoc Network)* та інших сенсорних і бездротових мереж, що призначений для маршрутизації *unicast* і *multicast* пакетів, який встановлює маршрут до адресата за вимогою. На відміну від класичних, протокол маршрутизації є превентивними і забезпечує вибір шляхів маршрутизації потоків даних незалежно від використання синтезованих маршрутів ПД. Обчислення маршрутів здійснюється з використанням дистанційно-векторного алгоритму маршрутизації. Алгоритм виключає можливість виникнення проблеми нескінченного обчислення, що притаманна іншим протоколам, які використовують цей алгоритм маршрутизації, шляхом застосування порядкових номерів при оновленнях маршруту. Цей підхід раніше раніше був застосований в протоколі *DSDV*.

Протокол *DSR* здійснює динамічну маршрутизацію потоків даних від джерела до отримувача даних для mesh-мереж *MANET*. Так само, як і протокол *AODV*, він формує маршрут на вимогу за допомогою передачі *broadcast* запиту з використанням явної маршрутизації без прямого обліку таблиць маршрутизації на кожному проміжному вузлі *CM*.

Комбінований протокол *DSR-Flow* що поєднує в собі явну маршрутизацію і маршрутизацію за таблицями.

На базі *AODV* і *DSR* створено протокол маршрутизації *DYMO*, який функціонує в проактивному і реактивному режимах (визначення маршруту на вимогу), й призначений для застосування в децентралізованих мережах. Визначення маршруту за цим протоколом відбувається в два етапи: поширення повідомлення *RREQ* (*Route Request*) по мережі з відсортованим списом пройдених вузлів, що дозволяє зберегти відомості про маршрут до кожного з вузлів за якими пройшло повідомлення від джерела; при досягненні *RREQ* вузла-одержувача відправляється повідомлення *RREP* (*Routing Reply*), що позначає успішне проходження маршруту, і спрямоване назад до вузла-джерела згідно даних про маршрут повідомлення *RREQ*, доповнюючи таблицю маршрутизації відомостями про проходження вузлів мережі повідомлення *RREP*, доповнюючи таблиці маршрутизації вузлів аналогічно повідомленням *RREQ*. Таким чином, при досягненні *RREP* адреси призначення повний двосторонній маршрут стає доступним для всіх сполучних вузлів.

*OLSR* - активний протокол маршрутизації, що використовує обмін повідомленнями опитування і контролю для отримання інформації про топологію мережі. Вузли використовують цю інформацію для визначення наступного переходу на шляху маршрутизованого пакету даних. Протокол є одним з найбільш популярних протоколів, що використовуються для маршрутизації в бездротових мережах *MANET*. Алгоритм заснований на механізмі широкомовного розсилання запитів для оновлення інформації про

топологію мережі. Особливістю протоколу є те, що інформація, щодо якої здійснюється запит, відома кожному вузлу мережі.

За протоколом вузол мережі відправляє так зване *HELLO*-повідомлення. Зміни в топології мережі вузли виявляють за допомогою прийнятих *HELLO*-повідомлень від сусідніх вузлів. У цих повідомленнях міститься власна адреса вузла, що відправив дане повідомлення, а також перелік усіх його доступних сусідніх вузлів, їх адреси із зазначенням типу з'єднання (симетричне або асиметричне). Таким чином, вузол повідомляє сусідні вузли про доступні йому зв'язки в СМ. Кожен вузол зберігає у себе інформацію про свої одно- (*neighbors*) і двокрокові сусідні вузли (*two-hop neighbors*). Відправка *HELLO*-повідомлень проводиться із заданим інтервалом. У разі, якщо протягом певного часу вузол не приймає *HELLO*-повідомлення від сусіда, то зв'язок з ним вважається розірваним. Відповідна зміна вноситься в таблицю топології мережі абонента. Крім того в мережі вузли періодично передають ширококомвні *TC*-повідомлення (*topology control*). У цьому повідомленні міститься інформація про з'єднання абонента з однокроковими сусідніми вузлами. За отриманою інформацією з *TC* і *HELLO*-повідомлень, вузол будує граф, який описує уявлення про побудову мережі для даного вузла. За допомогою цього графа будується таблиця найкоротших шляхів передачі інформації до кожного вузла. Недоліком такого способу організації зв'язку є ситуація, коли двокроковий сусідній вузол може бути однокроковим для двох і більше однокрокових сусідніх вузлів передавального вузла. Таким чином, створиться ситуація, в якій двокроковий сусідній вузол буде отримувати одне і те ж *HELLO*-повідомлення кілька разів. Для вирішення таких ситуацій у *OLSR* передбачено метод оптимізації розсилки мережевої інформації *Multipoint Relay (MPR)*. По таблиці топології мережі вузол вибирає такі однокрокові сусідні вузли (*MPR\_Relay*) із симетричним зв'язком, які є однокроковими сусідніми вузлами хоча б до одного двокрокового сусіднього вузла, що дозволяє зменшити трафік ширококомвного розсилання.



*TORA* - алгоритм маршрутизації даних в бездротовій *Mesh*-мережі або мобільній одноранговій мережі, що призначений для досягнення високого ступеня масштабованості завдяки застосуванню неієрархічного алгоритму маршрутизації. Для зменшення кількості повідомлень управління алгоритм не використовує найкоротший маршрут передачі даних, Алгоритм визначає і підтримує прямий ациклічний граф для вузла-отримувача ПД. При цьому кожен вузол СМ має свій рівень, що визначається критерієм гарантоздатності, Обмеженням є те, що ніякі два вузла не можуть мати однаковий рівень. Принцип маршрутизації полягає в тому, що ПД при маршрутизації передається від вузла СМ з більш високим рівнем до вузла мережі з більш низьким рівнем. Таким чином, алгоритм підтримує безліч повністю впорядкованих рівнів, забезпечує петлеву багатопроменеву маршрутизацію, що унеможлиблює перехрещення ПД, а також локалізує повідомлення управління в малому наборі вузлів, які розташовані поблизу появи топологічної зміни СМ з метою актуалізації інформації щодо маршрутизації до сусідніх вузлів (*one hop*). Протокол виконує три основні функції: створення маршруту; обслуговування маршруту; видалення маршруту.

*HSLs* - гібридний протокол маршрутизації, що передбачає роздільну передачу даних і сигнальної інформації щодо оновлення маршруту і неефективних ланках маршруту передачі даних між вузлами СМ. При цьому кожен вузол СМ має повну інформацію про топологію СМ.

Синхронізація є важливою особливістю алгоритму *TORA*, оскільки метрика рівня залежить від логічного часу відмови функціонування каналу ПД.

Для підвищення ефективності управління алгоритм протоколу використовує оптимізаційну реактивну модель управління маршрутизацією. Сутність такої моделі полягає в тому, що оновлення маршруту передачі ПД таблиця маршрутизації вузла-відправника ПД оновлюється кожен раз при втраті зв'язку з вузлами маршруту або зміні їх місця знаходження, а також згідно показників таймеру. Таким чином, для зміни маршруту ПД достанім є

пониження значення показника рівня за метрикою, що фактично означає видалення маршруту.

Ефективність функціонування реактивних і проактивних алгоритмів маршрутизації ПД знижується при зростанні динаміки зміни топології СМ, що є характерною особливістю мереж спеціального призначення і рухомих мереж.

Застосування методів ІІІ на основі біонічних алгоритмів, що моделюють процеси самоорганізації і еволюції, дозволяє забезпечити оптимальне управління маршрутизацією ПД.

Метод роевого інтелекту розглядається в теорії ІІІ як метод оптимізації і описує колективну поведінку децентралізованої самоорганізованої СМ при оптимальній маршрутизації ІІІ. Застосування методу роевого інтелекту при рішенні *NP*-складних задач зазвичай розглядається в прив'язці до рішення прикладних задач вибору [59]. Разом з тим, алгоритм методу роевого інтелекту має певну обчислювальну надлишковість.

.Серед методів ІІІ для вирішення задачі управління маршрутизацією ПД в СМ також застосовується мурашиний алгоритм, який відноситься до методів природних обчислень (*Natural Computing*) і моделює поведінку мурашок [70], еволюційні алгоритми [142], евристичні алгоритми (методи пошуку в ширину, в глибину та евристичного пошуку) [48].

Алгоритм *ACO* (*ant colony optimization* - алгоритм оптимізації мурашиної колонії) - один з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених розв'язків задачі синтезу оптимального маршруту (задачі комівояжера) на граф-моделях. Суть алгоритму полягає в аналізі та використанні моделі поведінки [мурах](#), що шукають дороги від колонії до їжі. В основі алгоритму лежить поведінка мурашиної колонії — маркування вдалих доріг великою кількістю феромону. Робота починається з розміщення мурашок у вершинах графу. Далі починається рух мурашок — напрям визначається імовірнісним методом.

В алгоритмі *ACO* вважається, що навколишнє середовище для мурах представляє повнозв'язний неорієнтований граф. Кожне ребро має вагу, яка позначається як відстань між двома вершинами, що ним з'єднується. Граф є двохскерованим, тому мураха може подорожувати по грані в будь-якому напрямку.

Ймовірність включення ребра в маршрут окремої мурахи пропорційна до кількості феромонів на цьому ребрі, а кількість відкладеного феромону пропорційне до довжини маршруту. Чим коротший маршрут, тим більше феромону буде відкладено на його ребрах, отже, більша кількість мурах буде включати його в синтез власних маршрутів. Моделювання такого підходу, що використовує тільки додатній зворотний зв'язок, призводить до передчасної збіжності — більшість мурашок рухається по локально-оптимальному маршруту.

Уникнути цього можна моделюючи від'ємний зворотний зв'язок у вигляді випаровування феромону. Причому, якщо феромон випаровується швидко, то це призводить до втрати пам'яті колонії і забування хороших рішень, з іншого боку, збільшення часу випарів може призвести до отримання стійкого локального оптимального рішення.

Еволюційний протокол *CTP* є базовим для більшості сенсорних мереж, які реалізуються з використанням операційної системи *TinyOS*. СМ під управлінням протоколу *CTP* утворюють деревоподібну структуру, в якій шлюзи є корінням, а сенсорні вузли – листям. Для генерації маршрутів вузли використовують градієнт маршрутизації - *ETX*. Корінь має значення *ETX* рівне 0. Параметр *ETX* вузла розраховується як сума *ETX* його батьківського вузла і *ETX* зв'язку з ним. При виборі батьківського вузла перевага надається тому вузлу, де значення *ETX* менше. Незважаючи на те, що *CTP* є базовим протоколом в технології СМ, він має суттєві недоліки. Одним з суттєвих недоліків є те, що протокол не враховує завантаженість вузлів при ретрансляції пакетів даних. Таким чином, в СМ виникає постійне

перевантаження деяких вузлів, що призводить до їх швидкого виходу з ладу, що зменшує час функціонування мережі.

Евристичні алгоритми є алгоритмами пошуку (синтезу і вибору) маршруту ПД на основі дослідження граф-моделі СМ. Процес пошуку починається від вузла-відправника ПД і переходить до сусідніх вузлів доки не досягне вузла-отримувача, отримавши оптимальний маршрут згідно функції витрат. Евристичні алгоритми пошуку в ширину, в глибину та евристичного пошуку відрізняються формальним уявленням ієрархії розташування, правилами і відношеннями вузлів СМ. Алгоритми пошуку на граф-моделі СМ вирішують дві основні задачі: пошук маршруту між двома вузлами на графі, вирішення задачі про оптимальний найкоротший маршрут. Двома основними задачами пошуку шляху є:

Алгоритми пошуку у ширину і пошук у глибину спрямовані на вирішення задачі пошуку маршруту між двома вузлами на графі шляхом грубого перебору, ітераційно досліджуючи усі потенційні маршрути від вузла-відправника до вузла-отримувача ПД.

Евристичні алгоритми є одними з найкращих загальних алгоритмів, які працюють на графу без попередньої обробки. Проте, в практичних системах управління маршрутизацією ПД, кращі часові показники рішення задачі синтезу і вибору маршруту ПД можна досягти за допомогою алгоритмів, що попередньо обробляють граф-модель СМ для досягнення кращої продуктивності. Одним з таких алгоритмів є алгоритм скорочення ієрархій.

Розробка нових протоколів маршрутизації і створення систем управління маршрутизацією ПД в СМ здійснюється в напрямку досліджень алгоритмів і протоколів децентралізованого управління маршрутами ПД.

Розрахунок маршрутів і формування маршрутних таблиць на мережних вузлах СМ відбувається відповідно до реалізованого алгоритму методу управління маршрутизацією. Алгоритм маршрутизації реалізовує метод синтезу і вибору вихідної лінії маршруту ПД даного мережного вузла СМ на основі інформації, яка міститься в заголовку пакета (адреси відправника та

одержувача), а також інформації про завантаження цього вузла і мережі у цілому.

Алгоритм управління маршрутизацією ПД в СМ має вирішувати задачі:

- 1) раціональне використання каналів ПД;
- 2) використання альтернативних маршрутів ПД;
- 3) розподіл трафіку між альтернативними маршрутами ПД, виходячи з параметрів функціонування каналів і характеристик синтезованого маршруту ПД;
- 4) вибір маршрутів ПД відповідно значення функції ціни за умов забезпечення гарантоздатності і функціональної надійності;
- 5) врахування вимог до параметрів мережевої ПД;
- 6) мінімізації затримки і втрат пакетів даних при ПД в СМ.

ВТ СМ є новою технологією функціонування ІТС і КС. Ключовим елементом СМ ВТ є сенсори, які реєструють зміни певних параметрів. СМ ВТ має задовольняти таким вимогам, як: забезпечувати покриття заданої території; забезпечувати задані показники гарантоздатності; елементи СМ (сенсори) повинні самоорганізовуватися в гетерогенну або бездротову мережу передачі даних з необхідною швидкістю без втрат інформації; забезпечувати вимоги енергоефективності; швидко реагувати на події в зоні покриття; мати найменшу вартість. Досягнення цих вимог значною мірою залежить від протоколів взаємодії між сенсорами та алгоритмів маршрутизації, які вони підтримують.

## **1.2 Аналіз існуючих методів та моделей інтелектуального управління маршрутизацією в сервіс-орієнтованих сенсорних мережах**

Сучасним напрямком розвитку СУ маршрутизацією ПД в СМ є методи, моделі й алгоритми, які притаманні СІУ і обумовлюють появу новітніх технологій синтезу та прийняття рішень. Застосування методів, моделей і алгоритмів інтелектуального управління маршрутизацією ПД та іншими

ресурсами СМ, а також відповідними програмними і апаратними засобами, дозволяє: забезпечити збір і обробку необхідних обсягів службової інформації про стан СМ, включаючи топологію мережі; ідентифікувати стан конфліктуючої СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей та здійснювати його прогнозування з урахуванням динаміки зміни топології мережі та інших параметрів її функціонування; визначати мережеві цільові функції управління маршрутизацією ПД щодо оптимізації процесу обслуговування трафіку; визначати стратегії та способи досягнення цільових функцій функціонування мережі; координувати управлінські рішення, що приймаються СІУ вузлів на маршруті ПД за умов децентралізованого управління маршрутизацією; поповнювати бази знань вузлових систем управління новими правилами і відношеннями з використанням методів самонавчання.

Існуючі методи і алгоритми СІУ маршрутизацією ПД в СМ спроможні реалізовувати тільки окремі функції СУ щодо маршрутизації потоків даних, наприклад, мурашиний алгоритм і ройовий інтелект, алгоритми нечіткої логіки, тощо.

Розглянуті вище алгоритми в певній мірі вирішують окрему проблему управління маршрутизацією ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача за умов масштабованості, але не вирішують проблеми варіативності топології СМ, оптимального використання обчислювальних потужностей, врахування невизначеностей стану і обмежень параметрів, які визначають стан СМ, а також можливості забезпечити гарантоване управління маршрутизацією ПД в межах припустимих значень параметрів управління.

При розгляді підходів до розв'язання конфліктно-керованих процесів сучасна теорія управління пропонує методи, які дозволяють вирішувати задачу запобігання та розв'язання конфліктів з використанням математичного апарату методів ситуаційного управління (МСУ).

МСУ використовуються для вирішення складних задач дослідження операцій, що відносяться до задач упорядкування, і дозволяють замінити

детальний опис множини ситуацій, які складаються в процесі функціонування СМ ВТ за певними правилами, макроописами узагальнених ситуацій, кожна з яких з достатньою вірогідністю визначає одне з можливих рішень задачі управління маршрутизацією потоків даних і дозволяє істотно скоротити перебір варіантів та прискорити пошук оптимального рішення.

Дослідження за напрямком ситуаційного управління були започатковані В.Н.Пушкіним і Д.О.Поспеловым [86]. Ці дослідження є одним з нових напрямів створення систем прийняття рішень і управління об'єктом в умовах конфлікту. Засадними для ситуаційного управління конфліктно-керованими процесами є інформаційні системи на основі штучного інтелекту та знань, які дозволяють синтезувати стратегії, приймати рішення та здійснювати управління об'єктом на основі предметних знань за умов невизначеності похідних даних та обмежень.

Таким чином, під СІУ СМ слід розуміти множину взаємодіючих у процесі передачі інформації інтелектуальних елементів СУ, в основі яких знаходиться математичне (програмне) забезпечення, що здатне реалізувати функції інтелектуального управління мережею в умовах її параметричної та структурної невизначеності і обмежень шляхом збору і перетворення службової інформації про її стан у знання про цілі та параметри функціонування мобільних компонент (вузлів) для реалізації стратегій рішень щодо оптимальної маршрутизації ПД і забезпечення спроможності вузлових інтелектуальних компонент СУ до адаптації та самонавчання.

Ситуаційне управління на відміну від традиційного автоматичного управління характеризується рядом властивостей, що відрізняють його від управління, яке вивчається в традиційній теорії управління [84], а саме - наявністю елемента, що реалізує функції відтворення ШІ. Таким елементом є система формалізованого опису знань предметної області (формальна мова, правила, граматики, обмеження, машина виводу, тощо).

Застосування методів ситуаційного управління конфліктно-керованими процесами враховує систему обмежень при синтезі та виборі рішень, а саме: технологічних, які визначаються кінематичними та динамічними властивостями об'єктів, що є учасниками конфлікту [74], [75], [78], [91], [92]; обмеження на цілі і способи реалізації стратегій управління об'єктом, які обумовлені фактичним характером поточної ситуації конфліктно-керованого процесу [79], [82], [83], [84], [87], [89], [96], [98], [94].

Поточна ситуація управління може бути визначена як суб'єктивна оцінка конкретних характеристик ОУ, зовнішнього середовища (ситуаційних змінних) і зв'язків між ними, що мають місце на поточний момент часу, але залежних від стану середовища спостереження конфліктно-керованого процесу, в якому функціонує об'єкт управління в часі і просторі [98].

Топологія СМ ВТ, в яких мають місце конфліктно-керовані процеси, змінюється з часом, що потребує динамічної маршрутизації потоків даних. Існуючі проактивні і реактивні протоколи маршрутизації СМ ВТ мають децентралізований характер, підтримують *Multicast* і *QoS*, але мережі, що використовують існуючі протоколи маршрутизації, мають вади масштабування. Для проактивних протоколів ці вади проявляються в зростанні об'ємів службових оповіщень, а для реактивних – в значній обчислювальній складності. Зазначені алгоритми навіть за наявності функції контролю якості маршруту ПД використовують не повну інформацію про маршрут, а отже не є оптимальними.

За результатами аналізу методів та підходів до рішення задачі управління маршрутизацією потоків даних в конфліктуючих сервіс-орієнтованих СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей визначено проблеми, що притаманні методом методам управління ПД (рис. 1.1), а саме: управління мережею, управління доступом до ресурсів мереж, управління топологією мереж, управління інформаційними потоками, управління гарантоздатністю.



Застосування методів ШІ, а саме - методів ситуаційного управління дозволяє вирішити задачу маршрутизації ПД в конфліктуючих СМ ВТ як *NP*-складну за рахунок інтегрального врахування конфліктуотворюючих факторів та вибору гарантованого управління маршрутизацією, який забезпечує гарантоздатність мережі, як ОУ. В такому разі час розрахунку маршруту ПД конфліктуючої СМ ВТ матиме поліноміальну залежність від кількості ретрансляцій вузлами мережі (*hops*).

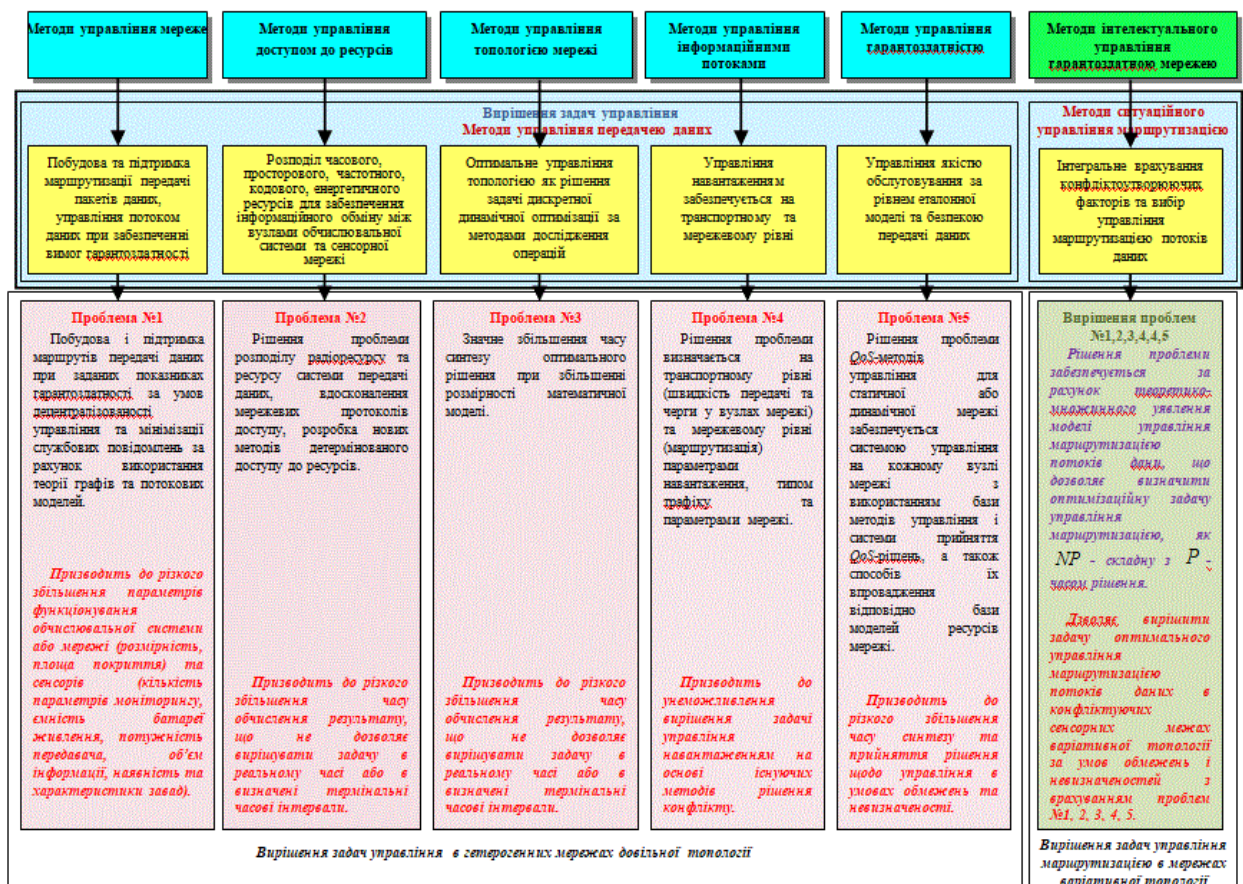


Рис. 1.1. Аналіз методів управління сервіс-орієнтованими сенсорними мережами

Загальна постановка проблеми дослідження визначена на рис. 1.2.

Синтез незалежних маршрутів передачі потоків даних в СМ ВТ на основі методів, які використовують декілька критеріїв дозволяє підвищити

показники гарантоздатності і збільшити пропускну спроможність мережі і ефективність функціонування СІУ.

Формальною основою опису процесів ситуаційного управління конфліктуючими СМ ВТ, є логіко-лінгвістичні моделі опису поточних ситуацій за станом ОУ, яким є ПД, що передається вузлом-відправником вузлу-отримувачу. При цьому будемо визначати для СІУ ОУ тільки маршрут ПД в СМ з врахування особливостей моделі OSI.

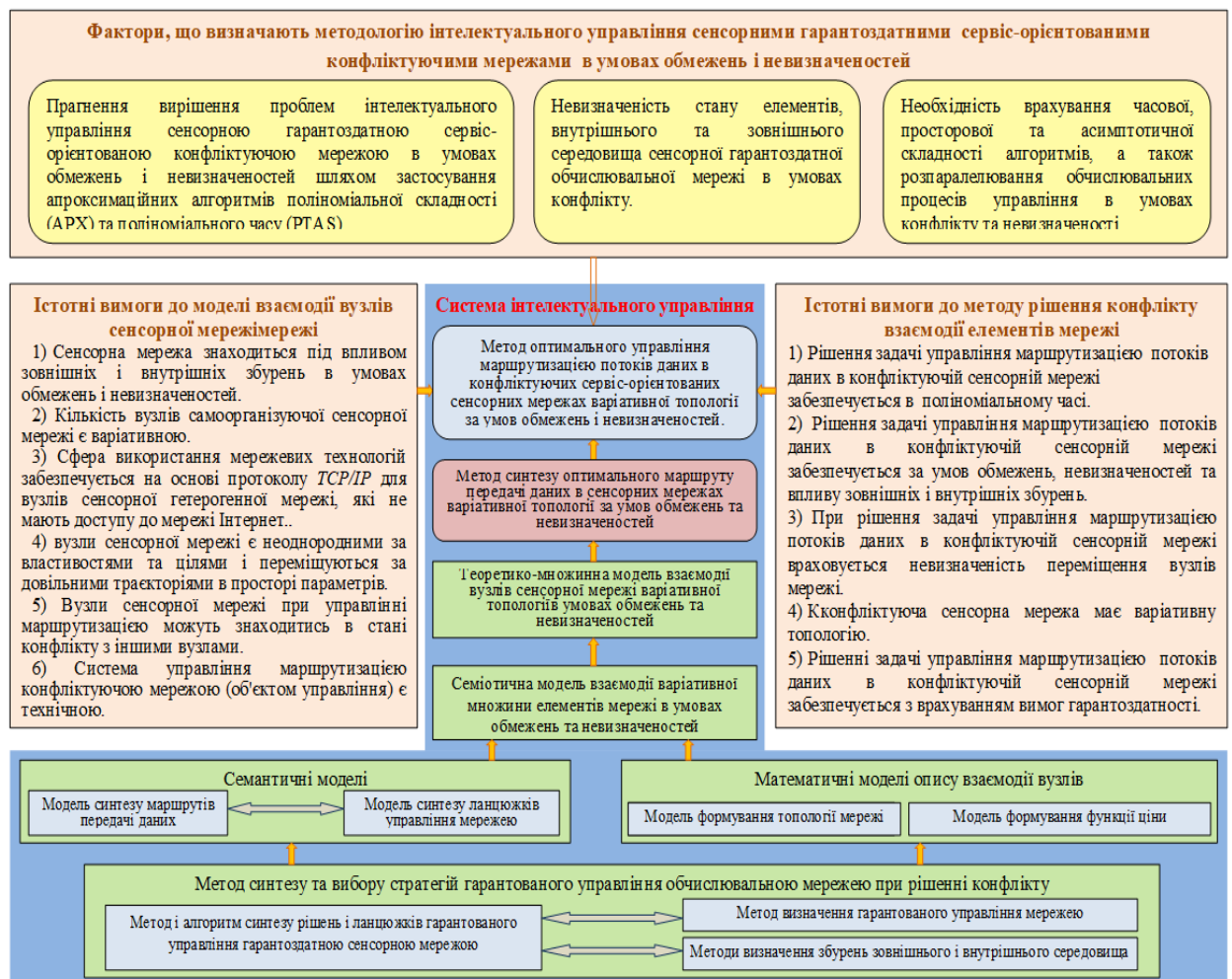


Рис. 1.2. Загальна постановка проблеми дослідження

В якості протоколу інкапсуляції, який дозволяє вміщувати не тільки дані, а й правила їх обробки і відомості щодо доступу до ресурсів вузла СМ, доцільним при побудові топології мережі на сигнальному рівні є застосування мережевого протоколу *ICMP* третього рівня моделі *OSI*.

Обмін даними в СМ доцільно здійснювати на основі архітектури *P2P*, в основі якої лежить принцип рівноправності автономних вузлів, що дозволяє створювати децентралізовані мережі ПД ВТ.

### **1.3 Система інтелектуального управління маршрутизацією в гарантоздатних сенсорних мережах**

СІУ СМ створюються з використанням методів і моделей інтелектуального управління вузловими та мережевими ресурсами на основі програмних і апаратних засобів, що становить сутність ситуаційного управління і дозволяє: забезпечити збір і обробку необхідних обсягів службової інформації про стан вузлів і мережі в цілому; ідентифікувати і прогнозувати стан топології мережі з урахуванням динаміки її зміни, а також параметрів її функціонування; визначати оптимальні маршрути ПД з врахуванням значення функції ціни рішення; визначати цільові функції управління щодо оптимізації процесу обслуговування трафіку при ПД; синтезувати і координувати функціонування СІУ вузлів на маршруті ПД з врахуванням віртуалізації простору функціонування мережі; поновлювати бази знань вузлових СІУ новими правилами і відношеннями з використанням формальних граматики і методів самонавчання. При цьому скінченна множина базових відношень і правил дозволяє автоматично побудувати семантичну мережу безпосередньо з вербального опису з використанням граматики, до якої входять базові правила і відношення. В такому разі поіменовані вузли мережі є об'єктами-поняттями.

В такому разі семантична мережа є відображенням опису поточного стану СМ, що дозволяє синтезувати маршрут ПД, як рішення задачі динамічної дискретної оптимізації з врахуванням значення функції ціни рішення відповідно до параметрів функціонування мережі.

Процес синтезу і вибору рішення щодо маршруту ПД в СМ має три етапи [81]: визначення маршрутів ПД від вузла-відправника до вузла-

отримувача, як мети; вибір найбільш прийняттого варіанту маршруту ПД, який веде до досягнення мети, відповідно значення функції ціни рішення з врахуванням параметрів функціонування мережі; реалізація маршруту ПД в СМ, як рішення (обраного варіанту дії).

Структури СІУ об'єктом-процесом, яким є маршрутизація ПД в СМ, в першу чергу пов'язана з побудовою моделі мережі, в якій мають бути визначені як традиційні елементи СІУ, так і моделі обробки знань, що використовуються вузлами СМ, через які проходить маршрут ПД. На відміну від традиційної СУ в СІУ усі інтелектуальні перетворення здійснюються підсистемами, які реалізують функції штучного інтелекту (синтезу рішень, асоціативної пам'яті, нечіткої логіки, семіотичних мереж, управління структурною динамікою, тощо).

Визначальними елементами СІУ вузла (рис. 1.3) є ІП і базова система управління. Взаємодіючи з зовнішнім середовищем СІУ отримує необхідну інформацію, формує мету, аналізує зовнішні впливи (фізичні і інформаційні), синтезує маршрут та управління, що забезпечує досягнення кінцевої термінальної множини (вузла-отримувача ПД).

Математична модель СІУ складається з трьох частин: ІП (система ситуаційного управління); ОУ; пристрої управління СУ (обчислювальне і мережеве середовище вузла СМ).

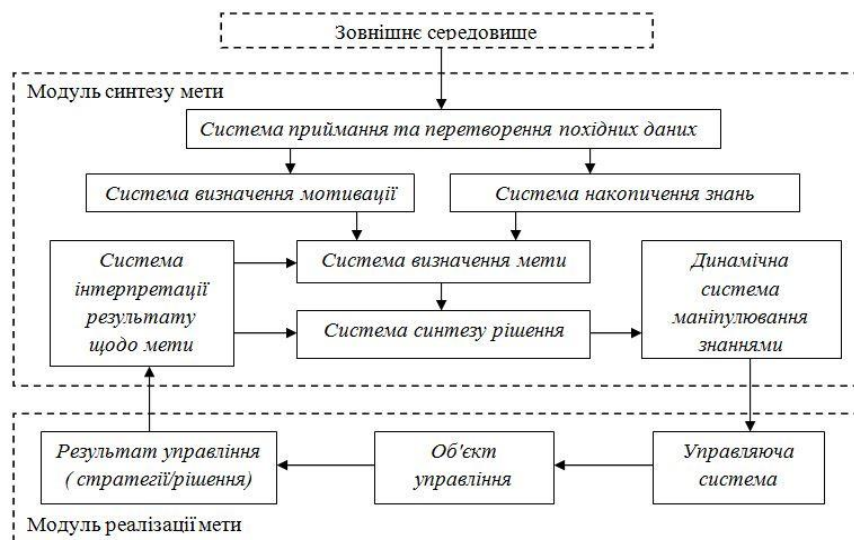


Рис. 1.3. Структурна схема СІУ вузла мережі

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

СІУ вузла СМ, функціональна схема якої наведена на рис. 1.4, забезпечує реалізацію підходів щодо синтезу та вибору рішень задачі управління маршрутизацією ПД, а саме підсистеми синтезу цілі та рішень.

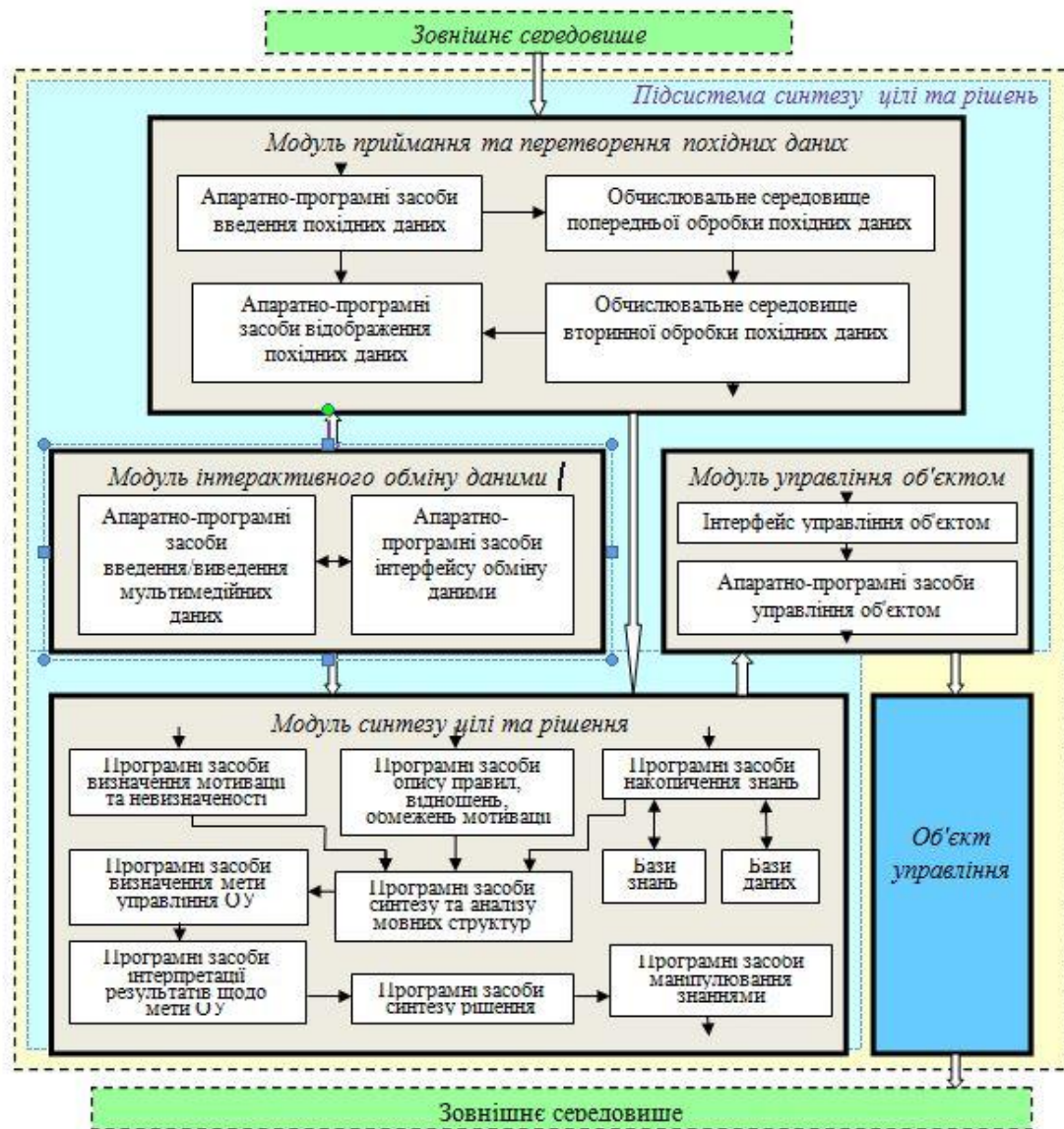


Рис. 1.4. Функціональна схема СІУ вузла сенсорної мережі

На функціональній схемі СІУ вузла СМ всі похідні дані про топологію і обмеження і невизначеності, параметри, що визначають функціональний стан вузлів мережі і характеристики зв'язків між вузлами, а також відомості про

вузол-отримувач надходять в модуль приймання та перетворення похідних даних, а саме до функціональних складових апаратно-програмних засобів введення похідних даних. Зазначені апаратно-програмні засоби включають до свого складу датчики параметрів стану зовнішнього середовища і датчики параметрів функціонування вузла-передавача ПД, апаратно-програмні засоби контролю за функціональним станом ОУ та систем СІУ, перетворювачі похідних даних та параметрів в цифрові (бінарні) значення.

Обчислювальне середовище попередньої обробки похідних даних модуля приймання та перетворення похідних даних фактично є апаратно-програмним засобом. ПЗ модуля призначені для розпізнавання та виділення вузлів СМ ВТ, супроводження вузлів мережі при наявності або відсутності даних про їх переміщення та зміну параметрів функціонального стану СМ, фільтрацію похідних сигналів (даних) та формування даних про топологію СМ ВТ.

Апаратно-програмні засоби відображення похідних даних модуля приймання та перетворення похідних даних здійснюють підготовку вихідних даних для відображення засобами модуля інтерактивного обміну даними. До складу апаратно-програмних компонент модуля входять засоби введення/виведення даних та інтерфейсу обміну даними, що призначені обміну похідною та проміжною інформацією при синтезі та виборі рішення, визначення термінальної множини вузлів-отримувачів ПД уточнення характеристик взаємодії конфлікуючих вузлів, обмежень, невизначеностей, а також інтерфейсу взаємодії з СІУ.

Модуль синтезу цілі та рішення СІУ СМ забезпечує синтез стратегій оптимального управління маршрутизацією ПД. Модуль вміщує програмні компоненти, які реалізують алгоритми синтезу стратегій управління маршрутизацією ПД. Похідні дані для функціонування модуля формують ПЗ визначення мотивації та невизначеності, а також ПЗ опису правил, відношень, обмежень, мотивації та накопичення знань.

Виходячи з похідних даних модуля інтерактивного обміну даними, ПЗ визначення мотивації у відповідності до заданого вузла-отримувача ПД, прогнозу переміщення вузлів СМ дозволяють розпізнати стан конфлікту взаємодії маршрутів ПД в мережі. Відповідно до моделі опису СМ ВТ розраховуються значення припустимого стану зв'язків між вузлами мережі, які є засадними при синтезі ланцюжків стратегій маршрутизації ПД та вибору оптимального рішення.

ПЗ опису правил, відношень, обмежень визначають засадні підходи щодо розрахунку інформаційних елементів маршруту ПД, а також синтезу та аналізу структури та змісту описів та ланцюжків синтезованих стратегій описів взаємодії вузлів СМ ВТ. Правила, відношення і обмеження мотивації в такому сенсі поділяються на дві основні групи: сталі і такі, що керуються даними. Останні є сутністю функціонування системи синтезу стратегій управління маршрутизацією ПД на основі використання мовних абстракцій в алгоритмах евристичного пошуку.

ПЗ накопичення знань дозволяють здійснювати синтез і вибір стратегій управління маршрутизацією ПД відповідно до топології СМ. Отримані в процесі функціонування СІУ знання в вигляді правил, відношень та словників дозволяють узагальнювати раніше отримані рішення СІУ маршрутизацією ПД в СМ.

ПЗ визначення мотивації та невизначеності, опису правил, відношень, обмежень мотивації та накопичення знань в автоматичному режимі формують повідомлення, які є похідними для ПЗ синтезу та аналізу мовних структур.

Визначення мети управління маршрутизацією здійснюють ПЗ синтезу ланцюжків ціледосягаючого управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ, як альтернативних рішень для конфліктуєчих маршрутів ПД з врахуванням прогнозу та динаміки переміщення вузлів СМ ВТ.

ПЗ інтерпретації результатів і синтезу рішення забезпечує синтез і вибір стратегій щодо управління маршрутизацією ПД в СМ за умов обмежень і невизначеностей.

#### **1.4 Формулювання і постановка наукової задачі дослідження**

Наукова задача, що є предметом дослідження, полягає у підвищенні ефективності функціонування системи управління маршрутизацією ПД в гарантоздатних сервіс-орієнтованих конфліктуючих СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей за рахунок розробки моделей і методів синтезу стратегій оптимального управління інформаційними об'єктами.

Під час проведення дослідження необхідно;

1) провести аналіз та узагальнити наукові і методологічні засади щодо існуючих підходів і методів вирішення управління маршрутизацією в конфліктуючих СМ ВТ;

2) розробити метод формального опису топології СМ ВТ у вигляді математичної моделі і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі за рахунок застосування теоретико-множинної моделі процесів взаємодії вузлів визначити оптимальні маршрути ПД згідно критерію гарантоздатності за умов обмежень і невизначеностей;

3) розробити модель функціонування розподіленої СІУ СМ ВТ;

4) розробити метод синтезу і вибору стратегій управління маршрутизацією ПД в СІУ СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей;

5) розробити алгоритм динамічного управління маршрутизацією ПД при передачі даних в конфліктуючих СМ ВТ, який дозволяє забезпечити гарантоздатність за умов обмежень і невизначеностей;

6) провести імітаційні експерименти з метою підтвердження теоретичних положень, а також дослідження показників гарантоздатності при управлінні маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ ВТ.



В дисертації запропоновано проводити дослідження систем рішення задач конфлікту на функціональному та структурному рівнях.

На функціональному рівні запропоновано розглядати динамічний процес рішення задачі управління маршрутизацією ПД і всі його характеристики безвідносно до структури управління на рівні опису самого процесу в цілому, не розділяючи його на компоненти.

При цьому на структурному рівні функціональні рішення розглядаються з точки зору їх реалізації в СІУ СМ ВТ.

На функціональному рівні запропоновано досліджувати функціональну модель управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ методами ситуаційного управління з використанням автоматних граматик.

В такому разі всі підсистеми ОУ можна описати з позицій єдиного математичного модельного уявлення, враховуючи їх основні характеристики, а саме - багатозв'язність, неопуклість, розривність характеристик, множинність, невизначеність, тощо.

При синтезі і виборі маршруту ПД задачу управління маршрутизацією доцільно вирішувати на структурному рівні за умови його динамічної змінюваності та наявності гарантованого управління. Виходячи з аналізу стану проблеми та методів і підходів до вирішення задачі управління маршрутизацією ПД в конфліктуючій СМ ВТ можна зробити висновки щодо постановки основних задач дослідження (рис. 1.5).

Для досягнення поставленої мети відповідно структурно-логічній схемі проведення дослідження з слід розв'язати такі завдання щодо управління маршрутизацією в СМ ВТ:

2) Проведення аналізу стану задачі та існуючих підходів до рішення задачі управління.

3) Обґрунтування необхідності розробки нових або удосконалення існуючих методів, моделей і процедур оптимального управління.

4) Удосконалення технології визначення параметрів функції ціни при виборі оптимальних рішень щодо управління.

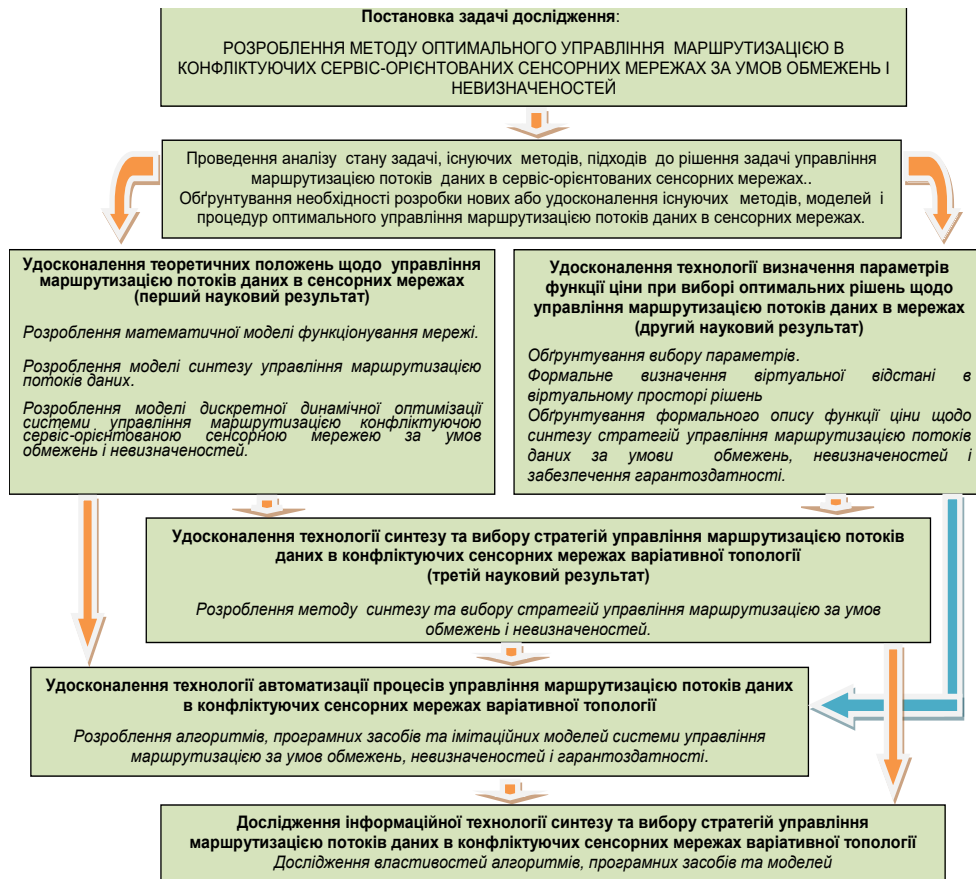


Рис. 1.5. Структурно-логічна схема проведення дослідження

- 5) Удосконалення технології синтезу та вибору стратегій управління.
- 6) Удосконалення технології автоматизації процесів управління.
- 7) Дослідження розроблених інформаційних технологій синтезу та вибору стратегій управління.

## Висновки до першого розділу

1. Проведено аналіз сучасного стану проблеми управління маршрутизацією в СМ, сформовано основні напрями проведення дослідження та зроблено висновок про те, що:

– застосування методів штучного інтелекту на основі біонічних алгоритмів, які моделюють процеси самоорганізації і еволюції, дозволяє забезпечити оптимальне управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ;

– застосування методів, моделей і алгоритмів інтелектуального управління маршрутизацією ПД та іншими ресурсами СМ, а також відповідними програмними і апаратними засобами, дозволяє: забезпечити збір і обробку необхідних обсягів службової інформації про стан СМ, включаючи топологію мережі; ідентифікувати стан конфліктуючої СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей та здійснювати його прогнозування з урахуванням динаміки зміни топології мережі та інших параметрів її функціонування; визначати мережеві цільові функції управління маршрутизацією ПД щодо оптимізації процесу обслуговування трафіку; визначати стратегії та способи досягнення цільових функцій; координувати управлінські рішення, що приймаються інтелектуальними СУ елементів (вузлів) на маршруті ПД або інформаційному напрямку в умовах децентралізованого управління СМ; поповнювати вузлові СУ новими правилами з використанням методів самонавчання;

– застосування методів штучного інтелекту, а саме методів ситуаційного управління, дозволяє вирішити задачу маршрутизації ПД в конфліктуючих СМ ВТ як *NP*-складну за рахунок інтегрального врахування конфліктоутворюючих факторів та вибору гарантованого управління маршрутизацією, який забезпечує гарантоздатність мережі, як об'єкта управління.

8) Запропоновано структуру СІУ об'єктом-процесом, яким є маршрутизація ПД в СМ, що пов'язана з побудовою моделі мережі, в якій мають бути визначені як традиційні елементи СІУ, так і моделі обробки знань, що використовуються вузлами СМ, через які проходить маршрут ПД.

9) Скінченна множина базових відношень і правил СІУ дозволяє автоматично будувати семантичну мережу, яка є відображенням опису поточного стану СМ, що дозволяє синтезувати маршрут ПД, як рішення задачі динамічної дискретної оптимізації, з врахуванням значення функції ціни рішення відповідно до параметрів функціонування мережі.

10) Сформульовано наукову задачу, що підлягає вирішенню, запропоновано загальну концепцію дисертаційного дослідження.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [87], [90], [95], [96].

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ ГАРАНТОЗДАТНИХ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

#### 2.1 Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфлітуючих сенсорних мережах варіативної топології

Концепції створення і використання інтелектуальних систем управління маршрутизацією ПД передбачає взаємодію СІУ вузла з навколишнім середовищем, наявність мотивації, можливість використання знань для синтезу мети, оцінки, прийняття рішення і синтезу стратегії управління, контроль і аналіз управляючих впливів на стан об'єкту управління, тощо. Згідно концепції в складі СІУ виділяються два основні блоки: синтезу мети і забезпечення процесу її досягнення (рис. 2.1).

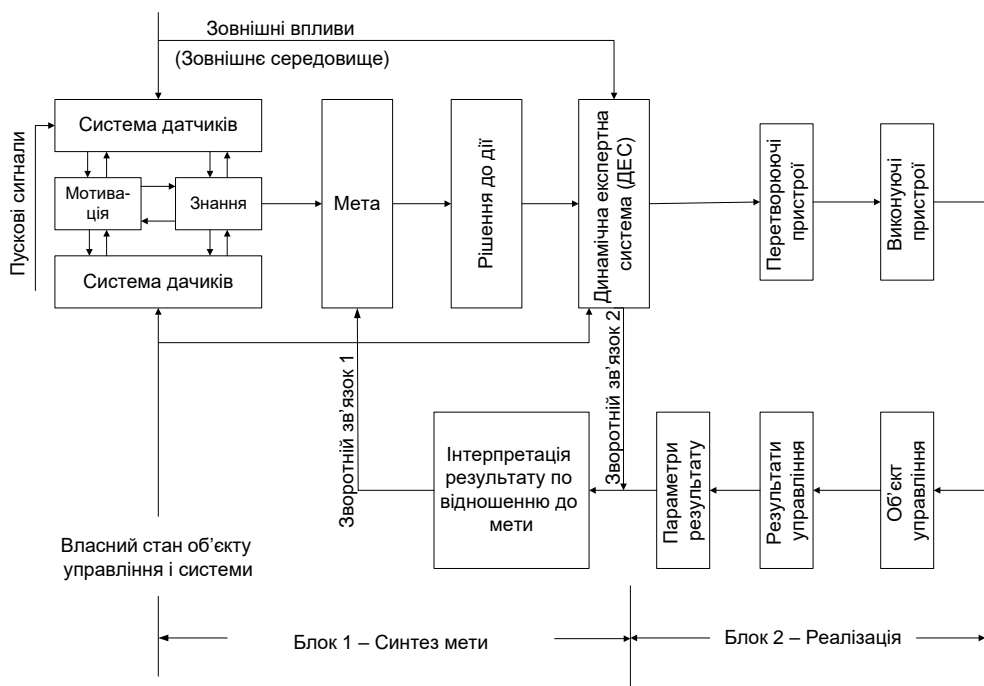


Рис. 2.1. Структурна схема системи інтелектуального управління

В якості концептуальної математичної моделі опису процесів, що відбуваються в інтелектуальній системі, можна прийняти співвідношення:

$$\begin{aligned} T \times X \times S &\xrightarrow{\alpha_1} M \times T; C \times T \times X \times S \xrightarrow{\alpha_2} R \times T; \\ C \times T \times X \times S &\xrightarrow{\alpha_3} R \times T; T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T; \\ T \times Y &= \{D \times T\} X \times T; T \times R \times Y \xrightarrow{\alpha_4} C \times T, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $T$  — 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;  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  і  $\alpha_4$  — інтелектуальні оператори перетворення, що використовують знання.

Рішення проблеми кількісного та якісного описів процесів в інтелектуальній системі пов'язане з необхідністю визначення операторів  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  і  $\alpha_4$ .

Виходячи з логічних і інтуїтивних аспектів обробки інформації, СИУ забезпечують виконання функцій: синтезу мети на підставі мотивації, відомостей про довколишнє середовище та стан системи; інтеграції з різноманітною складною інформацією, що має перехресні зв'язки і містить невизначеності, та отримання відповідного (наближеного) рішення в реальному часі; синтезу і застосування необхідної інформації та індуктивно синтезованих знань; синтез стратегій та управляючих впливів для досягнення мети.

При цьому автоматизація і інтеграція логічного та інтуїтивного підходів в технології обробки інформації СИУ забезпечує доповнення і заміну функцій особи, що приймає рішення (ОПР) в автоматизованих СУ.

Інтуїтивна обробка інформації застосовується в системах ШІ при вирішенні задач розпізнавання образів, навчанні, синтезі оптимальних рішень в умовах конфлікту, обмежень і невизначеностей з використанням

технологій паралельних і розподілених обчислень.

Інтуїтивна обробка інформації залишається ще слабо розвиненою областю інформаційних технологій. Звідси випливають нові проблеми в розробці і створенні інтелектуальних систем щодо підтримки напрямків інтелектуальної діяльності, накопичуючи в базі знань на основі обробки різні види інформації, що використовується при синтезі і прийнятті рішень та управління з метою досягнення прогнозованих результатів дії всієї системи.

## 2.2 Теоретико-множинна модель конфліктуючої сенсорної мережі

Визначимо теоретико-множинну модель взаємодії вузлів СМ ПД ВТ виходячи з того, що мережа має децентралізовану систему управління. В такому разі на відміну від структурної схеми, що була наведена на рис.1.3, структурна схема СІУ вузла мережі (рис. 2.2) не включає динамічну систему маніпулювання знаннями. В такому разі система синтезу рішень має додатковий модуль контролю і управління навантаженням вузла, як параметра, що визначає кількісну характеристику правил, що визначають мову опису взаємодії вузлів мережі.

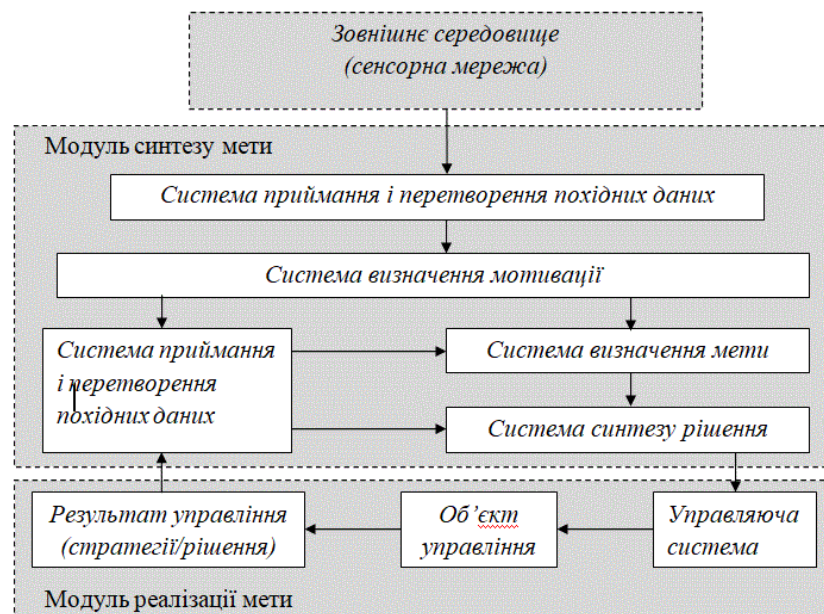


Рис 2.2. Структурна схема системи інтелектуального управління вузла мережі

В якості ІІ застосовується технологія ситуаційного управління маршрутизацією ПД від вузла відправника до вузла-отримувача відповідно міток маршруту, які визначаються згідно функції ціни на основі параметрів, що надходять з транзитних вузлів.

В такому разі математична модель СІУ складається з трьох частин: ІІ (система ситуаційного управління); ОУ, яким є маршрут ПД, що визначений мітками вузлів СМ; СУ вузлів СМ (обчислювальні, перетворюючі та виконавчі пристрої).

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

Визначимо математичну модель ІІ в операторній формі

$$Y = F(x, u, w, p, z), \quad (2.2)$$

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

$$\begin{cases} x = f(x, u, w, t) \\ y = C(x) \\ x(t_0) = x_0 \\ t \geq t_0 \end{cases}, \quad (2.3)$$

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

В такому разі 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 згідно співвідношень (2.2) і (2.3).

В разі побудови ІІ на основі методів ситуаційного управління використовуються семіотичні моделі, що ґрунтуються на формальній моделі [92], [98], яка задається четвіркою

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle, \quad (2.4)$$

де  $T$  - множина базових елементів;  $P$  - синтаксичні правила;  $A$  - система аксіом;  $\Pi$  - семантичні правила.

Крім семіотичної моделі  $M$  задається формальна модель, що інтерпретується,

$$L = \langle Z, D, H, V \rangle, \quad (2.5)$$

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.

В такому разі семіотична модель  $C(.)$  з врахуванням (2.4) і (2.5) визначається четвіркою

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi \rangle, \quad (2.6)$$

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

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.

Управління маршрутизацією ПД в СМ пов'язане з необхідністю синтезу і вибору стратегій управління в СІУ конфліктуючих вузлів мережі. Для успішного застосування методів ситуаційного управління при синтезі та прийнятті рішень в умовах конфлікту застосовується інструментарій методів теорії ігор [28], функціонального аналізу [64] та методи ІІ [98]. Найбільш



загальною моделлю опису процесів взаємодії конфліктуючих сторін є модель динамічної системи інтелектуального управління [89].

При ігровому підході для опису конфлікту вводяться поняття [125]:

- коаліцій дії  $R_D$ , яка об'єднує множину учасників конфлікту за їх діями;
- коаліцій інтересів  $R_I$  яка об'єднує учасників конфлікту за інтересами (спільністю мети);
- стратегій, що характеризують рішення коаліцій  $K$  (дій  $R_D$  і коаліцій інтересів  $R_I$ , які залежно від типу гри можуть мати одних і тих же учасників або утворюватись з різних учасників);
- стосунків переваги  $G$ , як абстрактного бінарного відношення на множині всіх стратегій (часто стосунки переваги задаються функцією виграшу  $W_K$  і тоді коаліція  $K$ , якщо вона віддає перевагу ситуації  $x$  до ситуації  $y$ , визначають через відношення переваги у вигляді  $xG_K y$  або при використанні функції виграшу за умови визначення  $W_K(x)$  і  $W_K(y)$  у вигляді  $xW_K y$ ).

Тоді формальний опис конфлікту полягає в завданні системи [109, [110]

$$\Gamma = \langle R_D, S_{R_D}, S, R_I, G_{R_I} \rangle, \quad (2.7)$$

де  $R_D$  - множина, яка об'єднує учасників конфлікту за їх діями;  $S_{R_D}$  - множина стратегій коаліції дій;  $S$  - множина стратегій поведінки (дій) учасників;  $R_I$  - множина, яка об'єднує учасників конфлікту за інтересами (цілями);  $G_{R_I}$  - множина відношень коаліції інтересів. Тобто множина  $\Gamma$  згідно співвідношенню (2.7) є формальним описом конфлікту в залежності від його змісту.

Динамічна системи управління (рис.2.5) складаються з об'єкту, що характеризується множиною станів, регулятора, під яким розуміється математична модель, що включає елемент, який забезпечує оцінку стану об'єкту, і елементу, що формує управління.

Для врахування факторів взаємодії ОУ з зовнішнім середовищем та вузлами СМ проводиться аналіз їх взаємодії [110]. При цьому чинники зовнішнього середовища і умови взаємодії конфліктуючих вузлів СМ при управлінні маршрутизацією ПД розглядаються з позицій динамічної системи дискретного управління (рис. 2.3).

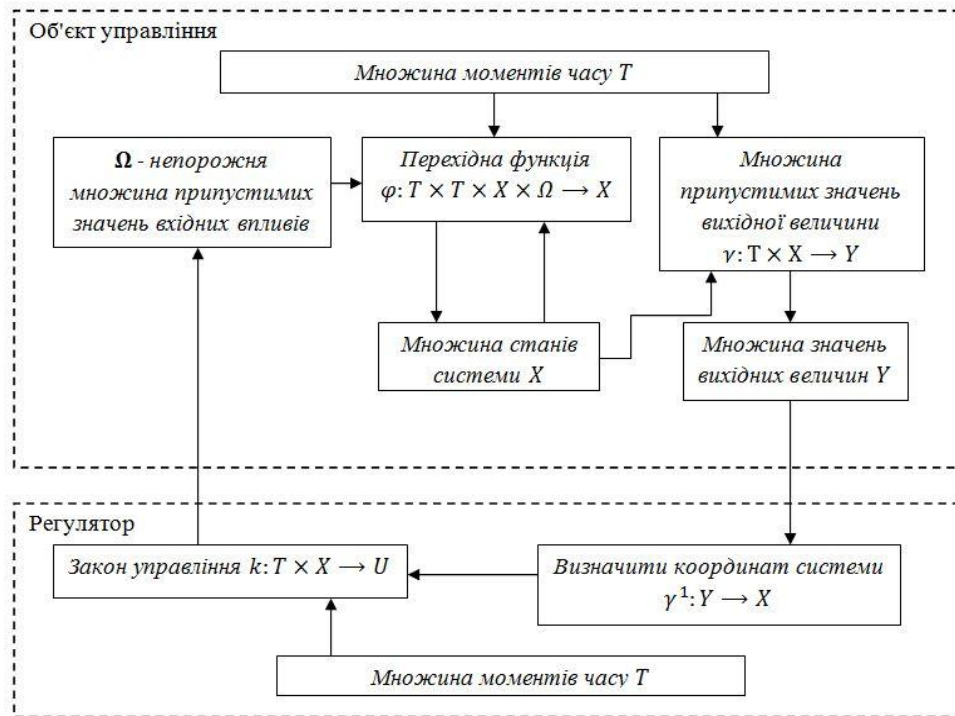


Рис. 2.3. Структурно-логічна схема інтелектуального перетворювача вузла мережі

Згідно структурно-логічної схеми для заданої множини моментів часу  $T$  та множини станів системи  $X$  множина вхідних впливів  $U$  є непорожньою множиною їх припустимих значень.

Виходячи з того, що непушта множина припустимих значень вхідних впливів  $\Omega = \{\omega: T \rightarrow U\}$ , множина значень вихідних величин  $Y$  та множина їх припустимих значень зв'язані співвідношенням  $Y = \{\gamma: T \times X \rightarrow Y\}$ . Множина моментів часу  $T$  є деякою упорядкованою підмножиною множини дійсних чисел (напрямок часу). Для множини моментів часу  $T$  існує перехідна функція  $\Phi = \{\varphi: T \times T \times X \times \Omega \rightarrow X\}$ , де стан системи визначається

як функція часу  $x(t) = \varphi[t, t_0, x(t_0), \omega] \in X$ , задане вхідне відображення  $Y$  визначається як  $Y = \{\gamma: T \times X \rightarrow Y\}$ .

В такому разі стан системи  $x(t)$  в момент часу  $t$  або пари елементів множини  $T \times X$  буде являти подію (фазу) динамічної системи. Множина  $T \times X$  є простором подій (фазовим простором, простором станів). Управляючі дії переводять систему з одного стану в деякий інший. При переводі системи з одного стану в інший за допомогою керуючих дій остання знаходиться в стані руху, описуючи в просторі стану траєкторію, а динамічна система являє собою об'єкт управління (рис. 1.6).

Законом управління є відображення  $k: T \times X \rightarrow U$ , де значення  $u(t) = k[t, x(t)]$  належить множині  $U$ . Для реалізації управління необхідно мати значення змінних стану системи  $x(t)$ , що потребує здійснення операції зворотнього відображення  $\gamma^{-1}: Y \rightarrow X$ , що дозволяє визначити координати системи з умови  $x(t) = \gamma^{-1}[y(t)]$ . Для оцінки стану системи оцінюється точність визначення  $x(t)$ , тобто оцінюється стан  $x_0(t)$ .

Для синтезу і вибору рішення щодо управління маршрутизацією ПД в СМ здійснюється об'єднання СІУ вузлів в динамічну СУ з метою розпаралелювання обчислювальних процедур ПП щодо синтезу оптимального в сенсі функції ціни маршруту ПД.

Стратегія управління взаємодією конфліктуючих вузлів СМ залежить від ресурсів СІУ вузлів СМ та факторів, які забезпечують функціональність вузлів мережі, а також від зовнішніх впливів і значення параметрів, що визначають функціональний стан СМ ПД ВТ. Тим самим умови взаємодії конфліктуючих вузлів породжують визначені та невизначені фактори, які впливають на стратегію управління маршрутизацією ПД в СМ, а саме на синтез та вибір керуючих впливів на ОУ, які здійснюються інтелектуальною системою.

Математична модель синтезу та прийняття рішень щодо управління маршрутизацією в СМ ПД формується з урахуванням всіх чинників і наявної

інформації про них [78], [84], [98]. Спрощена модель прийняття рішення в цьому випадку може бути описана у вигляді

$$D_0 = \langle Y, G, U, J, \Omega \rangle, \quad (2.8)$$

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);  $\Omega$  - вся інша інформація про рішення, що приймається, у формалізованому виді відомості про конфлікт (переваги конфліктуючих вузлів СМ, тощо).

Застосування моделі (2.8) в умовах взаємодії конфліктуючих 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  $Y, G, U, L, \Omega$  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 ІП 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  $K$  [26], [32], [49], [75], [79], [83], [89], [91], [98] є правило, введене на основі певної концепції раціональної поведінки інтелектуальної системи (придатності, оптимізації, адаптивності, витрат ресурсів, гарантоздатності, безпеки, тощо).

В такому разі рішення задачі взаємодії конфлікуючих вузлів мережі доцільно розглядати в постановці задачі дискретної оптимізації [80] для множини усіх значень цільової функції

$$j(x) = \min \{ j(x) : x \in X \}, \quad (2.9)$$

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

$$j(x^*) = \min \{ j(x) : x \in X \}. \quad (2.10)$$

Тоді дискретний процес для рівняння стану можна уявити у вигляді

$$y_t = W(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t), t = 1, 2, \dots, T, \quad (2.11)$$

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

$$\sum_{t=1}^T j_t(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t) + j_0(y_T) \rightarrow \min, \quad (2.12)$$

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:

$$\left\{ \begin{array}{l} y_t \in Y_t : y_t = W_t(y_{t-1}, x_t), x_t \in X_t, (y_{t-1}, x_t) \in Z_t, y_{t-1} \in \overset{\circ}{Y}_{t-1}, \\ t = 1, 2, \dots, T, Y_0 = \{y^0\} \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

Виходячи з співвідношень (2.9) – (2.13), алгоритм синтезу і вибору стратегій управління маршрутизацією ПД в СМ, як задачі дискретної динамічної оптимізації, можна представити певним алгоритмом.

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  $\{t, t+1, \dots, T\}$ .

### 2.3 Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах

Визначимо синтаксичні правила  $P$  моделі СІУ, що визначена співвідношенням (2.4) і проведемо його арифметизацію за Геделем [34], [113]. В такому разі формальна модель  $M$  мережі вміщує синтаксичні правила  $P$ , що представляють кінцево-членні послідовності вихідних символів. В такому разі вираз мови і кінцеві послідовності таких виразів закодувати за допомогою чисел, що визначають вузли мережі, а їх послідовність визначає ламану лінію маршруту ПД на множині цілих додатніх чисел, що дозволяє відобразити усі вирази в моделі  $M$  відобразити на множину натуральних чисел, як правила і відношення синтаксичних правил  $P$ . Таким чином, згідно метатеорії, можна застосувати змістовну арифметику для опису синтаксичних властивостей СІУ СМ ПД.

Відповідно способів геделізації виразів і їх послідовностей визначимо дві нумерації: нумерацію формальних виразів і нумерацію кінцевих послідовностей формальних виразів.

Виходячи з фундаментального індуктивного визначення введемо вихідні об'єкти розгляду – формальні об'єкти, якими є елементи синтезованого маршруту ПД:

- 1)  $D(1)$  - формальний об'єкт;
- 2) формальні об'єкти  $a_i \forall i = \{1, 2, 3, \dots\}$ ,  $v_n \forall n = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;
- 3) якщо  $\alpha$  і  $\beta$  суть формальні об'єкти, то  $(\alpha + \beta)$ ,  $(\alpha \times \beta)$ ,  $(\alpha \approx \beta)$ ,  $(\alpha \rightarrow \beta)$ ,  $(E\alpha)\beta$  суть формальні об'єкти.

Введеним формальних об'єктам, якими є вузли СМ, однозначним чином співпоставимо натуральні числа – геделівські номери цих формальних об'єктів. Кожному вихідному об'єкту співставляється число, а кожній породжуючій операції арифметична операція, яка по геделівським номерам вихідних об'єктів дає геделівський номер породжуємого об'єкту, а саме:

- геделівським номером об'єкту 1 буде 1;
- геделівським номером об'єкту виду  $a_k$  буде  $4k+1$ ;
- геделівським номером об'єкту виду  $v_k$  буде  $4k$ .

Якщо  $a$  є геделівський номер об'єкту  $\alpha$ , а  $b$  – геделівський номер об'єкту  $\beta$ , то геделівський номер об'єкту

$$(\alpha + \beta) \text{ буде } 4 \cdot J_3(1, a, b) + 2,$$

$$(\alpha \times \beta) \text{ буде } 4 \cdot J_3(2, a, b) + 2,$$

$$(\alpha \approx \beta) \text{ буде } 4 \cdot J_3(3, a, b) + 3,$$

$$(\alpha \rightarrow \beta) \text{ буде } 4 \cdot J_3(4, a, b) + 3,$$

$$(Ea)\beta \text{ буде } 4 \cdot J_3(5, a, b) + 3,$$

де  $J_3$  є числова функція, яка нумерує трійки чисел:

$$J_3(a, b, c) = J_2(a, J_2(b, c)), \text{ де } J_2(k, l) = \frac{1}{2}(k+l-1) \times (k+l-2) + l.$$

Запропонований спосіб геделізації дозволяє кожному типу формальних об'єктів однозначно співпоставляти класи чисел – геделівських номерів цих об'єктів. В даному випадку для СМ ПД формальним об'єктам типу  $v_n$  співставляється клас чисел, які діляться без остачі на 4.

На множині формальних об'єктів мережі рекурсивно визначимо синтаксичні властивості і функції, що задані на цих об'єктах мережі.

В такому разі змінна 1-го виду (*квантифікуюча змінна*) -  $\Pi_1(a) : \Pi_1(a) \rightarrow \exists_{n < a} (a = a_n)$ ,

Змінна 2-го виду (*вільна змінна*) -  $\Pi_2(a) : \Pi_2(a) \rightarrow \exists_{n < a} (a = v_n)$ ,

В такому разі числовий предикат «бути змінною» ( $\Pi(\alpha)$ ) визначається, як:  $\Pi(a) \equiv \Pi_1(a) \vee \Pi_2(a)$ .

Кожному синтаксичному предикату, визначеному на множині формальних об'єктів, легко співпоставити у повній мірі відповідний числовий предикат, який в повній мірі відповідає синтаксичному предикату,



що виконується на числах, які є геделівськими номерами формальних об'єктів, на яких виконується синтаксичний предикат.

Для введених вище синтаксичних предикатів вкажемо в повній мірі відповідні їм числові предикати:

$$P_1(a) \text{ відповідає } P_1(a) \equiv (rm(a, 4) = 0),$$

$$P_2(a) \text{ відповідає } P_2(a) \equiv (rm(a, 4) = 1),$$

$$P(a) \text{ відповідає } P(a) \equiv P_1(a) \vee P_2(a)$$

де  $rm(a, b)$  – примітивно рекурсивна функція – «остача від ділення  $a$  на  $b$ ».

В такому разі рекурсивне поняття терма  $T(a)$  можна визначити у вигляді:

$$T(a) \left\{ \begin{array}{l} a = D_1 \\ P(a), \\ a = \beta + \gamma, \\ a = \beta \times \gamma, \end{array} \right.$$

З іншого боку визначення терма можна представити у вигляді явного з обмеженими кванторами:

$$T(a) = (a = D_1) \vee P(a) \vee (\exists \beta)_a (\exists \gamma)_a ((T(\beta) \& T(\gamma) \& (a = \beta + \gamma)) \vee (\exists \beta)_a (\exists \gamma)_a (T(\beta) \& T(\gamma) \& (a = \beta \times \gamma)))$$

В повній мірі відповідним числовим предикатом для предиката «бути термом» буде предикат  $T(a)$ , визначений наступним чином:

$$T(a) = \left\{ \begin{array}{l} a = 1 \\ a \in P, \\ a = 4 \times J_3(1, b, c) + 2, \text{ де } T(b) \& T(c), \\ a = 4 \times J_3(2, b, c) + 2, \text{ де } T(b) \& T(c), \end{array} \right.$$

Таким чином, терми і формули на відміну від квазітермів і квазіформул не містять вільних входжень квантифікуючих змінних, тобто змінних вигляду  $v_k$ .

Слід зазначити, що синтаксичний предикат, яким для СМ є функція, яка визначає кількісне зачення елементу маршруту ПД, є примітивно рекурсивним, і в повній мірі визначає відповідний йому числовий предикат.

Таким чином, усі синтаксичні поняття і усі відповідні їм числові предикати і функції є рекурсивними або рекурсивно переобчисленими і можуть бути описані в СІУ маршрутизацією ПД в СМ, яка містить рекурсивну арифметику.

## **2.4 Визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих сенсорних мереж**

Управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ є одним з найважливіших завдань організації функціонування мереж. Синтез і вибір рішень щодо стратегій управління маршрутизацією і вибору маршруту ПД в мережі здійснюється у відповідності до значення функції ціни для кожного елемента мережі, що є гегелівським об'єктом, відповідно метрики мережі.

Незалежно від обраної метрики мережі метою управління маршрутизацією в СМ є визначення оптимального шляху на графі, якій відображає топологію СМ.

При моделюванні архітектури і топології СМ управління маршрутизацією в мережі за умов мінімального залучення мережевих ресурсів є ключовою. Процеси в СМ забезпечуються в припущенні гарантованого знаходження маршруту вузла джерела до вузла-отримувача ПД при резервуванні частки пропускної спроможності каналів.

В такому разі можна застосувати модель СМ з заявками на послідовну в часі передачу ПД між вузлами мережі з використанням оригінального евристичного алгоритму інтегрального усікання варіантів [85], [89] за умов забезпечення найбільшого сумарного об'єму трафіку і мінімізації ресурсів мережі, що забезпечують пропускну спроможність ПД.

Гарантоздатність СМ ПД забезпечується алгоритмом маршрутизації та

технологічно імплементованими в ПЗ управління маршрутизацією засобами забезпечення конфіденційності і цілісності при обміні даними – засобами криптографічними ахисту інформації (КЗІ), що за функціональним профілем захищеності забезпечують рівень гарантій безпеки мережі [95], [96], [99], [102].

За наявності проактивної технології антивірусного захисту інформації в СМ ВТ ПД і системи захисту інформації (СЗІ) в складі ПЗ вузлів мережі та КЗІ забезпечується гарантоздатність СІУ управління маршрутизацією мережі.

Метод управління маршрутизацією ПД в мережі забезпечує стійкість функціонування СМ в разі нестабільного функціонування мережевого інтерфейсу, відмов обладнання, а також зовнішніх і внутрішніх впливів на функціональний стан мережі.

Математичну модель СМ ПД може бути представлена зв'язковим графом

$$G = (V, E), \quad (2.14)$$

де  $V$  - множина вузлів графа, що представляє СМ,  $E$  - множина ребер графа, що з'єднує вузли і відображає можливий маршрут ПД.

Кожному ребру  $e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$  графа  $G$  поставлено у відповідність невід'ємне число  $c_{ij} \geq 0$ , що визначає пропускну здатність ребра, як функція ціни при передачі ПД. Введемо таке поняття ПД  $f$  між вершинами  $s$  і  $t$ , яка є додатньою функцією на ребрах графа  $G$   $f_{ij} \geq 0$  за умови того, що ПД не накопичується в проміжних вузлах мережі між вузлами  $s$  і  $t$ , тобто

$$\sum_k f_{ki} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s, t\} \quad (2.15)$$

і не перевищує пропускну спроможність каналу ПД, а саме  $f_{ij} \leq c_{ij}$  і  $e_{ij} \in E$ .

Залишкова пропускну здатність ребра  $e_{ij}$  визначається як різниця пропускну здатності ребра і ПД по ньому, тобто  $c_{ij}^f = c_{ij} - f_{ij}$ . В такому разі з графу мережі  $G$  отримуємо залишкову мережу  $G' = (V, E^f)$ , в якій залишаються ребра з додатною залишковою пропускну спроможністю.

Виникненні ПД в СМ визначається як поява заявки в мережі між парою

вершин з множини  $\{\{s_1, t_1\}, \dots, \{s_n, t_n\}\}$  полюсів. Час життя заявок обмежений обслуговуванням заявок за умови встановленого маршруту ПД між полюсами. Тим самим забезпечується вивільнення пропускної спроможності ребер мережі. Звичайно - якщо заявка була задоволена, і маршрут між полюсами був прокладений, то після закінчення часу життя заявка скидається, звільняючи відповідну пропускну здатність ребер мережі. Множина ПД між кожною парою полюсів через вузол є продуктом  $\{s_m, t_m\}$  називається продуктом  $v_m$ .

В якості обмеженого ресурсу СМ, що визначає функцію ціни, обрано пропускну спроможність каналів зв'язку, які визначають ребра (дуги) моделі мережі  $G$ .

Множина ребер, видалення яких розриває мережу на кілька незв'язних між собою частин таким чином, що полюса знаходяться в різних частинах мережі, визначає множину  $\mathfrak{R}_m$  - множину мінімальних розрізів кожного продукту  $v_m$  та пропускну спроможність цих розрізів -  $R_m$ . В такому разі вирішення задачі мережі дискретної динамічної оптимізації при взаємодії конфліктуючих вузлів СМ ПД з використанням евристичного алгоритму інтегрального усікання варіантів зводиться до пошуку маршруту ПД найменшої вартості, причому значення вартості присвоюються ребрам мережі в залежності від кількості мінімальних розрізів продукту і пропускної спроможності мережі, а також кількості елементів (*hops*) синтезованого маршруту.

Залежно від способу визначення вартості дуг моделі мережі, для визначення функції ціни застосовується субоптимальний мінімально-розрізний алгоритм, що орієнтований на синтез і вибір маршруту ПД з застосуванням ребер граф-моделі СМ, які мають найбільший резерв пропускної спроможності каналів і мінімальну кількість елементів синтезованого маршруту. Такий алгоритм забезпечує обслуговування найбільшої кількості заявок.

## 2.5 Математична модель управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах

Синтез і вибір рішення СІУ за умов обмежень, невизначеностей і забезпечення гарантоздатності здійснюється на основі певної альтернативи, отриманої на основі аналізу об'єкта управління і його функціонального стану.

На підставі відомостей про навколишнє середовище і свій стан СМ при наявності пам'яті і мотивації синтезується мета, яка поряд з іншими даними сприймається ІІ вузла СІУ.

Робота математичної моделі синтезу і вибору управління маршрутизацією ПД в базується на теоретичних передумовах.

Визначимо множину критеріїв або ситуацій, що можуть бути визначені  $n$ -мірним вектором, компоненти якого  $h_i \in R^+, \forall i = \overline{1, n}$  описують спосіб, якість або передумову використання того чи іншого методу управління за параметром, що належить скінченній впорядкованій множині можливих значень  $n$ . При цьому створюється взаємозв'язок, що визначається множинним відношенням

$$(h_1, h_2, \dots, h_n) \in H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n. \quad (2.16)$$

Набору векторів (2.16) приписують значення  $y_j, j = \overline{1, k}, k \leq n$ , що встановлює відповідність певної множини наборів передумов  $h_i$  і стратегії управління  $y_j$ .

Таким чином може бути обрана функція, що визначає множину стратегій управління маршрутизацією

$$\left[ \begin{array}{l} f : H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n \rightarrow Y \\ Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\} \forall y_j \in [0, \dots, 1], j = \overline{1, k}, k \leq n \end{array} \right. \quad (2.17)$$

В такому разі синтез і вибір стратегії управління маршрутизацією ПД формально має вигляд таблиці, як зазначається наборами маршрутів

$$((h_1, h_2, \dots, h_n), y_j), \forall j = \overline{1, k}. \quad (2.18)$$

Враховуючи те, що в загальному випадку таблиця, яка визначена співвідношеннями (2.17) і (2.18) має великий розмір множини стратегій для вибору маршруту ПД в СМ ВТ можна визначити геделівськими парами, як ребрами граф-моделі СМ, що відповідає формальній моделі (2.4)

$$\left( (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n), y_j \right), \forall j = 1, \dots, k, \quad (2.19)$$

де  $\sigma_i, i = \overline{1, \dots, n}$  - підмножина  $h_i$ ,  $(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)$  - стратегії, які визначають маршрути ПД.

Таким чином, в повній системі завдання вибору (2.19) згідно критерію (2.14) обирається рішення щодо маршруту ПД в мережі.

Відповідно до прийнятого рішення виробляється управління щодо послідовності взаємодії вузлів СМ на маршруті від вузла-відправника. По закінченню ПД вузол-відправник до вузла-отримувача ПД. По завершенню ПД вузол-відправник завершує обслуговування заявки на ПД.

Виходячи з топологічності математичного простору функціонування СМ ВТ, синтезуємо теоретико-множинну модель синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією ПД при взаємодії конфліктуючих вузлів мережі в умовах обмежень і невизначеностей. В такому разі задачу синтезу управління маршрутизацією можна сформулювати як задачу розв'язання конфлікту взаємодії вузлів мережі у відповідності до принципу оптимальності та правила зупинки, як задачу динамічної дискретної оптимізації.

Розглянемо модель  $M$  взаємодії елементів СМ ВТ за умови замкненості простору функціонування СМ ВТ  $Q$  з границею  $\Gamma_{zp}(Q)$ . При цьому варіативність топології мережі пов'язана не тільки з кількістю активних вузлів СМ, а і з гетерогонністю мережі, що обумовлено можливістю виходу в сегмент мереж *Internet* і *Intranet*, використовуючи маршрутизацію за моделлю *OSI*.

В такому разі модель  $M$  взаємодії вузлів СМ в топологічній схемі, яка відображає наявність ребер графу мережі (2.14)

$$M = \bigcup_{i=1}^N M^i, \quad (2.20)$$

де  $N$  - кількість вузлів СМ;  $M^i$  - часткова модель  $i$ -го вузла СМ, яка відображає кількісні характеристики зв'язків з іншими вузлами мережі - ребрами графу (2.14) і може бути представлена у вигляді

$$M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle, \quad (2.21)$$

а множини  $\Gamma_{np}^i$  визначають граматику та правила утворення співвідношень при взаємодії вузлів мережі в просторі  $Q$ .

$$\Gamma_{np} = \bigcup_{i=1}^N \Gamma_{np}^i. \quad (2.22)$$

Тобто в загальному випадку за співвідношенням (2.11) вводиться поняття мови для формального опису процесів, пов'язаних з вирішенням задачі формування топології СМ ВТ в просторі  $Q$ .

В загальному випадку мова є нескінченною множиною, а нескінченні об'єкти важко задати, наприклад, простим перерахуванням елементів [33], [38]. Будь-який кінцевий механізм задавання мови є граматиною. В співвідношенні (2.11) це  $\Gamma_{np}^i$ .

В співвідношеннях (2.21) та (2.22) базис  $B^i$  визначає потенційні можливості взаємодії  $i$ -го вузла СМ та іншими вузлами мережі при визначенні можливостей маршрутизації і кількісних характеристик зв'язків (ребер графу мережі) в просторі  $Q$

$$B^i = (X^i, Y^i, A^i), \quad (2.23)$$

де  $X^i$  - множини потенційно можливого місця знаходження  $i$ -го вузла мережі в просторі  $Q$ , які визначаються як множини керуємих та напівкеруємих станів в просторі параметрів у відповідності з припущенням невизначеності та прогнозу переміщення  $i$ -го вузла; множина  $Y^i$  визначається характеристиками переміщення  $i$ -го вузла в просторі керованих

і напівкерованих станів та враховує наявні ресурси управління щодо зміни динамічних характеристик маршрутизації (щільності ПД за напрямком передачі)  $i$ -го вузла мережі у відповідності з припущенням  $A^i$ , яке враховує прогноз, невизначеність, динаміку та небезпечність переміщення  $i$ -го вузла щодо вузла-відправника (ініціатора ПД) для співвідношення  $F^i$ , враховує прогноз, динаміку та безпечність маршруту ПД в просторі  $Q$  з базисом  $B^i$ .

Для СМ в цілому невизначеність стану можна описати співвідношенням

$$A = \bigcup_{i=1}^N A^i.$$

Значення  $F^i$  в співвідношенні (2.21) визначає властивості  $i$ -го вузла при побудові маршруту ПД в просторі  $Q$

$$F^i = (f_x^i, f_c^i, d^{ij}), \quad (2.24)$$

де  $f_x^i$  - згладжені значення координат для  $i$ -го вузла в просторі  $Q$  для кожного моменту ПД;  $f_c^i$  - згладжені значення першої похідної (вектору швидкості зміни координат) при переміщенні вузла в просторі  $Q$ ;  $d^{ij}$  - відстань взаємодії  $i$ -го вузла з суміжним  $j$ -м вузлом мережі, яка враховує зміну параметрів функціонування відповідних каналів ПД (ребер графу мережі  $G$  в просторі  $Q$ ).

Виходячи з формального опису математичних моделей взаємодії вузлів СМ (2.20) - (2.23) і синтезу та прийняття рішень щодо стратегій управління маршрутизацією ПД (2.8) – (2.13), визначимо мінімально-перебірну процедуру синтезу і вибору рішення на основі методу інтегрального усікання варіантів [91], [93], [94], [98] у відповідності до критерію оптимальності  $\Phi$ , який фактично є адитивним критерієм вибору, що визначається співвідношенням (2.25).

Значення коефіцієнтів  $C_i$  в співвідношенні (2.25) визначається для кожного виду конфліктів окремо.  $\lambda_i$  визначає "витрати на управління"



параметрами функціонування СМ згідно стратегії (2.12) на множині ребер граф-моделі СМ (2.14), що відповідає формальній моделі (2.4) за рахунок управління  $u_i$  для  $i$ -го елемента маршруту ПД в просторі  $Q$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi = \sum_{i=1}^k C_i \lambda_i \\ \lambda_i = \frac{\Delta u_i}{\sup |u_i|}, \forall \lambda_i \in \lambda . \\ \sum_{i=1}^k C_i = 1 \end{array} \right. \quad (2.25)$$

В такому разі задачу синтезу управління можна сформулювати як конфлікт взаємодії об'єктів (вузлів СМ) графу мережі  $G$  в просторі  $Q$

$$K = \langle M, A, \Gamma_{np}, G, \mu \rangle, \quad (2.26)$$

а процедуру синтезу стратегій рішення конфлікту  $\mu$  згідно принципу оптимальності  $\chi$ , який реалізовує вимоги критерію  $\Phi$ , можна представити у вигляді

$$\left\{ \begin{array}{l} K = \langle M, A, \Gamma_{np}, G, \mu \rangle \\ \chi K = \mu \end{array} \right. \quad (2.27)$$

Вибір оптимальної стратегії рішення конфлікту  $\mu^*$  з врахуванням правила зупинки  $\Gamma_{зуп}$  формулюється в вигляді

$$\mu^* = \inf_{\chi, \Gamma_{зуп}} K. \quad (2.28)$$

Співвідношення (2.25) - (2.28) фактично є постановкою задачі опису конфлікту взаємодії об'єктів та синтезу оптимального рішення в просторі  $Q$ .

## Висновки до другого розділу

1. При дослідженні методів управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології за умов невизначестей і обмежень

запропоновано застосовувати методологію: системно-структурного аналізу процесів взаємодії конфліктуючих вузлів мережі, як дослідження явища в цілому, яке складається з системи підструктур, які, у свою чергу, складаються з елементів, і в якості підсистем входять в систему більш високого рівня; системно-функціонального аналізу процесів забезпечення гарантоздатності при функціонуванні сенсорних мереж, як дослідження з метою визначення усіх основних взаємозв'язків вузлів мережі з процесами управління маршрутизацією потоків даних, як внутрішнім середовищем гетерогенної мережі, і з зовнішнім середовищем, яке включає систему передачі даних мереж *intranet/internet*; у виявленні характеру і способів впливу одних елементів і підструктур сенсорних мереж на інші.

2. При проведенні досліджень щодо розробки нових і вдосконалення існуючих методів управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології за умов забезпечення гарантоздатності доцільним є використання інтегрально-топологічних методів аналізу складних систем, які базуються на використанні математичних моделей опису властивостей процесів, пов'язаних з функціонуванням мереж як систем, що дозволяє отримати топологічні структури формальних просторів функціонування та рішення для синтезу та вибору управлінь сенсорними мережами.

3. Інтегрально-топологічні методи дослідження та аналізу складних систем в просторі функціонування дозволяють виявити характеристики взаємодії моделі сенсорної мережі, які включають параметри гарантоздатного функціонування при синтезі та виборі рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних з врахуванням невизначеностей і взаємодії конфліктуючих елементів мережі.

4. Запропоновано метод формального опису простору функціонування сенсорної мережі за умов невизначеностей і обмежень.

5. Запропоновано концептуальну структурну схему системи ситуаційного управління маршрутизацією потоків даних в сенсорній мережі за умов обмежень і невизначеностей.

6. Виходячи з топологічності формального простору функціонування сенсорної мережі, запропоновано теоретико-множинну модель взаємодії конфліктуючих вузлів мережі, на підставі якої отримано модель їх взаємодії в умовах обмежень і невизначеностей.

7. Визначено доцільність застосування логіко-семантичної моделі опису взаємодії вузлів сенсорної мережі варіативної топології при управлінні маршрутизацією потоків даних.

8. На основі результатів семантичного аналізу повідомлень системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних в гетерогенній сенсорній мережі варіативної топології запропоновано підхід щодо синтезу і вибору рішень.

9. Задачу синтезу управління сформульовано як задачу динамічної дискретної оптимізації.

10. Запропоновано адитивну форму критерію оптимальності при синтезі і виборі рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології.

Отримані результати відрізняються від відомих здатністю визначати: *NP*-повну модель рішення задачі дискретної динамічної оптимізації, що дозволяє отримати поліноміальний алгоритм синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології в умовах обмежень і невизначеностей.

За рахунок вперше розроблених моделей синтезу і вибору рішення задачі управління маршрутизацією потоків даних в гетерогенних сенсорних мережах варіативної топології, як задачі дискретної динамічної оптимізації, та кінцевої кількості варіантів рішення з врахуванням критерію оптимальності отримані результати дозволяють визначити:

- принципи рішення задачі управління маршрутизацією потоків даних в конфліктуючих гетерогенних сенсорних мережах варіативної топології за умов обмежень і невизначеностей;

- метод опису топології сенсорної мережі у вигляді графу, математичної моделі і нотації (мови), що дозволило за рахунок застосування теоретико-множинної моделі опису процесів взаємодії елементів обчислювальної мережі розробити математичну модель та метод управління маршрутизацією за умов забезпечення гарантоздатності мережі варіативної топології в умовах обмежень і невизначеностей;

- критерій оцінки та вибору рішень щодо інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних на основі показників пропускної спроможності елементів сенсорної мережі;

- властивості методу рішення задачі управління маршрутизацією потоків даних в конфліктуючих гетерогенних сенсорних мережах варіативної топології за умов обмежень, невизначеностей і забезпечення гарантоздатності;

- метод рішення задачі управління маршрутизацією потоків даних, як задачі динамічної дискретної оптимізації.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [98], [99], [102], [104], [106], [108], [109], [110], [111].

### РОЗДІЛ 3

## МЕТОД ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В КОНФЛІКТУЮЧИХ СЕНСОРНИХ ГАРАНТОЗДАТНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

Доцільність застосування методів інтелектуального управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ за умов обмежень, невизначеностей і забезпечення вимог гарантоздатності визначається при вирішенні проблем, які виникають при створенні відповідних СУ вузлами мережі. При цьому СІУ кожного вузла є складовою частиною розподіленою динамічної СУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ.

Сутність вирішення задачі синтезу і вибору рішення щодо інтелектуального управління маршрутизацією ПД в децентралізованих СУ мережами при забезпеченні інформаційної взаємодії вузла-відправника і вузла-отримувача даних полягає у вирішенні задачі динамічної дискретної оптимізації.

Гарантоздатність СМ ВТ забезпечується шляхом використання засобів КЗІ, віртуалізацією простору функціонування мережі і управління щільністю навантаження каналів передачі даних при інформаційній взаємодії вузлів мережі. При цьому засоби КЗІ забезпечують вимоги доступності, цілісності і конфіденційності при обміні. Щільність навантаження каналів передачі даних між вузлами мережі враховується функцією ціни при синтезі і виборі рішень щодо управління маршрутизацією ПД.

### **3.1 Визначення та обґрунтування параметрів управління маршрутизацією в сенсорних гарантоздатних мережах**

Відповідно моделі СМ ПД (2.14) при синтезі і виборі стратегії управління маршрутизацією визначається додатня функція ціни (2.15).

Найбільш значущими параметрами, що характеризують функціонування каналу ПД при взаємодії вузлів СМ є залишкова пропускна здатність каналу передачі даних між вузлами мережі, який відображає ребро графа мережі, що враховано значенням корегуючої віртуальної відстань до  $j$ -го вузла СМ  $\Delta d_{ij}^k$  згідно співвідношенню (2.26).

Враховуючи нестаціонарність значення часу затримки пакетів даних, що технологічно забезпечують пакетну ПД при функціонуванні мережі, можна розглядати дві складові часу затримки: затримку на проміжних вузлах СМ ПД і затримку, яка обумовлена станом фізичного середовища передачі пакетів даних у відповідному протоколі інкапсуляції моделі OSI.

Хоча IP не є надійним протоколом, набір протоколів TCP/IP забезпечує відправку повідомлень навіть в разі виникнення будь-яких помилок. Ці повідомлення відправляються за допомогою протоколу мережевого рівня ICMP (*Internet Control Message Protocol* - протокол управляючих, или контрольных, сообщений) і його повідомлень (рис. 3.1), що забезпечують підтвердження наявності вузла мережі, проміжок часу існування (життя) пакету, переадресацію маршрутів, призначення та недоступність послуги протоколу.

IP-датаграмма				
	Біт 0 - 7	Біт 8 - 15	Біт 16-23	Біт 24 - 31
Заголовок IP (20 байтів)	Версія / МГП	Тип обслуговування	довжина	
	Удостоверение личности		флаги и офсетные	
	Час життя (TTL)	протокол	Контрольна сума	
	Похідна IP-адреса			
	IP-адреса отримувача			
Заголовок ICMP (8 байт)	Тип повідомлення	Код	Контрольна сума	
	Дані заголовку			
Корисне навантаження ICMP ( необов'язково )	Дані корисного навантаження			

Рис.3.1. Датаграма протоколу ICMP

Разом з тим функцію переадресації в протоколі ICMP діє тільки в тому випадку, якщо вузол-відправник знаходиться в тій же фізичній мережі, що і шлюз маршрутизатора, що передбачається в мережах з централізованим управлінням маршрутизацією. В такому випадку для СМ з децентралізованим управлінням маршрутизацією ПД виникають проблеми формування топології гетерогенних мереж.

При проходженні пакетів ICMP-протоколу через кожен вузол СМ значення параметра TTL зменшується на одиницю, або на кількість секунд, що визначають час проходження пакету. Таким чином значення параметра TTL дозволяє контролювати кількість проміжних вузлів і час проходження даних в СМ на маршруті ПД, попереджує можливість створення петлі маршруту, а також перехоплення пакетів.

Важливою особливістю ICMP-протоколу є можливість використання "ехо-запитів" і "ехо-відповідей" для вимірювання часу проходження ICMP-пакетів при програмній емуляції утиліти *Ping* операційних систем. Змінюючи розмір буферу при емуляції утиліти *Ping* можна визначити оптимальний розмір ICMP-пакетів при управлінні маршрутизацією ПД в СМ, а саме – забезпечення потрібної швидкості ПД між вузлами і попередження конфліктів взаємодіючих вузлів СМ за рахунок оптимального динамічного управління навантаженням в каналах ПД.

Визначення параметрів, що забезпечують оптимальну безконфліктну взаємодію вузлів СМ ВТ при управлінні маршрутизацією ПД забезпечується на рівні системних програмних утиліт, що істотно відрізняються в платформах ОС *UNIX* (*RAW sockets* - необроблені, "сирі" сокети) і в ОС *Windows* всіх версій (*ICMP API*) і потребують для використання права адміністратора обчислювальної системи (права з привілеями користувача).

Входячи з можливостей існуючого програмного забезпечення сучасних ОС і протоколів моделі *OSI*, можна визначити основні параметри управління пропускнуою спроможністю і гарантоздатністю СМ ВТ за умови того, що відправка ICMP-пакетів за заданою адресою вузла мережі не буде перервано

вузлом-відправником, а саме: кількістю відправлених “ехо-запитів”, розміру буферу повідомлення, фрагментацією *ICMP*-пакетів, часом “життя” пакетів (*TTL*), типом обслуговування пакетів, записом маршруту ПД для вказаної кількості переходів (*hops*), часовою відміткою вказаної кількості переходів, детермінованості і кількості вузлів та ребер граф-моделі СМ ВТ, значенням припустимої затримки пакетів при очікуванні заримки відповіді вузла-отримувача пакета.

Вирішення задачі оптимального управління навантаженням на кожному вузлі маршруту ПД в СМ ВТ забезпечується за алгоритмом, який використовує можливості протоколу *ICMP*:

1) завантаження бібліотеки методів, що забезпечують функціонування протоколу *ICMP*;

2) ініціація програмного сокету, що забезпечує взаємодію ПЗ з модулями операційної системи, які забезпечують функціонування моделі *OSI*;

3) визначення ідентифікатора, *MAC*-адреси і *IP*-адреси вузла СМ, який визначає кінець ребра ланки маршруту, що з'єднує взаємодіючі вузли СМ;

4) опрацювання програмної події в разі відсутності кінцевого вузла для побудови ребра графу СМ (подія зміни топології мережі);

5) визначення параметрів вимірювання характеристик функціонування каналу ПД при взаємодії вузлів СМ (кількість відправлених “ехо-запитів”, розмір буферу повідомлення, ознака фрагментації *ICMP*-пакетів, час “життя” пакетів (*TTL*), тип обслуговування пакетів, значення припустимої затримки пакетів при очікуванні заримки відповіді вузла-отримувача пакета);

6) обчислення оптимального значення характеристик функціонування каналу ПД при взаємодії вузлів СМ ВТ відповідно функції ціни.

Обчислення навантаження на канал ПД [12], [13] визначається співвідношенням

$$\rho = \frac{\tau_{10}}{RTT}, \quad (3.1)$$



де  $\tau_{10} = 800L_f$  нс – час використання інтерфейсу кадром, що передається, в макропакеті розміром  $L_f$  байтів;  $RTT$  – математичне очікування часу обертуння ехо-запиту.

Слід зазначити, що при формуванні операційною системою вузла-відправника декількох потоків ехо-запитів навантаження на його мережевий інтерфейс зростає. При цьому спостерігається лінійна залежність навантаження  $\rho$  від кількості надсилаємих потоків ехо-запитів до певної їх кількості.

Час формування ехо-запитів лінійно залежить від кількості потоків. Якщо сумарний час передачі мережним адаптером вузла-відправника потоку ехо-запитів менше часу формування, то навантаження в каналі ПД СМ лінійно зростає, а мережний адаптер з точки зору продуктивності є “вузьким місцем”, що створює чергу ехо-запитів. Знаходження в черзі підвищує значення  $RTT$  для кожного ехо-запиту, зменшуючи навантаження на канал ПД.

Таким чином, відповідно моделі взаємодії вузлів СМ (2.20) і (2.21) та згідно співвідношенню (2.24) визначимо віртуальну відстань взаємодії  $i$ -го і  $j$ -го вузлів, що враховує властивості переміщення вузлів мережі, характеристики функціонування каналів інформаційної взаємодії вузлів, стан обчислювального середовища ПП вузлів, завади і характер інформаційного обміну та інші обмеження і невизначеності процесу ПД в СМ. Тим самим, рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту ПД у відповідності до (2.27) буде здійснюватись у віртуальному просторі.

В загальному вигляді при взаємодії  $i$ -го вузла з  $j$ -м вузлом мережі значення  $d^{ij}$  може бути визначено як

$$d^{ij} = C_{зад}^{ij} d_{зад}^{ij} + C_{\Delta}^{ij} \Delta d^{ij} + C_{звирт}^{ij} d_{звирт}^{ij}, \quad (3.2)$$

де  $d_{зад}^{ij}$  - відстань взаємодії  $i$ -го вузла при інформаційній взаємодії з  $j$ -м вузлом СМ під час визначення маршруту ПД;  $\Delta d^{ij}$  - невизначеність, яка

враховує динамічність  $i$ -го вузла і параметрів каналів ПД;  $d_{звирт}^{ij}$  - віртуальна відстань, що враховує прогноз і невизначеність взаємного переміщення вузлів СМ. Віртуальна відстань при синтезі і виборі оптимального маршруту ПД в СМ є адитивним критерієм відбору, для якого згідно (3.2) має виконуватись умова  $C_{зад}^{ij} + C_{\Delta}^{ij} + C_{звирт}^{ij} = 1$ .

В загальному вигляді значення  $\Delta d^{ij}$  для  $k$  - мірного простору  $Q$  визначається співвідношенням

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta d^{ij} = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \left| \Delta x_{t=0}^i \right| - \Delta x_{t=0+\Delta t}^i \right| - \left| \Delta x_{t=0-\Delta t}^i \right| - \Delta x_{t=0}^i \right| \right)^2 \frac{\Delta t^2}{2} + d_{ij}^k + \Delta d_{ij}^k, \\ \Delta x_j^i = \left| \left( x^i - x^j \right) \right|_{t=0} - \left( x^i - x^j \right) \right|_{t=0+\Delta t} \end{array} \right., \quad (3.3)$$

де  $x^i$  - координати вузла-відправника  $i$  в  $k$  - мірному просторі  $Q$ ,  $x^j$  координати вузла-отримувача  $j$  в  $k$  - мірному просторі  $Q$ ,  $\Delta t$  - інтервал часу вимірювання,  $d_{ij}^k$  - корегуюча відстань за методом уточнення місцезнаходження вузла  $RSSI$  до  $j$ -го вузла СМ ( $RSSI$ );  $\Delta d_{ij}^k$  - корегуюча віртуальна відстань до  $j$ -го вузла СМ, що враховує властивості каналу ПД та завантаженість обчислювальних ресурсів  $j$ -го вузла мережі.

В загальному випадку корегуюча віртуальна відстань  $\Delta d_{ij}^k$  визначається функцією

$$\Delta d_{ij}^k = z(n, s), \quad (3.4)$$

де  $n$  - кількість запитів до вузла СМ,  $s$  - швидкість передачі даних.

Визначивши величину додаткового затухання, в III вузла СМ обчислюється значення корегуючої відстані від  $i$ -го вузла до інших  $j$ -тих вузлів мережі

$$d_{ij}^k = \left( d_{ij}^l \right)^{\frac{k-\Delta}{k}} \left( \frac{4\pi\eta}{c} \right)^{\frac{-\Delta}{k}}, \quad (3.5)$$

де  $d_{ij}^k$  - корегвуючої відстані від  $i$ -го вузла до інших  $j$ -тих вузлів мережі, що визначена за методом уточнення місцезнаходження по індикації рівня отримуючого сигналу  $RSSI$ ;  $d_{ij}^l$  - локальна відстань до  $j$ -тих вузлів мережі;  $k$  - коефіцієнт послаблення;  $\Delta$  - додаткове затухання;  $\eta$  - частота сигналу;  $c$  - швидкість світла.

Тим самим за наявністю залишкової пропускної здатності каналу зв'язку можна в якості додаткового критерія відбору визначити сумарну затримку сигналу в маршруті ПД, що визначається значенням  $\Delta d_{ij}^k$  в співвідношенні (3.3).

Обчислення значення  $d_{зирпм}^{ij}$  в  $k$  - мірному віртуальному просторі  $Q$  здійснюється за співвідношенням

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{зирпм}^{ij} = x_j^i + v_j^i \Delta t + \Delta v_j^i \frac{\Delta t^2}{2} \\ v_j^i = \frac{\sqrt{\sum_{m=1}^k (x_m^i - x_m^j)^2}}{\Delta t} \\ x_j^i = \sqrt{\sum_{m=1}^k (x_m^i - x_m^j)^2} \\ \Delta v_j^i = \frac{v_j^i \Big|_{t=t_0} - v_j^i \Big|_{t=t_0+\Delta t}}{\Delta t} \end{array} \right. , \quad (3.6)$$

де  $x_m^i$  -  $m$ -та координата вузла  $i$ ,  $x_m^j$  -  $m$ -та координата вузла  $j$ ,  $v_j^i$  - швидкість зближення/віддалення вузлів  $i$  і  $j$ ,  $\Delta v_j^i$  - прискорення зближення/віддалення вузлів  $i$  і  $j$ .

### 3.2. Метод інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах

При рішенні задачі синтезу і вибору стратегії управління маршрутизацією ПД в конфліктуючій СМ ВТ враховуються основні

параметри, що характеризують поточний стан продуктивності мережі, можливості оптимального управління її пропускнуою спроможністю за умов забезпечення гарантоздатності.

Забезпечення гарантоздатності при взаємодії вузлів СМ ВТ здійснюється з застосуванням двох концептуальних підходів обчислення відстані: за географічними координатами вузлів та їх віртуальними координатами. Таким чином обчислення відстані між вузлами є логістичним параметром функції ціни при синтезі і виборі стратегії управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ.

### **3.2.1. Метод визначення показників гарантоздатності сенсорних мереж**

Математична модель взаємодії вузлів СМ ПД, відображає процеси, що відбуваються при інтенсивному обміні даними. Модель дозволяє дослідити процеси обміну даними, виявити і дослідити вплив різних чинників і параметрів при інформаційній взаємодії вузлів мережі як в режимі синтезу і вибору маршруту, так і в процесі ПД. За допомогою моделі можна дослідити вплив різних чинників на цей процес ПД між вузлами розподіленої СМ.

Процес взаємодії елементів СМ при ПД розглянемо з точки функціонування двох основних підсистем: каналів, що забезпечують транспорт даних і обчислювальних систем, якими є вузли мережі. Ці дві підсистеми в будь-який момент часу можуть перебувати в одному з множини станів  $X = (X_0, X_1, \dots, X_n)$ . Число станів процесів (систем) може бути як кінцевим, так і нескінченним. Кожна з підсистем СМ характеризується векторами внутрішнього стану підсистеми  $X_i, i = \overline{1, n}$ , пов'язані з необробленими запитами на синтез і вибір маршруту ПД і власне процесів ПД. Вектори стану  $X_i$  визначаються кількістю необроблених запитів ПД і інтенсивністю переходу системи з одного стану в інший  $W_{ij}$  і навпаки  $R_{ji}$ .

В такому разі 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

$$\begin{cases} \chi_j^k = W_{ji}^k(\chi_j, T_j, p_j) \cdot \chi_j^k + R_{ij}^k(\chi_i, T_i, p_i) \cdot \chi_i^k + \xi_j \\ \chi_i^k = R_{ij}^k(\chi_i, T_i, p_i) \cdot \chi_i^k + W_{ji}^k(\chi_j, T_j, p_j) \cdot \chi_j^k + \xi_i \end{cases}, \quad (3.7)$$

де  $\chi_j^k, \chi_i^k$  - 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;  $\chi_j, \chi_i$  - кількість запитів  $k$ -го типу в  $j$ -му і  $i$ -му вузлах;  $W_{ji}^k(\chi_j, T_j, p_j)$ ,  $R_{ij}^k(\chi_i, T_i, p_i)$  - 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  $\chi_j, \chi_i$ ;  $\xi_j, \xi_i$  - кількість запитів до  $j$ -го і  $i$ -го вузлів;  $p_j, p_i$  - коефіцієнт, що визначає зміну часу обробки запитів  $\chi_j, \chi_i$  при розпаралелювальні обчислень у вузлах СМ на маршруті ПД.

Таким чином, істотними параметрами, що визначають часові показники процесів ПД у вузлах СМ є кількість і інтенсивність запитів, завантаженість вузла, застосування технології розпаралелювання обчислювальних процесів. Разом з тим слід враховувати показники пропускної спроможності каналів взаємодії вузлів СМ згідно моделі  $G$  якість каналів ПД, що відображається показником кількості втрачених підряд пакетів даних [34].

При передачі потоку даних між двома вузлами СМ пакети поступають в чергу вузлаї-відправника періодично (з періодом  $T_{in}$ ) пачками різної довжини  $j$  (відповідає мультимедійних даних) з розподілом  $\{p_j\}_{j=1}^M$  числа пакетів в пачці ( $j = \overline{1, M}$ ,  $\sum p_j = 1$ ).

Вимоги до якості обслуговування визначаються максимально припустимими значенням частки втрачених пакетів ( $PLR$ ) і затримки доставки пакету  $D$ .

Для передачі пакетів вузол-відправник встановлює резервування: послідовність періодичних інтервалів часу періоду  $T_{res}$  і тривалості  $R$ . Тривалість  $R$  для кожного зарезервованого інтервалу достатня для передачі  $B$  пакетів з використанням множинної пакетної ПД. У якості політики обслуговування черги використовується принцип *FIFO* (*first in, first out* — «першим прийшов – першим пішов»).

Передача пакету здійснюється до тих пір, поки пакет або не буде успішно переданий, або час обслуговування пакету не перевищить величину  $D$ . В останньому випадку пакет відкидається, а вузол переходить до обслуговування наступного пакету в черзі. В такому разі будемо вважати, що помилки при ПД обумовлені особливостями функціонування каналів ПД з ймовірністю втрати пакету даних  $q$ .

Визначимо залежність  $PLR$  від параметрів резервування  $T_{res}$  і  $B$  (чи  $R$ ) при заданих  $\{p_j\}_{j=1}^M$ ,  $T_{in}$ ,  $q$  та  $D$ , яка може бути використана для знаходження оптимальних значень параметрів  $T_{res}^*$  і  $B^*$  (чи  $R^*$ ).

Визначимо інтервал часу (слот)  $\tau = [T_{in}, T_{res}]$ , де:  $t_{in} = \frac{T_{in}}{\tau}$ , ;  $t_{res} = \frac{T_{res}}{\tau}$ ,  $t_{in}$ ,  $t_{res} \in N$ . Розіб'ємо неперервну шкалу часу на слоти так, щоб початок кожного зарезервованого інтервалу співпадав з початком деякого слоту. Вирначимо величину  $\varepsilon$  інтервалу часу від моменту надходження пачки пакетів до початку найближчого слоту.

Таким чином процес передачі пакетів можна представити у вигляді випадкового процесу двовимірного ланцюга Маркова з дискретним часом. Спостереження стану послідовності пачок пакетів (ланцюга) будемо здійснювати на початках зарезервованих інтервалів ПД. Таким чином, одиниця часу марківського ланцюга дорівнює періоду резервування інтервалів ПД  $T_{res}$ .

Стан системи в момент часу  $t$  ланцюга Маркова будемо описувати парою цілих чисел  $(h(t), m(t))$  для яких:  $h(t) \geq 0$  (черга не порожня) –

виражений у слотах час існування (тривалість життєвого циклу) пачки пакетів (набору пакетів при ПД) найбільший у черзі, а  $m(t)$  – кількість пакетів у цій пачці;  $h(t) < 0$  і  $|h(t)|$  (черга порожня) – виражений у слотах час до надходження наступної пачки пакетів,  $m(t)$  – кількість пакетів у цій пачці.

Можливі значення  $h(t)$  обмежені зверху. У момент часу  $t$  час перебування пачки пакетів, час існування якої найбільший, у черзі дорівнює  $h(t) \times \tau + \varepsilon$ . Якщо пачка не відкинута в момент часу  $t$ , то час не повинен перевищувати значення  $D$ :  $h(t) \times \tau + \varepsilon \leq D$ . Таким чином,  $d = \left[ \frac{D - \varepsilon}{\tau} \right]$ .

Розглянемо переходи між станами  $(h, m)$  ланцюга Маркова. Нехай система в деякий момент часу  $t$  знаходиться в стані  $(h, m)$ . З'ясуємо, в які стани  $i$  з якою ймовірністю може перейти система з цього стану за один крок ланцюга Маркова.

Будь-який перехід ланцюга Маркова у момент  $t$  складається з  $B$  спроб ПД в поточному зарезервованому інтервалі і переходу по часу до початку наступного зарезервованого інтервалу, тобто до моменту часу  $t + 1$ . Таким чином, перехід ланцюга Маркова можна представити у вигляді послідовності з  $B + 1$  переходів за допомогою введення проміжних станів, що відповідають моментам закінчення кожної з  $B$  спроб передачі.

В такому разі мережа  $G$  описується тими ж парами чисел  $(h, m)$ , що і на початку зарезервованих інтервалів. Нехай  $(h^{(i)}, m^{(i)})$  стан системи по завершенню  $i$ -ї спроби передачі.

Перші  $B$  проміжних переходів еквівалентні по своєму змісту (кожний перехід відповідає спробі передачі пакету). Перехід з  $(h^B, m^B)$  в стан  $(h(t+1), m(t+1))$  відповідає кроку по часу на  $t_{res}$  слотів вперед.

Розглянемо один з перших  $B$  переходів. Нехай перед черговою спробою передачі (тобто перед переходом), СМ знаходилась в стані

$(h^{(i)}, m^{(i)}) \equiv (h, m), i = 0, \dots, B-1$ . В результаті спроби ПД мережа  $G$  може перейти в стани;  $h < 0$  (в черзі немає пакетів) – стан  $(h, m)$ ;  $0 \leq h \leq d$  (черга не порожня) – найбільша тривалість життя пакету в черзі. Якщо пакет не був успішно переданий (з ймовірністю  $q$ ), то СМ залишається в стані  $(h, m)$ .

При успішній передачі пакетів для параметра  $m$  можливими є значення:  $m > 1$  (мережа переходить в стан  $(h, m-1)$  з ймовірністю  $1 - q$ ;  $m = 1$  – успішна передано один пакет пачки, тобто успішно переданий єдиний пакет у пачці, то система перейде до обслуговування наступної пачки (мережа переходить в стан  $(h - t_{in,j}), \forall j = \overline{1, M}$  з ймовірністю  $(1 - q) \times p_j$ .

Таким чином, мінімальне значення параметра  $h^{(i)}$  в проміжних станах СМ може дорівнювати  $-t_{in}$ , що має місце при: розміщенні в черзі усієї пачки пакетів; передачі усієї пачки пакетів; відсутності в поточному інтервалі часу хоча б на одну спробу передачі.

Зазначені переходи при зміні стану СМ визначається матрицею перехідних ймовірностей  $A$ .

При переході СМ від останнього проміжного стану  $(h^{(B)}, m^{(B)}) \equiv (h, m)$  після завершення  $B$  можливих спроб передач в стан початку наступного резервування змінюється час життєвого циклу пакетів: час існування  $h + t_{res} \leq d$  до моменту часу  $t + 1$  з найбільшим часом життєвого циклу у черзі не втратить час існування і мережа перейде у стан  $(h + t_{res}, m)$  з ймовірністю 1; час існування  $h + t_{res} > d$ , то до моменту часу  $t + 1$  з найбільшим часом життєвого циклу в черзі вичерпає час існування і буде відкинута; час існування наступної пачки до моменту  $t + 1$  буде дорівнювати  $h + t_{res} - t_{in}$ . В разі  $t_{res} > t_{in}$  при  $h + t_{res} - t_{in} > d$  наступна пачка при передачі також буде відкинута.

В загальному випадку додатково до першої пачки можуть бути відкинута



$n_{h,m} = \left\lceil \frac{h + t_{res} - t_{in} - d}{t_{in}} \right\rceil$  слідує за нею пачок, після чого мережа перейде до

обслуговування пачки, вік якої в момент  $t+1$  буде дорівнювати  $h + t_{res} - t_{in} - n \times t_{in}$ . Таким чином, система з ймовірністю  $p_j$  перейде у стан

$$h + t_{res} - t_{in} - n_{h,m} \times t_{in}, j, \text{ де } n_{h,m} = \begin{cases} \frac{h + t_{res} - t_{in} - d}{t_{in}} t_{res} > t_{in}, \\ 0, t_{res} \leq t_{in} \end{cases}.$$

Позначимо через  $C$  матрицю перехідних ймовірностей, яка відповідає переходам СМ від останнього проміжного стану після завершення  $B$  можливих спроб ПД в стан початку наступного резервування.

Визначимо мінімально можливе значення  $h$  в моменти спостереження ланцюга Маркова. При  $t_{res} \leq t_{in}$  мінімальне значення  $h(t)$  дорівнює  $-t_{in} + t_{res}$  відповідає момент часу  $t$  в разі надходження пачки пакетів в момент часу  $t - 1$  безпосередньо перед початком інтервалу часу передачі або коли усі пакети черги були передані в цьому зарезервованому інтервалі часу. При  $t_{res} > t_{in}$  до початку будь-якого зарезервованого інтервалу часу в черзі буде як мінімум один пакет. Таким чином,  $h \geq \min\{t_{res} - t_{in}, 0\}$ . Виходячи з того, що в проміжних станах  $h^{(i)} = -t_{in}$ , маємо обмеження параметру  $-t_{in} \leq h \leq d$ .

В такому разі матриця перехідних ймовірностей ланцюга, який розглядається, може бути представлена у вигляді  $P = A^B \times C$ . Таким чином визначимо вектор стаціонарних ймовірностей  $\pi_{h,m} = (\dots, \pi_{h,m}, \dots)^T$  станів ланцюга Маркова.

Крім того необхідно визначити частку втрачених пакетів (*packet loss ratio* -  $PLR$ ), яка дорівнює відношенню середнього числа пакетів, що відкинуті за одиницю часу до середнього числа пакетів, які надійшли за одиницю часу.

В послідовності з  $B+1$  проміжних переходів СМ із стану  $(h(t), m(t))$  в стан  $(h(t+1), m(t+1))$  відкидання пакетів можливе тільки при останньому проміжному переході, тобто зі стану  $(h^{(B)}, m^{(B)})$  у  $(h(t+1), m(t+1))$ .

Визначимо математичне очікування числа пакетів у пачці  $E_{(j)} = \sum_{j=1}^M j \times p_j$ . Тоді з будь-якого стану СМ  $(h^{(B)}, m^{(B)}) \equiv (h, m)$  такого, що  $h+t_{res} > d$  в середньому відкидається  $m+n_{h,m} \times E_{(j)}$  пакетів.

Для визначення середньої кількості відкинутих за одиницю часу пакетів можна знайти стаціонарне розподілення ймовірностей  $\tilde{\pi}_{h,m}$  станів  $(h^{(B)}, m^{(B)}) \times \tilde{\pi}_{h,m}$ , що визначається як  $\tilde{\pi}_{h,m}^T = \pi_{h,m}^T \times A^B$ .

Кількість втрачених пакетів  $I_{in}$  і  $I_{dis}$  визначимо за співвідношеннями  $I_{in} = \frac{E_{(j)}}{T_{in}}$ ,  $I_{dis} = \frac{1}{T_{res}} \sum_{\substack{(h,m): \\ h>d-t_{res}}} (m+n_{h,m} \times E_{(j)}) \tilde{\pi}_{h,m}$ . В такому разі частка втрачених пакетів визначається, як

$$PLR = \frac{I_{dis}}{I_{in}} = \frac{T_{in}}{E_{(j)} \times T_{res}} \sum_{\substack{(h,m): \\ h>d-t_{res}}} (m+n_{h,m} \times E_{(j)}) \tilde{\pi}_{h,m} \quad (3.8)$$

Поток пакетів на виході СМ є неординарним. В кожному зарезервованому інтервалі може бути передано від 0 до  $B$  пакетів.

Позначимо через  $p_l^{out}$  ймовірність того, що в одному зарезервованому інтервалі успішно передано  $l$  пакетів. Розподілення  $\{p_l^{out}\}_{l=0}^B$ , будучи відомим, може бути використано для моделювання багатокрокової передачі в разі коли вихідний потік одного вузла є вхідним до іншого вузла.

Нехай система в деякий момент часу  $t$  знаходилась у стані  $(h, m) \equiv (h^{(0)}, m^{(0)})$ . Позначимо через  $\rho_{(h,m),l}$  ймовірність того, що при переході із стану  $(h, m)$  буде успішно передано рівно  $l$  пакет. Тоді ймовірність  $\{p_l^{out}\}_{l=0}^B$  може бути визначена як

$$p_l^{out} = \sum_{(h,m)} \pi_{(h,m)} \rho_{(h,m),l} \cdot \quad (3.9)$$

Перехід зі стану  $(h^{(0)}, m^{(0)})$  у стан  $(h^{(B)}, m^{(B)})$  може здійснюватись різними способами, кожен з яких відповідає деякому числу успішно переданих пакетів. Цим переходам відповідає матриця  $A^B$ , в якій відсутня інформація про величини  $\{\rho_{(h,m),l}\}$ . кожен елемент якої є сумою ймовірностей усіх переходів СМ з одного стану в інший.

Для визначення ймовірності  $\rho_{(h,m),l}$  домножимо елементи матриці  $A$ , що відповідні переходам при успішній передачі пакету, на спеціальну мітку  $\lambda$ . У результаті отримаємо матрицю  $\hat{A}$ , елементами якої є поліноми степені не вище 1. Для отримання аналогу матриці  $A^B$  піднесемо матрицю  $\hat{A}$  у степінь  $B$ .

Кожний елемент  $\|\hat{A}^B\|_{i,j}$  матриці  $\hat{A}^B$ , що є відповідним переходу із стану  $(h^{(0)}, m^{(0)}) \equiv (h_i, m_i)$  у стан  $(h^{(B)}, m^{(B)}) \equiv (h_j, m_j)$ , має вигляд

$$\begin{aligned} \|\hat{A}^B\|_{i,j} &= \rho(h_i, m_i), (h_j, m_j), 0 + \rho(h_i, m_i), (h_j, m_j), 1^\lambda + \dots \\ &+ \rho(h_i, m_i), (h_j, m_j), B^{\lambda B} = \sum_{l=0}^B \rho(h_i, m_i), (h_j, m_j), l^{\lambda l} \end{aligned} \quad (3.10)$$

де  $\rho(h_i, m_i), (h_j, m_j), l$  - ймовірність успішної передчі 1 пакетів при переході СМ зі стану  $(h_i, m_i)$  у стан  $(h_j, m_j)$ .

Ступінь  $\lambda^l$  в співвідношенні (3.5) визначається наявністю переходу СМ в новий стан при одному успішно переданому пакету. Ймовірності таких переходів автоматично сумуються в  $\rho(h_i, m_i), (h_j, m_j), l$  при перемноженні матриць.

Таким чином, маємо

$$\rho_{(h,m),l} = \sum_{(h',m')} \rho(h, m), (h', m'), l \quad (3.11)$$

Підставивши співвідношення (3.11) в (3.7), отримаємо розподілення  $\{\rho_l^{out}\}_{l=0}^B$  числа пакетів в пачках вихідного потоку даних.

Отримана залежність може бути використана для знаходження таких пар значень  $T_{res}$  і  $B$ , при яких  $PLR(T_{res}, B) \leq PLR_{npun}$ , тобто виконані вимоги до

якості обслуговування. Значення  $PLR_{npun}$  є гранично припустимим при обміні мультимедійними ПД.

В такому можна розрахувати за співвідношенням (3.3) частку втрачених пакетів в залежності від часу, що визначає період резервування, в залежності від кількості пакетів в пачці ПД.

Формально визначимо величину навантаження на канал як долю часу, яка займає зарезервовані інтервали

$$\eta(B, T_{res}) = \frac{R(B)}{T_{res}}. \quad (3.12)$$

При заданій тривалості зарезервованого інтервалу часу  $R$ , мінімальне навантаження на канал, що необхідне для передачі ПД за умови забезпечення вимог  $PLR_{npun}$  можна формально визначити як

$$\hat{\eta}(R) = \min_{\substack{T_{res} \\ PLR(T_{res}, B(R)) \leq PLR_{npun}}} \eta(B(R), T_{res}). \quad (3.13)$$

Слід зазначити, що співвідношення (3.11) - (3.13) дозволяють визначити характеристики вихідного ПД при оцінці показників гарантоздатності багатокрокової технології інформаційної взаємодії вузлів СМ, але не враховують дискретність процесу ПД відображають процеси безперервно. Мінімум навантаження на канал в обох випадках досягається при використанні блочної передачі пакетів [61], [31].

В такому разі параметри резервування прийдеться вибирати з області допустимих значень, причому в цій області не завжди блочна передача буде вигідніше пакетної.

Обмеження на значення параметрів резервування може бути також пов'язано з проблемою встановлення резервування усіх можливих періодів, що призводить до фрагментації каналного часу внаслідок наявності множини зарезервованих інтервалів, які відносять один від одного. В результаті того, що станції не мають права передавати як в чужих зарезервованих інтервалах, так і перед ними (якщо проміжок часу, необхідний для передачі даних, перетинається з одним з зарезервованих

інтервалів) фрагментація каналного рівня призводить до додаткового зменшення ресурсів, доступних для передачі даних.

Слід зазначити, що множина значень параметрів, при яких по пакетній передачі ефективніша блочної, зменшується зі збільшенням швидкості передачі даних.

### 3.2.2. Метод самоорганізації сервіс-орієнтованих конфліктуючих гарантоздатних сенсорних мереж

Методи і алгоритми самоорганізації СМ ВТ, по-перше, є реактивними і підтримують реструктуризацію; по-друге, повинні бути розподіленими і децентралізованими, щоб виключити їх непрацездатність через відмову одного (або групи) вузлів; по-третє, має виконуватися вимога щодо енергоефективності. Найбільш ефективними, з погляду структуризації, є алгоритми, що ґрунтуються на об'єднанні вузлів у кластери. Сутність таких алгоритмів полягає у функціональному об'єднанні вузлів СМ за певними правилами.

В сенсі самоорганізації при функціонуванні СІУ маршрутизацією в гетерогенній розподіленій СМ динамічно і ситуативно формуються кластери маршрутів ПД для забезпечення інформаційної взаємодії кінцевих вузлів обміну даними. Таким чином, ситуативно формується СІУ маршрутизацією ПД СМ для кожної пари кінцевих вузлів інформаційної взаємодії, елементами якої є СУ вузлів. При цьому вузли мережі визначають кінці елементів маршруту ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача.

Для математичного опису розподіленої СМ згідно граф-моделі  $G$ , ТММ (2.20) - (2.23) і моделі управління маршрутизацією (2.14) – (2.19) застосуємо систему лінійних розносних рівнянь [19], [24]

$$\sum_{k=0}^{2n+1} \sum_{r=1}^n P(\bar{i}) \mu_{kr} = \sum_{l=1}^{2n+1} \sum_{k=1}^{2n+1} \sum_{r=1}^n P(\bar{i} + \bar{1}_{lr} - \bar{1}_{kr}) \mu_{lr} P_{lk}(r), \quad (3.14)$$

де  $P(\bar{i})$  – стаціонарне розподілення ймовірностей станів однорідної експоненціальної мережі масового обслуговування (ЕММО), яка розглядається;  $\mu_{sr}^{-1}, r = \overline{1, n}, s = \overline{1, 2n+1}$  – час обслуговування в  $s$ -му вузлі мережі ПД  $r$ -го вузла;  $\bar{1}_{sr}$  – вектор, в  $s$ -й координаті якого ( $s = \overline{1, 2n+1}$ ) на  $r$ -ому місці  $r = \overline{1, n}$  стоїть 1, а всі інші значення рівні нулю;  $\|P_{ik}(s)\|, (i = \overline{1, 2n+1}, k = \overline{1, 2n+1}, s = \overline{1, n})$  – матриця перехідних ймовірностей.

При конструюванні елементів матриць  $\|P_{ik}(s)\|$  враховується той факт, що ймовірності слідування пакетів даних (ПАД) для деякого вузла розподіленої СМ можуть бути обчислені без урахування ймовірності слідування ПАД інших вузлів [19], [24]. Тим самим введення в замкнену експоненціальну ЕММО, яка містить один клас ПАД, довільного числа ПАД інших класів, що циркулюють в мережі, не змінюють перехідних властивостей знаходження ПАД існуючого класу в мережі. Тим чином виникає можливість декомпозиції вихідного ЕММО з  $s$  класами запитів на  $s$  ЕММО з тією ж кількістю мереж масового обслуговування (ММО), але з одним ПАД.

З урахуванням декомпозиційного підходу [100.1], можна обчислити значення матриці станів СМ  $\|P_{ik}(s)\| (i, k = \overline{1, 2n+1}, s = \overline{1, n})$  наступним чином:

$$P(s) = \begin{cases} 1 - \sum_{l=1}^q \sum_{j=1}^d f_{sl} \delta_{lj} x_{js}, & i = 1, k = s + 1; \\ \sum_{l=1}^q \sum_{j=1}^d f_{sl} \delta_{lj} x_{js}, & i = 1, k = n + s + 1; \\ 1, \text{ якщо } \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^d f_{sl} \delta_{lj} x_{jz} \neq 0, \text{ при } z = 1, n, i = z + 1, i \neq s + 1, k = 1; \\ z = 1, n, i = n + 1 + z, z \neq s, k = z + 1 \text{ і } z = s, k = 1; \\ \frac{\sum_{l=1}^q \sum_{j=1}^d f_{sl} o_{lj} x_{jz}}{1 - \sum_{l=1}^q \sum_{j=1}^d f_{sl} \delta_{lj} x_{js}} \\ k = n + 1 + z, k \neq n + s + 1; \\ 0, \text{ у всіх випадках.} \end{cases} \quad (3.15)$$

Застосування декомпозиційного підходу для обчислення  $\mu_{sr} (s=1, 2n+1, r=1, n)$  можна застосувати дві основні схеми обслуговування запитів на передачу ПАД: схема описує виконання запитів ПД  $s$ -го вузла мережі, для яких необхідна інформація розміщується або обчислюється на  $s$ -му вузлі СМ ПЕВМ; схема описує виконання запитів ПД  $s$ -го вузла мережі, для якого необхідна інформація розміщується або обчислюється на інших вузлах мережі. Для врахування впливу колізій при обробці запитів на ПД у вузлах СМ передбачені затримки запитів, які знаходяться у черзі до передачі по каналу. Таким чином можна визначити інший спосіб розрахунку значення величини  $\mu_{sr} (s=1, 2n+1, r=1, n)$

$$\mu_{sr} = \left. \begin{array}{l} \left( \begin{array}{l} s = \overline{1, 2n+1} \\ r = \overline{1, n} \end{array} \right) \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{r, s=1, r=\overline{1, n}}; \\ \theta_0^{-1}, r = \overline{1, n}, z = 1, n, s = 1+z, z = r; \\ \left( \theta_{0+} + \frac{\sum_{l=1}^q f_{rl} \sum_{j=1}^d \delta_{lj} v_j x_{jz}}{0} \right)^{-1}, r = \overline{1, n}, z = \overline{1, n}, s = 1+z, z \neq r; \\ \left( a_0 + \frac{\sum_{l=1}^q f_{rl} \sum_{j=1}^d \delta_{lj} v_j x_{jz}}{VV_1} + \frac{\sum_{l=1}^q f_{rl} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^d \delta_{lj} v_j x_{jk}}{PU_2} + \right. \\ \left. \frac{\sum_{l=1}^q f_{rl} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^d b_{lj} x_{jk}}{VD_2} + \right. \\ \left. + \frac{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^q \sum_{l=1}^q \sum_{j=1}^d f_{kj} \delta_{lj} v_j x_{jz}}{\theta} \right)^{-1}, \\ r = \overline{1, n}, z = \overline{1, n}, s = n+1+z, r = z; \\ \left( a_0 + \frac{\sum_{j=1}^q f_{rl} \sum_{j=1}^d \delta_{lj} v_j x_{jz}}{VV_2} \right)^{-1}, r = 1, n, z = 1, n, s = n+1+z, r \neq z. \end{array} \right\} \end{array} \right. \quad (3.16)$$

Відповідно [19], [24], [6] рішення системи рівнянь (3.9), може бути отримано у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} P(i) = \frac{\prod_{s=1}^{2n+1} Z_s(i_s)}{H(N_1, \dots, N_n)} \\ H(N_1, \dots, N_n) = \sum_{\bar{i} \in E(N_1, \dots, N_n; 2n+1)} \prod_{s=1}^{2n+1} z_s(\bar{i}_s), \\ Z_s(\bar{i}_s) = i_s! \prod_{r=1}^n \frac{1}{i_{sr}!} \left( \frac{e_{sr}}{\mu_{sr}} \right)^{i_{sr}} \end{array} \right. \quad (3.17)$$

де  $H(N_1, \dots, N_n)$ - нормалізуюча константа,  $z_s(\bar{i}_s)$ - ймовірність стаціонарного агрегованого стану ЕММО у стані  $\bar{i}_s$ , яка залежить від типу вузла, який використовується;  $\bar{i}_s$  - загальне число повідомлень у центрі  $s$  ( $i_s = \sum_{r=1}^n i_{sr}$ ).

Розрахунок значення відносних інтенсивностей потоку запитів  $e_{sr}$  класу  $r$ , які проходять через вузол  $s$ , зводиться до рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь

$$e_{sr} = \sum_{j=1}^{2n+1} e_{je} P_{js}(r), s = \overline{1, 2n+1}, r = \overline{1, n}. \quad (3.18)$$

Згідно [100.1] обчислення значення часу затримки обслуговування  $\bar{T}$  для реактивної СМ здійснюється за співвідношенням

$$\bar{T} = \frac{1}{\sum_{r=1}^n \lambda_r} \sum_{r=1}^n \lambda_r \bar{T}_r, \quad (3.19)$$

де  $\lambda^{-1}, (r = \overline{1, n})$ - час формування запитів  $r$ -м вузлом мережі;  $\bar{T}_r, (r = \overline{1, n})$ - середній час реакції СМ на запит  $r$ -го вузла.

Розрахунок значення  $\bar{T}$  за співвідношенням (3.13), може бути зведений до однієї з рекурентних процедур обчислення нормалізуючої константи  $H(N_1, \dots, N_n)$ .



### 3.3. Метод синтезу та вибору маршруту передачі даних

Принцип методу евристичного пошуку полягає в тому, що за допомогою евристичної інформації оцінюється доцільність використання вузлів граф-моделі опису СМ при визначенні простору станів (з точки зору досягнення мети синтезу маршруту ПД) і вибору найбільш перспективного візла для продовження пошуку. Найпоширеніший спосіб використання евристичної інформації - введення евристичної функції ціни (оціночної функції), яка визначається на множині вузлів мережі і приймає числові значення. Синтез і вибір маршруту здійснюється за мінімальним значенням функції ціни, яка визначається згідно співвідношення (2.15) і враховує кількісну характеристику множини вузлів мережі при здійсненні ПД в напрямку від вузла-відправника до вузла-отримувача.

Виходячи з теореми про припустимість A-алгоритму побудови оптимального маршруту до цілі для довільного графу мережі за умови існування такого маршруту, визначимо евристичний алгоритм рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту ПД в СМ.

Згідно моделі СМ, яка визначена зв'язаним графом (2.14) "вартість" ПД за напрямком, що визначений згідно логіко-семантичній моделі, маршрут ПД визначається гегелівськими парами (2.19). Тим самим, набору векторів (2.16), що встановлює відповідність значенню функції ціни певній множині передумов стратегій управління маршрутизацією ПД в СМ, значення віртуальної відстані в віртуальному просторі функціонування СМ згідно співвідношенням (3.2) – (3.6). Евристична функція  $h^*(G)$  визначає вартість оптимального маршруту ПД від вузла-відправника  $v_s \in V$  до вузла-отримувача  $v_t \in V$  на маршруті, що відповідає граф-моделі  $G=(V,E)$ . З врахуванням співвідношення (2.15) з множини евристичних оцінок

$$h(G) = \sum_k f_{ki} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s,t\}, \forall j \in V, j \neq \{s,t\}, \forall e_{ij} \in E \forall \{i,j\} \in V \quad (3.20)$$

обираємо оптимальне значення  $h^*(G) = \sup h(G)$ . Зважаючи на те, що  $h^*(G) \leq h(G)$ , можна зробити висновок про припустимість  $A$ -алгоритму. Таким чином, для припустимості  $A$ -алгоритму методу інтегрального усікання варіантів (МІУВ) достатнім є знаходження будь-якої нижньої грані функції  $h(G)$  і використання її в якості  $h^*(G)$ , що буде гарантувати оптимальність синтезованого маршруту ПД. Тим самим зберігається евристична сила алгоритму, що забезпечує його відмінність від алгоритмів Дейкстри та пошуку вширину і вглибину.

В такому разі послідовність кроків евристичного алгоритму відповідає алгоритму МІУВ [94], [98], а досліджуваний алгоритмом простір станів є дерево, що відповідає граф-моделі мережі (2.15). Відмінність алгоритму синтезу і вибору маршруту ПД в СМ від алгоритму МІУВ полягає в тому, що стан мережі враховується не шляхом розрахунку віртуального простору функціонування мережі, а шляхом визначення віртуальної відстані при ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача через проміжні вузли мережі.

Нехай  $I = \{0, \dots, n-1\}$  - множина індексів вершин СМ. Згідно співвідношенню (2.15) визначимо значення функції ціни  $f_{ij} = d^{ij}$ . Таким чином, значення функції ціни  $f_{ij}$  обчислюється як сумарна віртуальна довжина маршруту ПД в СМ відповідно набору маршрутів (2.16) - (2.19) згідно співвідношенням (3.2) - (3.6).

Таким чином синтез і вибір маршруту ПД в СМ здійснюється за евристичним алгоритмом (рис. 3.2), який вміщує наступні кроки:

*Крок 1.* Помістити початковий вузол мережі в список вузлів мережі, що не задіяні в маршруті ПД і обчислити значення функції ціни при здійсненні ПД.

*Крок 2.* Якщо список вузлів мережі порожній, завершити пошук, видати повідомлення про відсутність рішення і перейти до кроку 7і, в іншому випадку перейти до кроку 3.

*Крок 3.* Вибрати зі списку вузлів мережі, що не задіяні в маршруті ПД, вузол з мінімальним значенням функції ціни (серед вузлів з однаковою мінімальною віртуальною відстанню обирається будь-яка) і внести вузол з мінімальним значенням функції ціни до списку (послідовності) вершин граф-моделі, що визначають маршрут ПД в СМ.

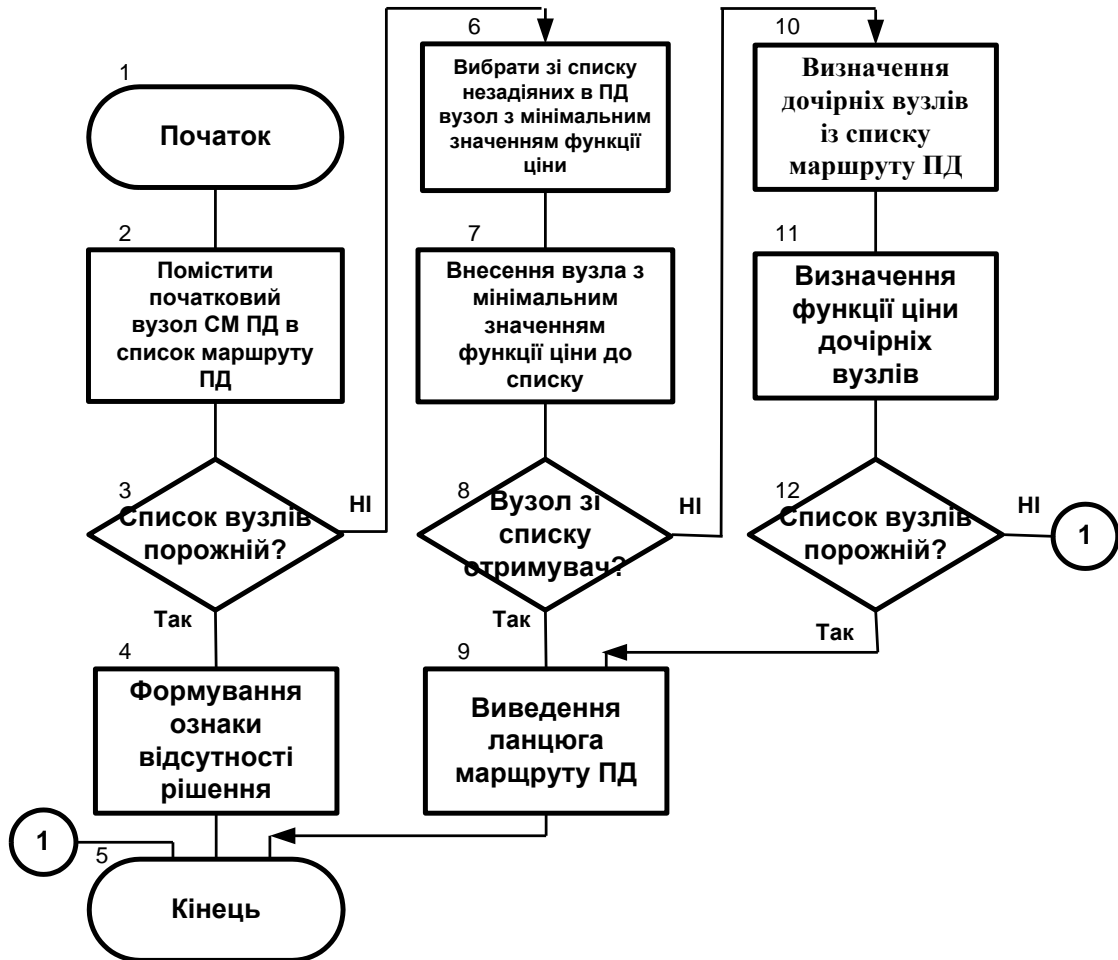


Рис 3.2. Схема алгоритму синтезу і вибору маршруту ПД

*Крок 4.* Якщо вузол зі списку вузлів мережі, що не задіяні в маршруті ПД, є вузлом-отримувачем, то завершити пошук і видати ланцюг синтезованого маршруту ПД, в іншому випадку перейти до кроку 5.

*Крок 5.* Визначити обраний вузол зі списку вузлів мережі, що не задіяні в маршруті ПД, як похідний для побудови дочірніх ланцюжків маршруту ПД,

побудувавши всі дочірні вузли маршруту ПД. Якщо таких вузлів немає, то перейти до кроку 2, в іншому випадку - до кроку 6.

*Крок 6.* Для кожного дочірнього вузла граф-моделі СМ зі списку вузлів мережі, що не задіяні в маршруті ПД, обчислити функцію ціни і помістити усі дочірні вузли в список вершин ланцюжку маршруту ПД. Перейти до кроку 2.

*Крок 7.* Кінець алгоритму.

З алгоритму МІУВ видно, що оскільки кожен раз вузол з мінімальним значенням функції ціни обирається серед множини вузлів граф-моделі СМ ланцюжка маршруту ПД, обираємі вершини граф-моделі мережі можуть розташовуватися у віддалених одна від одної частинах дерева. За алгоритмом функція ціни є такою, що при інших рівних умовах перевагу має менш глибокий вузол моделі мережі.

Ефективність алгоритмів пошуку може бути оцінена за допомогою показника цілеспрямованості

$$P = \frac{L}{N}, \quad (3.26)$$

де  $L$  - довжина знайденої віртуальної відстані від вузла-джерела до вузла-отримувача ПД (дорівнює глибині цільового вузла граф-моделі мережі);  $N$  - кількість вузлів ланцюжка маршруту ПД, які визначені в процесі перебору варіантів рішення.

Таким чином, показник цілеспрямованості вказує на те наскільки дерево, побудоване при переборі, витягнуто, а не кущисто.

В загальному випадку показник цілеспрямованості (3.20) може бути застосованим для оцінки співвідношення, за яким обчислюється значення віртуальної відстані в процесі синтезу і виборі елементів ланцюжка маршруту ПД за співвідношеннями (3.2) - (3.6).

## Висновки до третього розділу

1. Розроблено метод синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД СМ ВТ, складовими елементами якого є:

- математична модель і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі;
- метод інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах;
- метод формування функціонального віртуального простору параметрів СМ;
- метод синтезу та вибору маршруту ПД.

2. При дослідженні методів управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології за умов невизначестей і обмежень запропоновано алгоритм рішення задачі оптимального управління навантаженням на кожному вузлі маршруту передачі даних, який використовує можливості протоколу *ICMP* (додаток Г).

3. Запропоновано аналітичну модель передачі неординарного потоку даних в СМ з застосуванням механізму детермінованого доступу і множинної по пакетній передачі. Модель дозволяє визначити параметри забезпечення гарантоздатності функціонування СМ ПД за умов обмежень функціональних можливостей каналів інформаційної взаємодії вузлів.

4. Запропоновано математичну модель обчислення показників функціонального стану інтегральних елементів розподіленої сенсорної мережі.

5. Запропоновано модель динамічної СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ. Досліджено властивості сигнального графу процесу функціонування моделі динамічної СІУ маршрутизацією ПД. Отримано характеристичне рівняння функціонування СІУ маршрутизацією вузла мережі.

6. Запропоновано евристичний алгоритм синтезу і вибору рішення щодо управління маршрутизацією ПД в розподілкній СІУ СМ.

7. Практична цінність методу синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД СМ ВТ та методу формування

функціонального віртуального простору параметрів СМ ВТ, розроблених в ході дисертаційного дослідження обумовлюється можливістю:

- формування функціонального віртуального простору параметрів, що враховує обмеження, невизначеності і конфлікти взаємодії вузлів, а також властивостей процесів, що притаманні функціонуванню СМ ВТ, за рахунок впровадження нового способу визначення віртуальної відстані між вузлами мережі, як функції ціни при синтезі і виборі оптимального маршруту ПД;

- синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД СМ ВТ полягає в здатності визначати способи врахування показників функціонального стану інтегральних елементів розподіленої сенсорної мережі в моделі динамічної СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ, а також визначити евристичний *A*-алгоритм управління маршрутизацією, як *NP*-повну перебірну задачу динамічної дискретної оптимізації при рішенні конфлікту взаємодії вузлів мережі за умов обмежень та невизначеностей.

8. За рахунок інтегрального формального множинного уявлення простору параметрів, а також впровадження нової технології визначення та обґрунтування параметрів управління маршрутизацією в сенсорних гарантоздатних мережах, отримав подальшого розвитку метод формування функціонального віртуального простору параметрів СМ ВТ.

9. Ефективність алгоритму синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією ПД в гетерогенній сервіс-орієнтованій мережі оцінюється за показником цілеспрямованості в віртуальному просторі її функціонування.

10. Отримані результати відрізняються від відомих здатністю визначати моделі і способи врахування й обчислення показників гарантоздатності та функціонального стану СМ і її елементів при синтезі і виборі рішень щодо оптимального управління маршрутизацією ПД за умов пакетної передачі.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [105], [106], [107], [108], [109], [110], [111], [112].

## РОЗДІЛ 4

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ ПОТОКІВ ДАНИХ В КОНФЛІКТУЮЧИХ ГАРАНТОЗДАТНИХ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ВАРІАТИВНОЇ ТОПОЛОГІЇ ЗА УМОВ ОБМЕЖЕНЬ І НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

### 4.1 Імітаційна модель розрахунку параметрів гарантоздатності системи інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах

Доцільність застосування методів інтелектуального управління СМ визначається при вирішенні проблем, які виникають при створенні СІУ топологією та маршрутизацією за умов конфліктів, обмежень та невизначеностей шляхом управління якістю обслуговування за рівнем еталонної моделі та забезпечення безпеки передачі даних за допомогою рішення проблеми QoS-методів управління для статичних або динамічних мереж, що забезпечується СУ на кожному вузлі мережі з використанням бази методів управління і системи прийняття QoS-рішень, а також способів їх впровадження відповідно бази моделей ресурсів сенсорної мережі, а саме:

- побудови і підтримки системи маршрутизації передачі пакетів даних та управління ПД при забезпеченні вимог гарантоздатності шляхом синтезу і підтримки маршрутів їх передачі при заданих показниках гарантоздатності за умов децентралізованості системи управління мережами;

- розподілу часового, просторового, частотного, кодового та енергетичного ресурсів для забезпечення інформаційного обміну між вузлами обчислювальної сенсорної мережі;

- оптимального управління ресурсами елементів обчислювальної сенсорної мережі (ОСМ) в результаті рішення конфлікту, як задачі

дискретної динамічної оптимізації, за методами дослідження операцій або інтелектуального управління.

При вирішенні задачі синтезу і вибору маршруту ПД в ІІ вузлів розподіленої СІУ СМ необхідно забезпечити гарантоздатність і функціональну стійкість сервіс-орієнтованої мережі. Віртуалізація простору функціонування СМ за рахунок формально визначеної віртуальної відстані між вузлами мережі, як функції ціни, дозволяє врахувати вплив внутрішніх і зовнішніх чинників на процеси синтезу і вибору маршруту ПД за умов обмежень і невизначеностей.

Виходячи з формальних моделей, розроблені інформаційні технології забезпечення процесів синтезу і вибору рішень в СІУ маршрутизацією ПД в СМ.

#### **4.1.1. Імітаційна модель синтезу топології сенсорних мереж**

Для сканування наявних *Wi-Fi* мереж і хостів зазвичай можна використовувати утиліту *Ping* протоколу *ICMP*, яка призначена для перевірки з'єднань для мереж, що побудовані на основі протоколу *TCP/IP*, і дозволяє перевірити доступність маршруту ПД від вузла-відправника до довільного вузла мережі, визначити час передачі пакета даних, а також ймовірність втрати пакетів.

У випадку застосування мобільних пристроїв зв'язку, що не мають взаємодії з системою управління маршрутизацією корпоративної мережі, застосування утиліти *Ping* стає неможливим для перевірки доступності маршруту, визначення часу передачі і ймовірності втрати пакетів.

Синтез топології СМ для вузла-відправника ПД здійснюється шляхом застосування протоколу, який відрізняється від відомого протоколу *AODV* (*Ad hoc On-Demand Distance Vector*), і використовує евристичний алгоритм синтезу і вибору маршруту, який відрізняється від інших евристичних алгоритмів. Розроблений протокол орієнтований на застосування в гетерогенних мережах, які включають бездротовий сегмент із змінною



кількістю рухомих вузлів. СУ маршрутизацією ПД не має центрального вузла і є розподіленою по усім вузлам мережі.

Кожний вузол СМ має ПІ, що вміщує апаратно-програмні засоби: апаратний модуль *Wi-Fi* з драйвером; прикладний програмний інтерфейс (*API-application programming interface*) для модуля *Wi-Fi* (додаток 3); ПЗ, що призначене для побудови моделі мережі і синтезу та вибору рішень щодо управління маршрутизацією ПД; носій ключової інформації на *micro-SD* картці з драйвером; ПЗ для підготовки ключової інформації і формування матриці абонентів СМ; ПЗ забезпечення інформаційної взаємодії абонентів мережі.

Синтез топології СМ для вузла-відправника ПД здійснюється за алгоритмом (рис. 4.1). Маршрутизація даних за алгоритмом здійснюється за допомогою таблиць маршрутизації, які кожен вузол СМ формує самостійно в ході процесу самоорганізації мережі. Особливістю алгоритму є встановлення маршрутів між вузлами за запитом на передачу даних. Для кожного об'єкта в мережі таблиці маршрутизації містять інформацію про наступні вузли на шляху до вузла-отримувача ПД і службову інформацію. Маршрути підтримуються тільки в тому випадку, якщо вони дійсно використовуються. Унеможливлення зациклення (виникнення кілець) гарантується евристичним алгоритмом синтезу і вибору маршруту ПД. Алгоритм використовує такі типи пакетів: вітальні повідомлення, запит на маршрут ПД (*route request - RREQ*), відповідь про маршрут ПД (*route reply - RREP*), помилка маршруту ПД (*route error - RERR*). Коли на вузлі з'являється пакет даних для передачі, а шлях до адресата не відомий, ініціюється передача повідомлень *RREQ* для визначення маршруту ПД. Параметри, що характеризують стан каналів ПД між вузлами, завантаженість обчислювальних систем і переміщення вузлів мережі передаються в протоколі стандарту обміну до вузла-відправника і вузла-отримувача ПД для формування граф-моделі СМ. Тим самим підтримується актуальність таблиць маршрутизації і зменшується час вирішення задачі синтезу і вибору маршруту ПД.

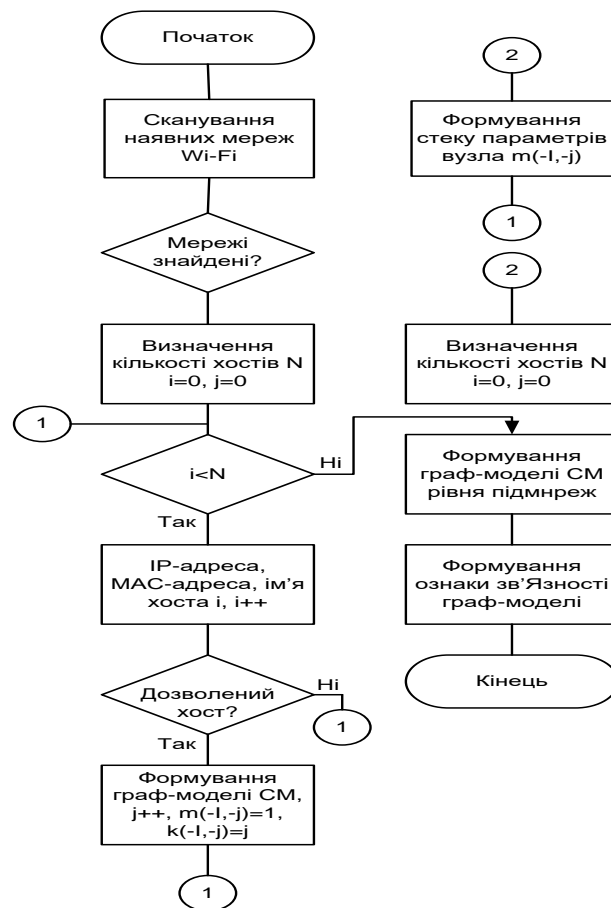


Рис. 4.1. Схема алгоритму синтезу граф-схеми СМ

Отримані дані про топологію СМ є похідними при віртуалізації простору функціонування мережі.

При проведенні імітаційного експерименту було виявлено 4 вузла (рис. 4.2), які відносяться до корпоративної СМ.

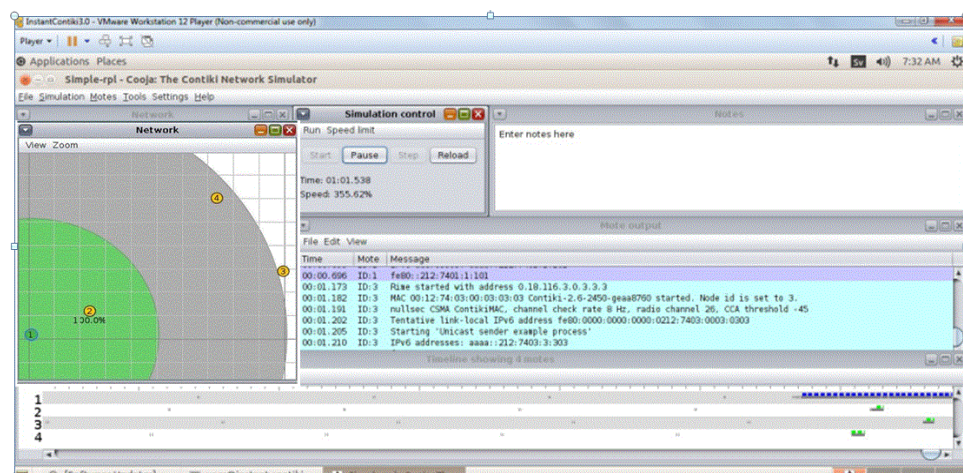


Рис.4.2. Результат сканування СМ

В результаті віртуалізації простору існування мережі для вузла 2 граф-модель і перераховані похідні значення параметрів мережі відображені на рис. 4.3

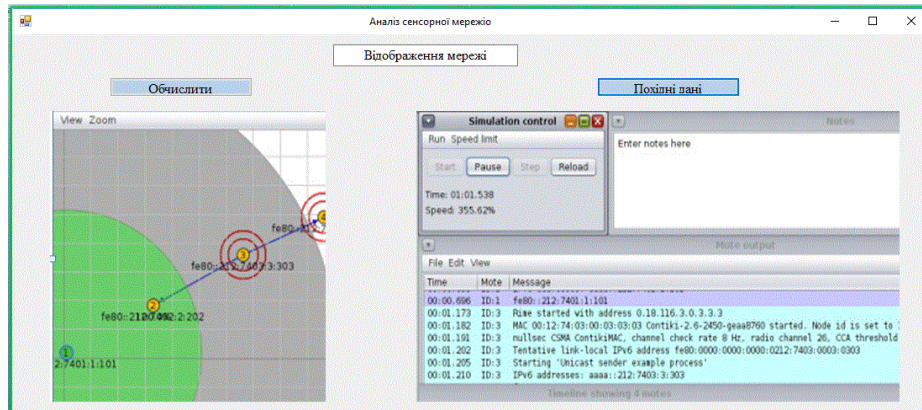


Рис. 4.3. Результат віртуалізації простору функціонування СМ

Правила, відношення і дані про знайдені хости граф-моделі корпоративної сервіс-орієнтованої мережі відображені на рис. 4.3

#### 4.1.2 Імітаційні моделі розрахунку параметрів гарантоздатності

В СМ існує поняття *QoS* (*Quality of Service* - якість обслуговування). В більшості випадків *QoS* визначається чотирма параметрами:

- смуга пропускання каналу зв'язку;
- затримка при передачі пакетів даних ;
- коливання затримки при передачі пакетів даних;
- втрата пакетів даних при передачі.

Разом з тим, на параметри *QoS* впливає взаємне розташування вузлів СМ, що визначає топологічні характеристики мережі, залежить від властивостей бездротових каналів зв'язку вузлів, показників якості обслуговування трафіку та завантаження обчислювальних систем СІУ вузлів.

В загальному випадку, обслуговування трафіку ПД в мережі проводиться по маршрутах, які синтезуються і обираються розподіленою СІУ

маршрутизації з використанням протоколів мережевого рівня, які реалізують метод вибору маршрутів. Маршрут ПД вміщує певну кількість транзитних хопів, що включають в себе вузли і з'єднуючі їх канали зв'язку, які в сукупності визначають затримку доставки даних від вузла-відправника до вузла-одержувача. Також, на кожній з ділянок маршруту ПД може відбутися втрата даних.

Таким чином, якість обслуговування, яку визначають втрати і затримка пакетів даних, залежить від характеристик маршруту ПД, якими є кількість транзитних вузлів СМ, довжини транзитних ділянок маршруту, завантаженість каналів зв'язку між транзитними вузлами, наявність радіозавад та завантаженість обчислювального середовища СІУ вузлів мережі.

У загальному випадку, ці характеристики є випадковими, отже, необхідно визначити їх опис у формальній формі. Також слід мати на увазі, що якість обслуговування залежить і від властивостей трафіку як процесу.

Для дослідження характеристик завантаження транзитних вузлів СМ було проведено імітаційний експеримент, результати якого відображені на рис. 4.4.



Рис. 4.4 Залежність завантаженості обчислювальної системи вузла СМ від часу процесу ПД

За результатами дослідження отримано ідентифікаційну модель у формі поліноміальної функції

$$\eta_{зав}^i = \frac{0.0003t^6 - 0.0367t^5 + 1.8956t^4 - 45.549t^3 + 500.01t^2 - 2302.1t + 15446}{200000}, \quad (4.1)$$

де  $\eta_{зав}^i$  - завантаження транзитного вузла СМ (%),  $t$  - час від початку процесу ПД ( $ms$ ).

Завантаженість вузла також впливає на час очікування обслуговування запитів на ПД (рис. 4.5).

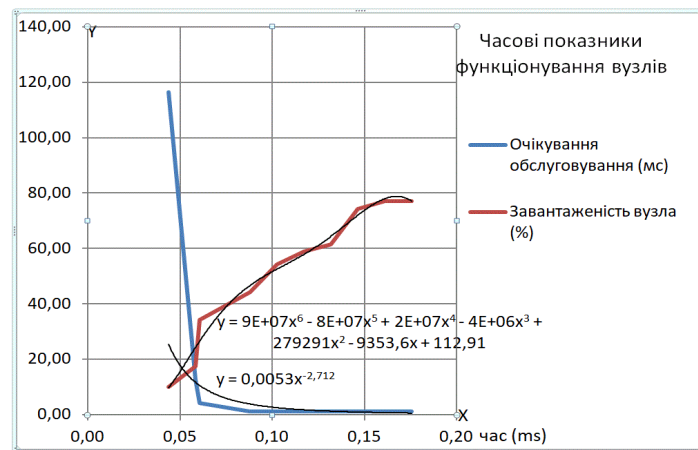


Рис. 4.5. Залежність часу очікування обслуговування від завантаженості обчислювальної системи вузла СМ

Перетин графіків часових значень очікування обслуговування і завантаженості вузла визначає оптимальне функціонування СІУ маршрутизацією вузла СМ.

За результатами дослідження отримано ідентифікаційні моделі завантаженості вузла (4.2) і очікування обслуговування СМ (4.3).

$$\eta_{завантаженості}^i = 9 \times 10^7 t^6 - 8 \times 10^7 t^5 + 2 \times 10^7 t^4 - 4 \times 10^6 t^3 + 279291 t^2 + 112,91, \quad (4.2)$$

де  $\eta_{завантаженості}^i$  - завантаженість транзитного вузла СМ (%),  $t$  - час від отримання запиту на ПД ( $ms$ ).

$$\eta_{вузла}^i = 0.0053t^{-2.712}, \quad (4.3)$$

де  $\eta_{вузла}^i$  - час очікування обслуговування транзитного вузла СМ ( $ms$ ),  $t$  - час від отримання запиту на ПД ( $ms$ ).

Оптимальне співвідношення, що визначає оптимальне функціонування вузла СМ є рішенням рівняння  $\eta^i_{завантаженості} = \eta^i_{вузла}$ .

Надалі при аналізі втрат пакетів даних і швидкості передачі даних з використанням бездротових технологій слід враховувати те, що підтримка протоколів передачі даних може бути апаратною, програмною або змішаною. Протоколи прикладного і мережевого рівня практично завжди підтримуються програмно. Протоколи фізичного та каналного рівнів, тісно пов'язані з середовищем передачі даних і підтримуються апаратно мережевими інтерфейсними адаптерами (картами). Мережевий рівень може підтримуватися як апаратно, так і програмно.

Результати імітаційних експериментів щодо дослідження подій затримки і втрати пакетів даних при передачі бездротовими каналами ПД стандарту IEEE 802.11/a/b/g/n наведені на рис. 4.6.

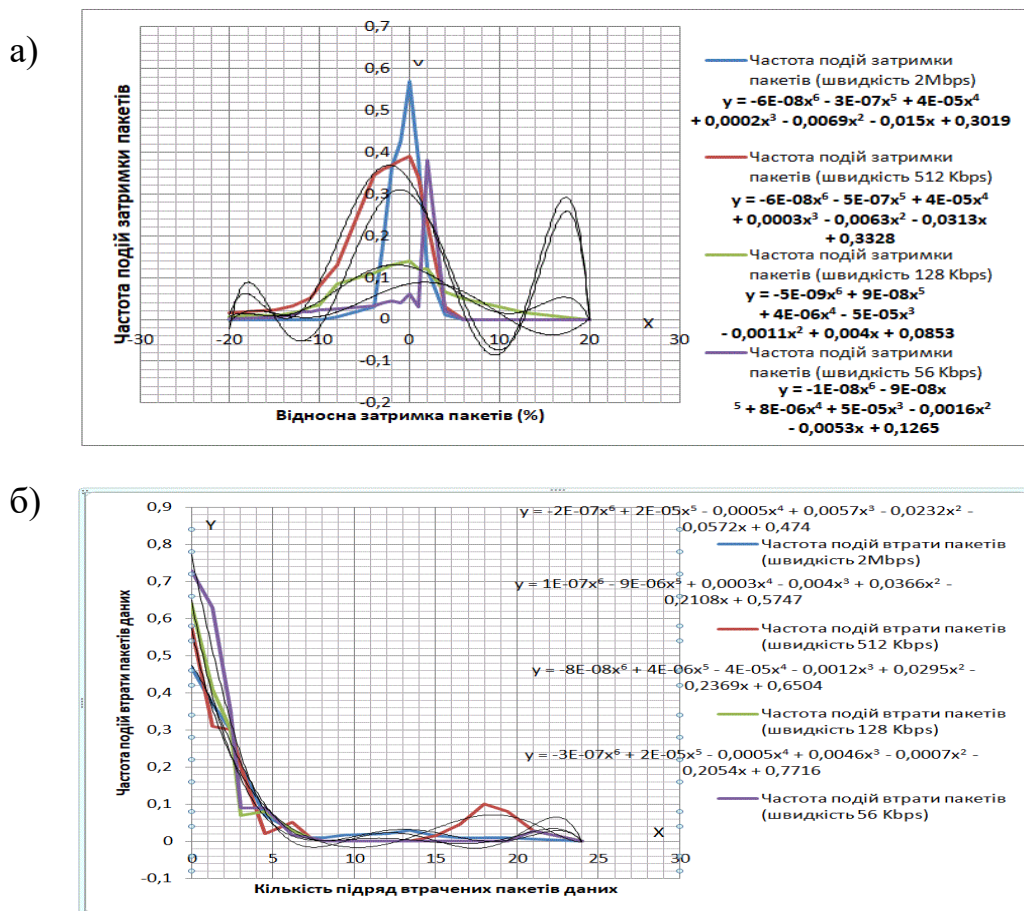


Рис. 4.6. Результати дослідження подій затримки і втрати пакетів даних

Отримані ідентифікаційні моделі дозволяють забезпечувати управління якістю обслуговування при мінімізації втрат пакетів шляхом зміни швидкості передачі даних при інформаційному обміні вузлів СМ.

Для забезпечення процесів віртуалізації простору функціонування СМ проведено імітаційні експерименти щодо встановлення формального опису залежності швидкості ПД від відстані між вузлами мережі. Отримані результати відображені на рис. 4.7.

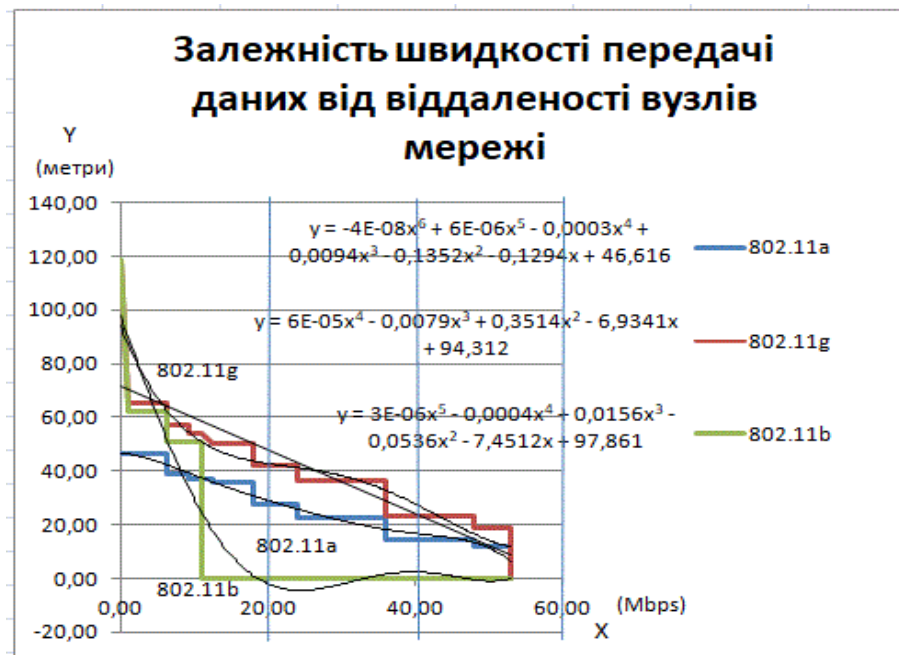


Рис. 4.7. Залежність швидкості ПД від віддаленості вузлів СМ

За результатами дослідження отримано ідентифікаційні моделі віртуалізації відстані між вузлами мережі в залежності від зміни швидкості ПД в каналі (4.4).

$$l^{ij} = \begin{cases} -4 \times 10^{-8} v^6 + 6 \times 10^{-6} v^5 - 0.003 \times 1 v^4 + 0.0094 v^3 - & (802.11 a) \\ -0.1352 v^2 - 0.1294 v + 46.616 & \\ 3 \times 10^{-5} v^6 - 0.0004 v^4 + 0.0156 v^3 - 0.0536 v^2 - & (802.11 b) \\ -7.4512 v + 97.861 & \\ 6 \times 10^{-5} v^4 + 0.0079 v^3 + 0.3514 v^2 - 6.9341 v + 94.312 & (802.11 g) \end{cases}, \quad (4.4)$$

де  $l^{ij}$  - віртуальна відстань між вузлами СМ (*метри*),  $v$  - швидкість ПД в каналі (*Mbps*).

#### **4.1.3 Імітаційна модель синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією в конфліктуючій сенсорній мережі за умов забезпечення гарантоздатності**

Рішення задачі пошуку стратегій оптимального синтезу оптимального маршруту ПД в конфліктуючій СМ ВТ за умов обмежень, невизначеностей і забезпечення гарантоздатності забезпечується шляхом застосування алгоритму евристичного пошуку з використанням МІУВ.

Функція ціни враховує основні чинники, які впливають на показники забезпечення гарантоздатності, обмеження і невизначеності, що притаманні функціонуванню СМ. Функція ціни обчислюється за співвідношеннями (2.16) - (2.19) та (2.25) - (2.29).

В загальному випадку евристичний алгоритм, який розглянуто в розділі 3.4, є А-алгоритмом і застосовується для знаходження оптимального маршруту між двома вершинами граф-моделі СМ. Евристичною функцією алгоритму є віртуальна відстань між вузлами граф-моделі.

Запропонований алгоритм евристичного пошуку має властивості:

- припустимості (якщо розв'язок існує, він буде знайдений);
- оптимальності (знайдений розв'язок завжди оптимальний);
- ефективності (не існує алгоритмів, які знаходять розв'язок швидше із застосуванням тієї ж евристичної функції).

За результатами проведених досліджень МІУВ запропонований евристичний алгоритм є *P*-алгоритмом [85], [89].

Стратегії пошуку щодо вибору гілки маршруту переміщення використано алгоритм евристичного пошуку. В такому разі двосторонні шляхи визначаються графом зв'язку між вершинами з ребрами, які мають орієнтацію в двох протилежних напрямках. Евристична стратегія будується



на основі оцінювання вартості переміщення від вузла-джерела до вузла-отримувача ПД через вершину  $N$  до переходу в  $N$ . В якості функції вартості визначено віртуальну відстань між вершинами графу переміщення. Функція вартості визначається за співвідношеннями (2.16) - (2.19) та (2.25) - (2.29).

Відповідно співвідношенню (3.2) передбачається, що оцінка відстані між вузлами СМ до цільової вершини передається вузлу-відправнику ПД. Евристична стратегія забезпечує сортування послідовності вузлів СМ відповідно синтезованому маршруту ПД.

Використовуючи евристичну стратегію, визначимо маршрут ПД в СМ в двомірному евклідовому просторі віртуальних координат функціонування мережі. (рис. 4.8)

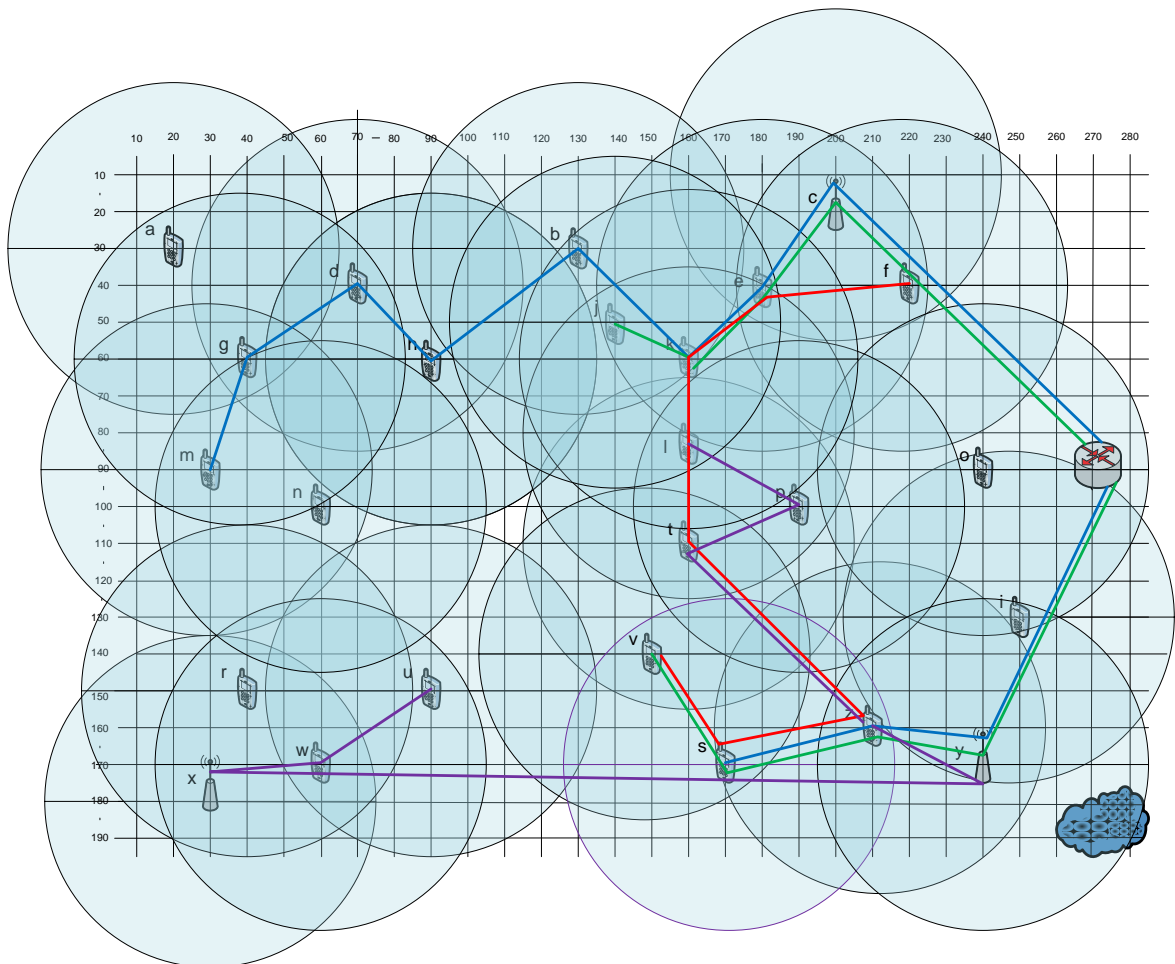


Рис. 4.8. Віртуальний простір функціонування СМ з маршрутами ПД

Відповідно рис. 4.8 вузли мережі представлені в своїх віртуальних координатах:  $xу("a", 20, 30)$ ,  $xу("b", 130, 30)$ , ...,  $xу("z", 170, 160)$ . В термінах

мови програмування *Prolog* (додаток В) віртуальні координати визначаються як двомісні факти, що описують відношення (елементи ланцюжка лінії маршруту ПД), які забезпечують інформаційну взаємодію вузлів мережі, наприклад,  $op("a", "b") . op("b", "m") . op("m", "f")$ .

При евристичному пошуку послідовність вузлів, що визначає лінію (ланцюжок елементів) маршруту має бути відсортована так, щоб найбільш відповідні за значенням функції ціни елементи маршруту (ребра граф-моделі СМ) були поставлені вперед. За алгоритмом сортування кожен елемент маршруту (ребро граф-моделі мережі) представляється за допомогою мовної конструкції  $t(real, real, it)$ , в якій аргумент зберігає значення евристичної функції  $f$  відповідно співвідношенням (2.16) - (2.19) та (2.25) - (2.29). Алгоритм сортування має предикат порівняння, як перший аргумент. Він пересуває самі багатообіцяючі гілки в початок черги.

```

search([T|Queue],S):-
  if goalReached(T) then S= T
  else Extension= [E || toDaughter(T,E)], NewQueue=
  list::append(Queue,Extension),
  BestFirst= list::sortBy(cmp, NewQueue),
  search(BestFirst, S)
end if.

```

Опис фактів, як елементів структури програмного коду, розміщено в модулі *Main.pro* і *Main.cl*:

```

/*****

```

Copyright (c) 2017 Unregistered

```

*****/

```

```

implement main

```

```

  open core

```

```

constants

```

```

  className = "main".

```

```

  classVersion = "".

```

class facts - date

xy: (string, integer, integer).

op: (string, string).

clauses

classInfo(className, classVersion).

clauses

cmp(t(A, \_, \_), t(B, \_, \_)) = greater() :- A > B, !.

cmp(t(A, \_, \_), t(B, \_, \_)) = equal() :- A=B, !.

cmp(\_, \_) = less().

init("a").

goalReached(t(\_,\_,[r(\_,M)|\_])):-

theGoal(R),

R=M.

theGoal("s").

reconsult(FileName) :-

retractFactDB( date),

file::consult(FileName, date).

not\_in\_circle(Stt, Path):-

not(list::isMember(r("", Stt), Path)).

getXY(M, X, Y) :-

xy(M, X, Y), !.

cost(No, NoFilho) = C:-

if getXY(No, XN, YN), getXY(NoFilho, XF, YF)

then

C = math::sqrt(((XN-XF)\*(XN-XF)) + ((YN - YF)\*(YN - YF)))

else

C= 0.0

end if.

hn(N) = HN :-

theGoal(S),

```

if getXY(S, XS, YS), getXY(N, XN, YN)
then
HN= math::sqrt(((XN-XS)*(XN-XS)) + ((YN - YS)*(YN - YS)))
else
HN= 0.0
end if.

search([T|Queue],S):-
if goalReached(T) then S= T
else
Extension= [E || toDaughter(T,E)],
NewQueue= list::append(Queue,Extension),
BestFirst= list::sortBy(cmp,NewQueue),
search(BestFirst, S)
end if.

toDaughter(t(_F,G,[r(B,N)|Path]),t(F1,G1,[r(Op, Child),r(B,N)|Path])):-
op(N, Child),
Op= string::format("Данные передаются от узла % к узлу %", N, Child),
not_in_circle(Child, Path),
G1 = G + cost(N, Child),
F1 = G1 + hn(Child).

prtSolution( t(_,_ ,T)):-
foreach X= list::getMember_nd(list::reverse(T)) do
stdio::write("",X),
stdio::nl
end foreach. solve():-
stdIO::write("\nИспользовать данные геолокации (да) или данные расчета
виртуального расстояния (нет) ? : "),
X = stdio::readLine(),
if (X="нет") then reconsult("data3.txt") else reconsult("data4.txt") end if,
if init(E),

```

```

search([t(hn(E),0,[r(" ",E)]),S),stdio::write("\nДанные передаются от узла :
",E,"\n")
    then prtSolution(S)
    else
        stdio::write("Нет решения") end if. run():-
console::init(),
console::clearOutput(),
%console::setTextAttribute(3,4),
console::setConsoleTitle("Метод интегрального усечения вариантов
(эвристический поиск) ",E, "\n"),
%console::setTextAttribute(11),
stdio::write("Эвристический поиск\n"),
stdio::nl,
stdio::write("\nДвухмерное пространство поиска\n"),
stdio::nl,
solve(),
stdio::write("\nПродолжить расчеты (да/нет) ? : "),
X = stdio::readLine(),
if (X="да") then solve () else succeed() end if,
succeed(),
fail.
run():- stdio::write("\nДля продолжения процесса моделирования
нажмите клавишу ENTER ---> "),
_ = stdio::readLine(),
succeed().
end implement main
goal
mainExe::run(main::run).
Main.cl

```

```

/*****

```

Copyright (c) 2017 Unregistered

```

*****/

```

```

class main

```

```

    open core

```

```

domains

```

```

    item=r(string, string).

```

```

    it= item*.

```

```

    node=t(real, real, it).

```

```

    tree=node*.tle= string.

```

```

    %sm=string*.

```

```

predicates

```

```

    classInfo : core::classInfo.

```

```

    % @short Class information predicate.

```

```

    % @detail This predicate represents information predicate of this class.

```

```

    % @end

```

```

    getXY:(string, integer, integer) determ (i, o, o).

```

```

    cost: (string, string) -> real.

```

```

    hn: (string) -> real.

```

```

    not_in_circle: (string, it) determ (i,i).

```

```

    theGoal: (string) procedure (o).

```

```

    toDaughter: (node, node) nondeterm (i,o).

```

```

    init:(string) procedure (o).

```

```

    goalReached:(node) determ.

```

```

    search: (tree, node) determ (i,o).

```

```

    prtSolution: (node) procedure (i).

```

```

    solve: () procedure.

```

```

    reconsult : (string) procedure (i).

```

```

    cmp:(node, node) -> compareResult.

```

```

predicates

```

```
run : core::runnable.
```

```
end class main
```

За технологією програмування виділено окремий клас *Main.cl*, який вміщує клас опису доменів та предикатів, які використовуються в програмі.

Для забезпечення гнучкості алгоритму та незалежності генеруємих стратегій вибору від структури графу опису шляхів переміщення:

а) опис фактів взаємного зв'язку вершин винесено в окремий файл *data3.txt* вміщує віртуальні координати вузлів СМ *data3.txt* та *data4.txt*.

```
op("g", "a").  op("g", "d").  op("d", "g").  op("d", "h").
op("h", "d" ). op("g", "m").  op("m", "g").  op("g", "n").
op("n", "g").  op("m", "n").  op("n", "m").      op("r", "w").
op("w", "r").  op("w", "u").  op("u", "w").  op("b", "j").
op("j", "b").  op("b", "k").  op("k", "b").  op("j", "k").
op("k", "j").  op("e", "k").  op("k", "e").  op("l", "k").
op("k", "t").  op("l", "t").  op("t", "k").  op("l", "p").
op("p", "l").  op("t", "p").  op("p", "t").  op("f", "e").
op("e", "f").  op("o", "i").  op("i", "o").  op("z", "s").
op("s", "z").  op("v", "s").  op("s", "v").  op("x", "w").
op("w", "x").  op("r", "x").  op("x", "r").  op("z", "t").
op("y", "z").  op("c", "f").  op("f", "c").  op("c", "e").
op("e", "c").  op("x", "y").  op("y", "x").  op("c", "y").
op("y", "c").  op("c", "x").  op("x", "c").  op("h", "b").
op("b", "h").  op("a", "g" ).;
```

б) віртуальні координати вузлів СМ *data4.txt*.

```
xy("a", 20, 30).  xy("b", 130, 30).  xy("d", 70, 40).  xy("e", 180, 40).
xy("f", 220, 40).  xy("j", 140, 50).  xy("g", 40, 60).  xy("h", 90, 60).
xy("k", 160, 60).  xy("l", 160, 80).  xy("m", 30,90).  xy("o", 240, 90).
xy("n", 60, 100).  xy("p", 190, 100).  xy("t", 160, 110).  xy("i", 250, 130).
xy("v", 150, 140).  xy("r", 40, 150).  xy("u", 90, 150).  xy("z", 200, 160).
```

ху("w", 60, 170). ху("s", 170, 170). ху("x", 20, 180). ху("y", 240, 170).  
ху("c", 200, 20).

Файл опису фактів *data3.txt* вміщує віртуальні координати вузлів СМ, та правила і відношення, які відображають топологію мережі (рис 4.8).

Відповідно похідних даних, що вміщує файл опису фактів *data3.txt*, для топології СМ розраховано маршрути ПД (рис. 4.9).

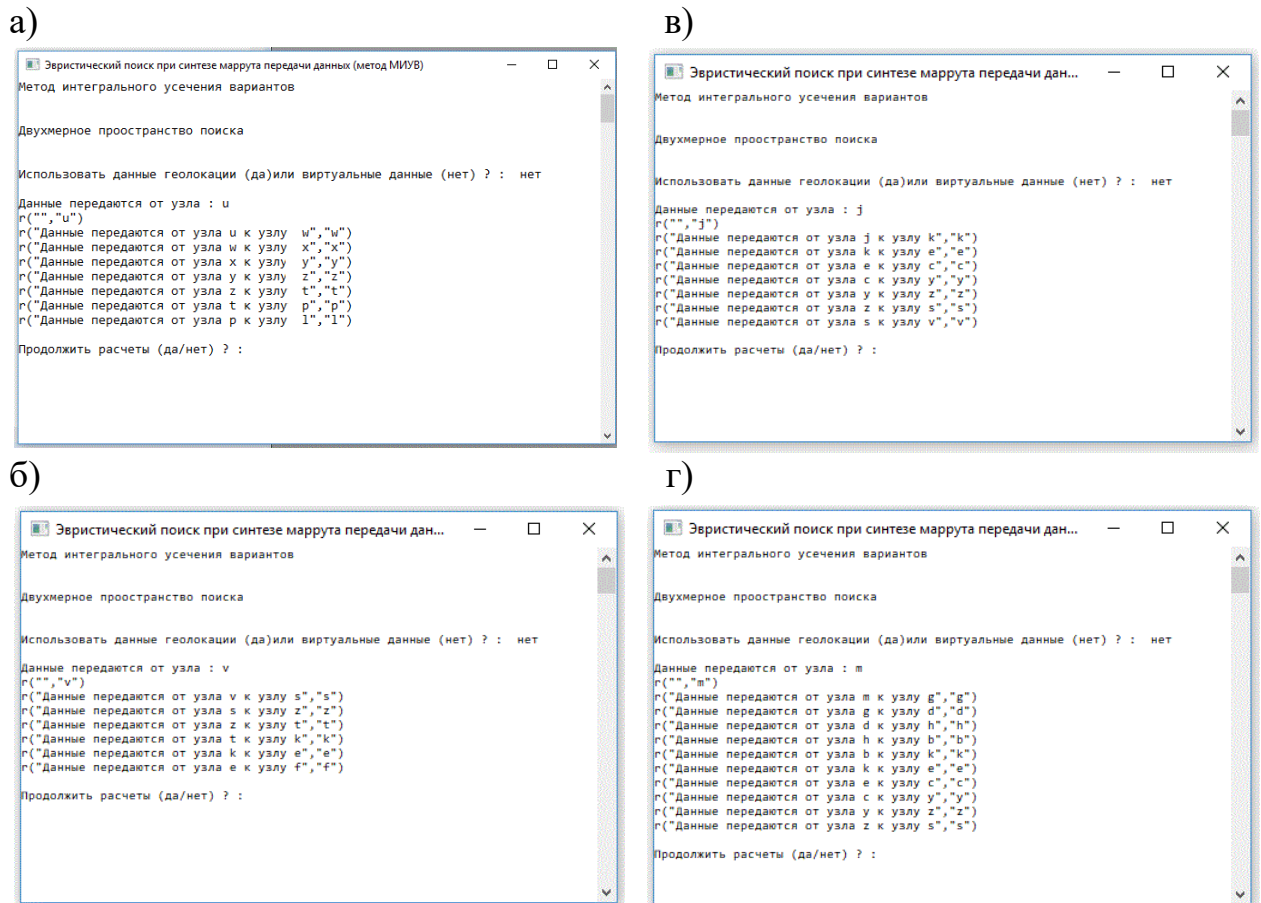


Рис. 4.9. Розрахунки маршрутів передачі даних

Відповідно результатам розрахунку маршрутів ПД для СМ визначені віртуальні координати вузлів мережі і побудовані маршрути ПД. Результатам розрахунків відповідають ланцюжки відображення схеми інформаційної взаємодії вузлів мережі (рис. 4.8) при здійсненні ПД, якими є ламані лінії “*uvwxyztpl*”, “*jkecyzsv*”, “*mgdhbkecyzs*” і “*vsztkef*”.

Результати дослідження часових показників функціонування СІУ маршрутизацією ПД в СМ на прикладі мережі, топологія якої відображена на



рис. 4.8, наведені в таблиці 4.1. Для дослідження і порівняння обрано два евристичні алгоритми: мурашиний і МІУВ. При різних навантаженнях на вузли СМ, що відповідають процесам ПД за маршрутами отримано мінімальний вигравш в часі ПД не менше, ніж у 2,17 рази при використанні методів розпаралелювання обчислень функції ціни та віртуалізації простору функціонування мережі [101] і не менше ніж у 2,22 рази без застосування технології розпаралелювання обчислень, а також незначних навантаженнях на мережу.

Таблиця 4.1  
Часові показники функціонування СІУ маршрутизацією

		Кількість пакетів даних за маршрутом ПД	Час обчислення, мсек											
			Послідовне обчислення						Паралельне обчислення					
Метод управління маршрутизацією за умов забезпечення гарантоздатності	Евристичний алгоритм МІУВ	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
	Мурашиний алгоритм	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 вузлів сенсорної мережі											

При передачі поточкових даних мультимедійного контенту застосування евристичного алгоритму МІУВ в порівнянні з мурашиним алгоритмом показує ще більшу часову ефективність за умов забезпечення гарантоздатності.

За результатами аналізу характеристик функціонування розподіленої СІУ маршрутизацією ПД в конфліктуючих гарантоздатних СМ можна зробити такі висновки:

а) часові показники рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту передачі даних розподіленою системою інтелектуального

управління маршрутизацією в дослідній СМ ВТ показують, що без розпаралелювання обчислень застосування розробленого евристичного алгоритму при порівнянні з мурашиним алгоритмом дає мінімальний вигреш в часі не менше, ніж в 1,22 рази;

б) застосування технології розпаралелювання обчислень [101] в розподіленій системі інтелектуального управління маршрутизацією за алгоритмом методу інтегрального усікання варіантів в порівнянні з мурашиним алгоритмом дає вигреш в часі обчислень не менше, ніж в 2,17 рази (рис. 4.10).

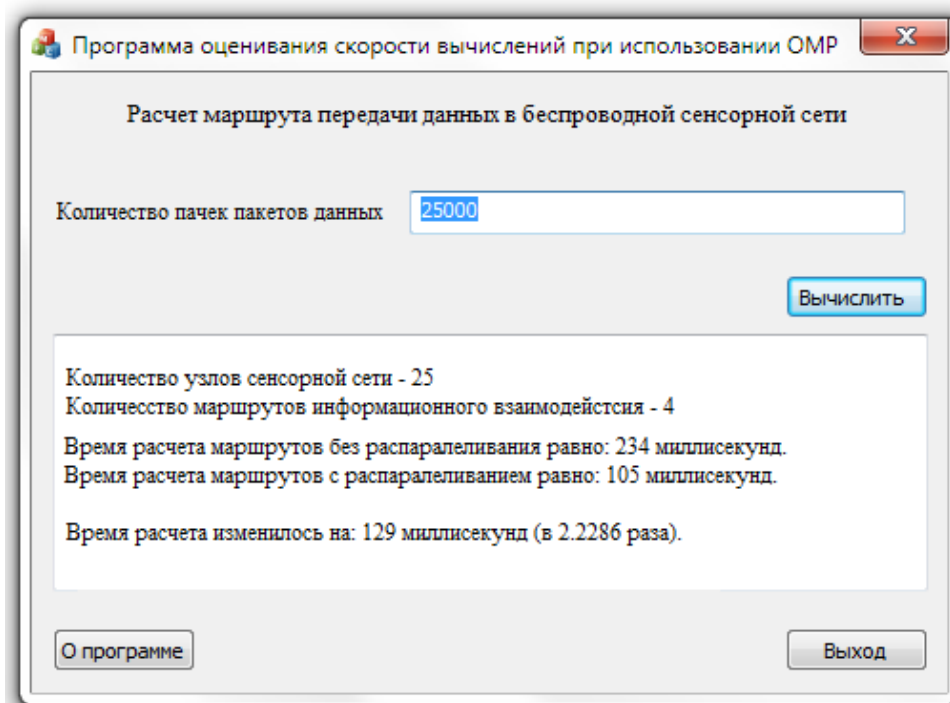


Рис. 4.10. Оцінка ефективності застосування технологій розпаралелювання обчислень

в) евристичний алгоритму синтезу і вибору маршруту передачі даних за методом інтегрального усікання варіантів в розподіленій СІУ маршрутизацією є поліноміальним в часі щодо кількості вузлів мережі (рис. 4.11).

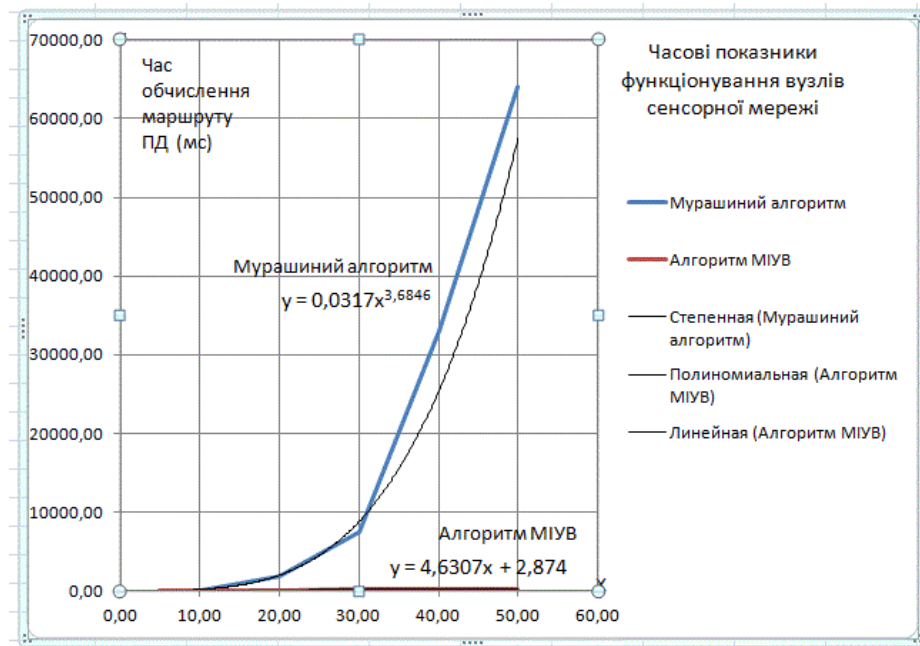


Рис. 4.11. Часові характеристики обчислення маршруту ПД

За результатами імітаційного експерименту для СМ з продуктивністю вузлів 0,6 gigaFLOPS отримано аналітичний вираз, що визначає функцію залежності часу синтезу і вибору маршруту ПД від кількості вузлів гетерогенної мережі

$$t_{\text{мури}} = 4,6307x + 2,874 \text{ (ms)}. \quad (4.5)$$

Значення  $t_{\text{мури}}$  отримано для маршруту ПД, який відповідає режиму дуплексного режиму обміну речовими повідомленнями при завантаженні мережі до  $25000 \frac{\text{пакетів}}{\text{сек}}$ . За співвідношенням (4.1)  $t_{\text{мури}} < 500 \text{ (ms)}$  для СМ з кількістю вузлів  $n \leq 100$ .

Концепція дисертаційного дослідження передбачає забезпечення функціональної стійкості СІУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ. При цьому всі можливі стани СМ розглядаються як припустимі і СІУ має синтезувати стратегії управління маршрутизацією, як функціонально стійке управління, що має забезпечувати цільові функції мережі для досягнення головної мети, навіть в умовах відмов.

#### 4.2. Дослідження характеристик стійкості функціонування інтелектуального перетворювача динамічної розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних

Стан динамічної СІУ вузла СМ (рис. 4.12) визначає сукупність похідних параметрів стану системи  $[x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]$ , вихідних змінних  $y_1(t)$  і  $y_2(t)$ , вхідних змінних  $u_1(t)$  і  $u_2(t)$ . Початковими умовами СІУ є  $x_i(t), t = t_0 \forall i = \overline{1, n}$ , де  $n$  - мірність вектору параметрів стану системи. В такому разі для вхідних сигналів  $u_1(t), u_2(t), t \geq t_0 \forall i = \overline{1, n}$  для визначення вихідних змінних стану динамічної системи для окремого ізольованого вузла мережі визначимо вхідні сигнали  $u_1(t) = u_2(t) = 0$ .

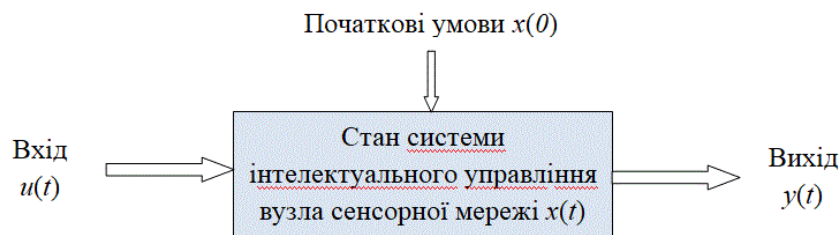


Рис. 4.12. Динамічна СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ

В загальному вигляді динамічну СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ можна описати системою лінійних диференційних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\alpha x_1 - \beta x_2 + u_1(t) \\ \frac{dx_2}{dt} = -\beta x_1 - \gamma x_2 + u_2(t), \\ \frac{dx_3}{dt} = \alpha x_1 + \gamma x_2 \end{cases} \quad (4.6)$$

де  $x_1$  - кількість необроблених запитів на ПД СІУ вузла,  $x_2$  - інтенсивність надходження запитів на ПД до СІУ вузла,  $x_3$  - кількість оброблених запитів на ПД СІУ вузла,  $u_1(t)$  - поточна швидкість ПД каналу запитів до вузла,  $u_2(t)$  -

поточна швидкість GL вихідного каналу запитів до наступного вузла маршруту.

Згідно (4.6) сигнальний граф відображає процес функціонування СІУ маршрутизацією ПД вузла мережі.

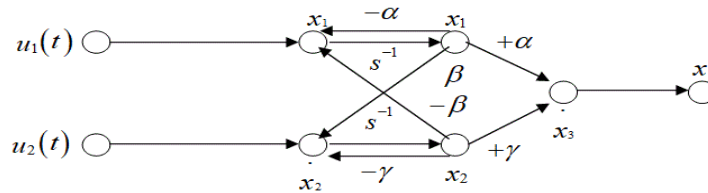


Рис. 4.13. Сигнальний граф функціонування СІУ вузла мережі

В такому разі рівняння стану динамічної СІУ у векторно-матричній формі можна записати у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha & \beta & 0 \\ \beta & -\gamma & 0 \\ \alpha & \gamma & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}. \quad (4.7)$$

З співвідношення (4.7 3.16) слідує, що змінна  $x_3$  є залежною від змінних  $x_1$  і  $x_2$ , але не впливає на них. Таким чином, при функціонуванні СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ в режимі обміну даними змінні  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$  є ізольованими,  $u_1(t) = u_2(t) = 0$ , що свідчить про рівновагу за умови  $\frac{dx}{dt} = 0$ . Зі співвідношення (4.7) слідує, що СІУ буде знаходитись в стані рівноваги при  $x_1 = x_2 = 0$ . Тобто початковий стан СІУ є сталим.

Сигнальний граф (рис. 4.13 3.3) має три контури, два з яких не є дотичними один до одного. Таким чином детермінант графа має значення

$$\Delta(s) = 1 - (-\alpha s^{-1} - \gamma s^{-1} - \beta^2 s^{-2}) + \alpha \gamma s^{-2}, \quad (4.8)$$

де  $s = i\omega$  - комплексний аргумент перетворення Лапласа.:

Враховуючи (4.8 3.17), характеристичне рівняння СІУ вузла матиме вигляд

$$q(s) = s^2 \Delta(s) = s^2 + (\alpha + \gamma)s + (\alpha\gamma + \beta^2) = 0. \quad (4.9)$$

Таким чином, залежність змінної стану СІУ  $X_i(s)$  з врахуванням початкових умов визначається за формулою Мейсона і в загальному випадку має вигляд.

$$\begin{cases} X_i(s) = \varphi_i^j(s)x_i(j-1) + \varphi_i^{j+1}(s)x_{i+1}(j-1) \\ X_{i+1}(s) = \varphi_{i+1}^j(s)x_i(j-1) + \varphi_{i+1}^{j+1}(s)x_{i+1}(j-1) \end{cases}, \forall i = \overline{1, n}, j = \overline{1, k}, \quad (4.10)$$

де  $n$  - кількість вузлів ланцюгу елементів маршруту ПД,  $k$  - кількість запитів на ПД в  $j$ -й пачці пакетів.

В співвідношенні (4.9) зв'язок між значеннями  $X_{i+1}(s)$  і  $x_i(j-1)$  визначається формулою Мейсона за сигнальним графом (рис. 4.13). Усі елементи перехідної матриці стану  $\varphi_i^j(s)$  можна визначити шляхом встановлення зв'язку  $X_i(s)$  і  $x_i(j-1)$  відповідно структури сигнального графу.

Співвідношення (4.10 3.25) співпадає з моделлю процесу обробки запитів при реверсивній передачі даних між двома вузлами (3.2). Тобто сталість СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ можна дослідити за характеристичним рівнянням (4.6). Оскільки для коефіцієнтів системи диференціальних рівнянь (4.6) виконується умова  $(\alpha + \gamma) > 0$  і  $(\alpha\gamma + \beta^2) > 0$  - корні характеристичного рівняння знаходяться в лівій половині  $s$ -площини. Таким чином, вільний рух системи (3.14) при  $t \rightarrow \infty$  прямує до нуля, а СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ є стійкою.

Виходячи з співвідношень (3.14) – (3.19) можна дослідити властивості СІУ маршрутизацією ПД в СМ.

Визначимо коефіцієнти  $\alpha = \beta = \gamma = 1$ , а  $u_1(t) = u_2(t) = 0$ . В такому разі рівняння стану динамічної СІУ у векторно-матричній формі (4.7) можна записати у вигляді:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 10 \\ 01 \\ 00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}. \quad (4.11)$$

Характеристичне рівняння (4.10) має вигляд  $s^2 + 2s + 2 = 0 \Rightarrow s_{1,2} = -1 \pm i$

В такому разі постійна часу  $\frac{1}{\zeta\omega_n} = 1$  сек. Визначимо період  $T = 0,2$  сек, що не

перевищує припустимий час затримки при перелачі звукових повідомлень і менше часу синтезу і вибору маршруту ПД в СІУ маршрутизації вузла СМ.

Отримаємо рівняння стану в дискретній формі

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 0 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix} u_2(k), \quad (4.12)$$

за яким для початкових умов  $x_1 = x_2 = x_3 = k = 0, t = T$  обчислимо часові показники реакції СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ (рис. 4.14), враховуючи те, що  $u_2(k) = 0, \forall k \geq 1$ :

$$x(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad x(2) = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,04 \\ 0,16 \\ 0,04 \end{bmatrix},$$

$$x(3) = \begin{bmatrix} 0,8 & -0,2 & 0 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0,04 \\ 0,16 \\ 0,04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,064 \\ 0,120 \\ 0,064 \end{bmatrix}.$$

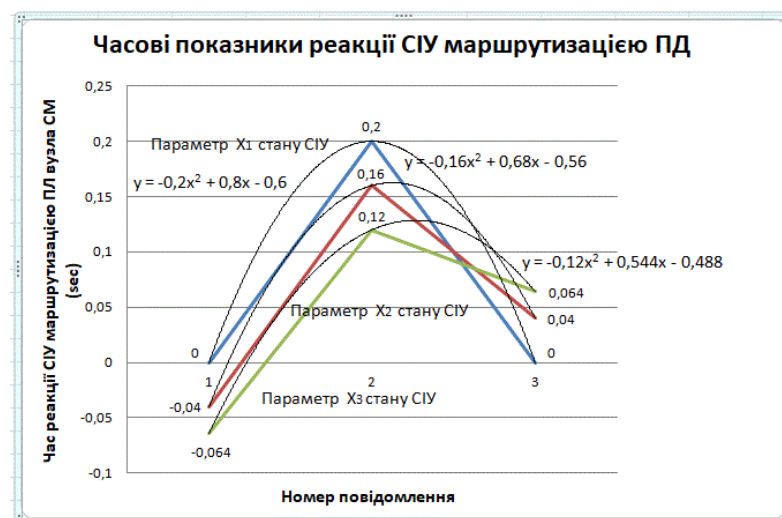


Рис. 4.14. Часові показників реакції лінійної СІУ

Виходячи з того, що параметри часу мають бути додатними, уточнимо модель (4.6) динамічної СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ у вигляді системи нелінійних диференційних рівнянь. В такому разі рівняння стану динамічної СІУ можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -\alpha x_1 - \beta x_1 x_2 + u_1(t) \\ \frac{dx_2}{dt} = -\beta x_1 x_2 - \gamma x_2 + u_2(t) \\ \frac{dx_3}{dt} = \alpha x_1 + \gamma x_2 \end{cases} \quad (4.13)$$

В такому разі, при розробці ПЗ СІУ управління маршрутизацією ПД вузла СМ має враховуватись взаємодія ПД на рівні завантаженості обчислювального середовища вузла мережі.

Визначимо коефіцієнти моделі  $\alpha = \beta = \gamma = 1$ ,  $u_1(t) = 0$ , і  $u_2(k) = 1, \forall k \geq 1$  для шагу дискретності  $T = 0,2$  сек та задамо початкові умови у вигляді  $x^T(0) = [100]$ . Визначимо  $t = kT$  отримаємо співвідношення для алгоритму оцінки параметрів часу для управління маршрутизацією ПД з врахуванням навантаження на обчислювальні засоби вузла мереж

$$\begin{aligned} \dot{x}(k) = \frac{x_i(k+1) - x_i(k)}{T}, i=1,3 &\Rightarrow \begin{cases} \frac{x_1(k+1) - x_1(k)}{T} = -x_1(k) - x_1(k)x_2(k) \\ \frac{x_2(k+1) - x_2(k)}{T} = x_1(k)x_2(k) - x_2(k) + u_2(k) \\ \frac{x_3(k+1) - x_3(k)}{T} = x_1(k) + x_2(k) \end{cases} \\ \Rightarrow \begin{cases} x_1(k+1) = 0,8x_1(k) - 0,2x_1(k)x_2(k) \\ x_2(k+1) = 0,8x_2(k) + 0,2x_1(k)x_2(k) + 0,2u_2(k) \\ x_3(k+1) = x_3(k) + 0,2x_1(k) + 0,2x_2(k) \end{cases} \\ \Rightarrow \begin{cases} x_1(1) = 0,8x_1(0) = 0,8 & \begin{cases} x_1(2) = 0,8x_1(1) - 0,2x_1(1)x_2(1) = 0,608 \\ x_2(2) = 0,8x_2(1) + 0,2x_1(1)x_2(1) = 0,192 \\ x_3(2) = x_3(1) + 0,2x_1(1) + 0,2x_2(1) = 0,40 \end{cases} \\ x_2(1) = 0,2u_2(0) = 0,2 \\ x_3(1) = 0,2x_1(0) = 0,2 \end{cases} \end{aligned}$$

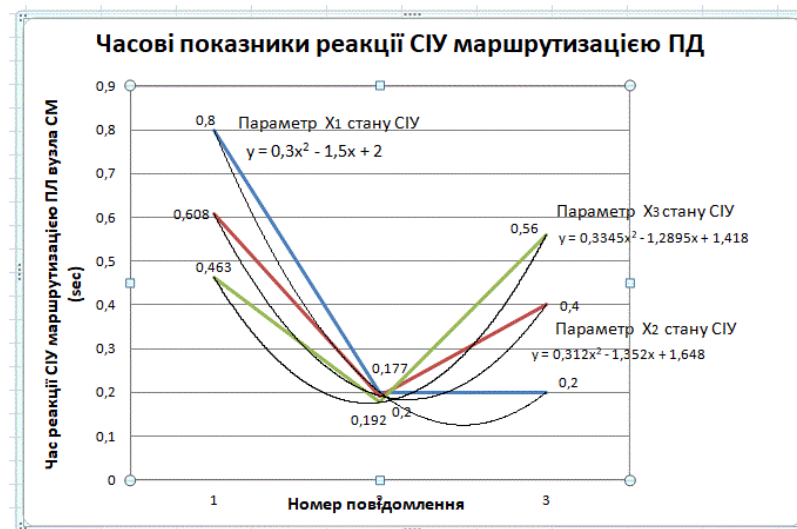


$$\Rightarrow \begin{cases} x_1(3) = 0,463 \\ x_2(3) = 0,177 \\ x_3(3) = 0,56 \end{cases}$$

З розрахунків видно, що реакція нелінійної СІУ (рис. 4.15) суттєво відрізняється від лінійної (рис. 4.14).

Дослідження процесів управління маршрутизацією ПД в СІУ вузла в експериментальній мережі (рис. 4.15) свідчать про відповідність параметрів часу реакції в теоретичній і експериментальній моделях СУ вузла мережі.

а)



б)

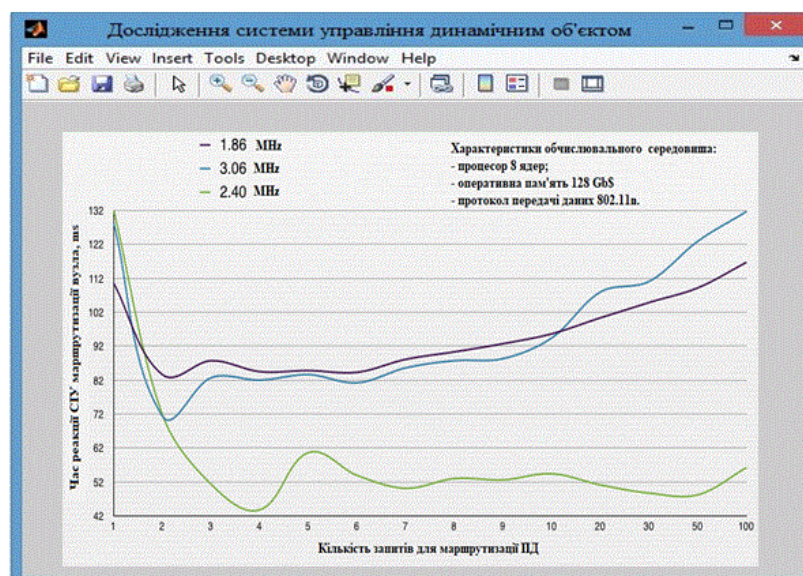


Рис. 4.15. Часові показники реакції нелінійної СІУ за теоретичними (а) і експериментальними (б) дослідженнями

Отримані в результаті імітаційного експерименту показали, що в процесі ПД має місце незначна затримка при синтезі і виборі маршруту передачі, яка може враховуватись при віртуалізації простору параметрів СМ.

Усі імітаційні експерименти проводились без врахування можливості розпаралелювання обчислювальних процесів в багатоядерних процесорах обчислювальних систем вузлів СМ на макеті інформаційної технології захищеного обміну даними "CriptoLan".

### **Висновки до четвертого розділу**

1. За результатами аналізу характеристик функціонування розподіленої СІУ маршрутизацією ПД в конфлікуючих гарантоздатних СМ можна зробити такі висновки:

а) часові показники рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту передачі даних розподіленою системою інтелектуального управління маршрутизацією в дослідній СМ ВТ показують, що без розпаралелювання обчислень застосування розробленого евристичного алгоритму при порівнянні з мурашиним алгоритмом дає мінімальний виграш в часі не менше, ніж в 1,22 рази;

б) застосування технології розпаралелювання обчислень в розподіленій системі інтелектуального управління маршрутизацією за алгоритмом методу інтегрального усікання варіантів в порівнянні з мурашиним алгоритмом дає виграш в часі обчислень не менше, ніж в 2,17 рази;

в) евристичний алгоритму синтезу і вибору маршруту передачі даних за методом інтегрального усікання варіантів в розподіленій СІУ маршрутизацією є поліноміальним в часі щодо кількості вузлів мережі.

2. Поліноміальний час рішення задачі синтезу і вибору маршруту ПД в СМ ВТ забезпечується завдяки множинному уявленню й віртуалізації простору рішення, а також застосуванню принципу розподіленості СІУ та

використанню технології розпаралелювання в обчислювальних середовищах СІУ вузлів мережі.

3. Запропоновано модель динамічної СІУ маршрутизацією ПД вузла СМ, досліджено властивості сигнального графу процесу функціонування моделі динамічної СІУ маршрутизацією ПД. Отримано характеристичне рівняння функціонування СІУ маршрутизацією вузла мережі.

4. За результатами аналізу процесів в нелінійній СІУ вузла СМ можна зробити такі висновки щодо стійкості розподіленої СІУ маршрутизацією ПД в СМ і її елементів:

а) СІУ маршрутизацією вузла мережі є стійкою;

б) розподілена СІУ ПД в СМ ВТ і її елементи (вузли) забезпечує можливість перерозподілу обчислювальних можливостей і ресурсів у самій мережі, що відповідає вимогам функціональної стійкості та забезпечення гарантоздатності [100];

в) дослідження процесів управління маршрутизацією ПД в СІУ вузла в експериментальній СМ свідчать про відповідність параметрів часу реакції в теоретичній і експериментальній моделях СУ вузла мережі.

5. За результатами дисертаційної роботи розроблена інформаційна технологія захищеного обміну даними на базі мобільних пристроїв (смартфонів і планшетів) з операційною системою Android.

Основні результати розділу опубліковані у роботах [100], [101], [104], [106], [107], [108], [100], [101], [110], [111].

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримано принципово нове вирішення актуальної наукової задачі, що полягає у підвищенні ефективності управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології за рахунок використання систем інтелектуального управління в умовах забезпечення гарантоздатності при наявності обмежень і невизначеностей. За результатами аналізу та узагальнення загально наукових і методологічних засад щодо існуючих підходів і методів управління маршрутизацією об'єктами-процесами в роботі, *по-перше*, проведено обґрунтування та досліджено проблеми управління маршрутизацією власне у сервіс-орієнтованих сенсорних мережах варіативної топології за умов конфлікту взаємодії їх вузлів, *по-друге*, запропоновано структуру СУ такими мережами й, *по-третє*, сформульовано наукову задачу, що підлягає вирішенню та запропоновано загальну концепцію дисертаційного дослідження.

До основних результатів дисертаційного дослідження слід віднести:

1) метод формального уявлення СМ ВТ у вигляді математичної моделі і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі, **впровадження якого дозволило:** визначити властивості методу синтезу і вибору гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД за умови врахування множини параметрів, які визначають властивості гарантоздатного функціонування мережі; визначити оптимальні маршрути ПД згідно критерію гарантоздатності за умови обмежень та невизначеностей; розробити алгоритм синтезу і вибору гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД за умови врахування множини параметрів, які визначають властивості гарантоздатного функціонування мережі в умовах конфлікту, як задачі динамічної дискретної оптимізації;

2) метод синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД СМ ВТ, **впровадження якого дозволило:** визначити чисельне подання моделі синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД в конфліктуючій мережі; визначити

оптимальний маршрут ПД в мережі за умов синтезу та вибору оптимального рішення СІУ; *визначити* формалізовану структуру алгоритму, що спрощує процес синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД в мережі; *розробити* інформаційну технологію рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту ПД в розподіленій СІУ СМ; *визначити* показники стійкості ІІ вузла мережі;

3) метод формування функціонального віртуального простору параметрів СМ ВТ, **впровадження якого дозволило:** *врахувати* невизначеність при переміщенні об'єктів мережі; *визначити* множини гарантованого управління маршрутизацією ПД в мережі; *визначити* інтегральне формальне множинне уявлення простору рішень відповідно до запропонованої ТММ опису мережі.

Результати імітаційного моделювання процесів щодо удосконалення інформаційних технологій автоматизації процесів оптимального управління маршрутизацією ПД сервіс-орієнтованими сенсорними мережами варіативної топології при наявності обмежень і невизначеностей, а також дослідження характеристик функціонування СІУ СМ ВТ з продуктивністю вузлів мережі 0,6 gigaFLOPS свідчать, про те, що:

- застосування евристичного алгоритму методу синтезу й вибору маршруту ПД в розподіленій СІУ СМ ВТ дає вигреш в часі не менше, ніж в 1,22 рази в порівнянні з мурашиним алгоритмом;

- застосування технології розпаралелювання обчислень за розробленим евристичним алгоритмом в розподіленій СІУ СМ ВТ в порівнянні з мурашиним алгоритмом дає вигреш в часі обчислень не менше, ніж в 2,17 рази;

- евристичний алгоритм синтезу і вибору маршруту передачі даних в розподіленій СІУ маршрутизацією ПД є поліноміальним в часі щодо кількості вузлів мережі, а власне сама розподілена СІУ маршрутизацією ПД при застосуванні такого алгоритму є стійкою.

У своїй сукупності отримані в роботі наукові результати утворюють нову інформаційну технологію управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ при наявності обмежень і невизначеностей та за умов конфлікту взаємодії їх вузлів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адельсон-Вельский Г.М., Арлазаров В.А., Донской М.В. Программирование игр. Москва: Наука, 1978. 256с.
2. Адельсон-Вельский Г.М. Потокковые алгоритмы . Москва: Наука, 1975. 119с.
3. Абрамова Н.Т. Целостность и управление .Москва: Наука,1974. 248с.
4. Аджемов, А.С., Васильев А.Б., Кучерявий А.Е. Перспективные направления развития сетей связи общего пользования .*Электросвязь*. 2008. №10. С. 6-7.
5. Аджемов, А.С. Задачи гармонизации технологии Softswitch с особенностями построения российских сетей связи. *Электросвязь*. 2003. №11. С. 56-62.
6. Алексеев В.М., Тихомиров В.И., Фомин С.В. Оптимальное управление .Москва: Наука, 1979. 223с
7. Айзерман М.А., Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории. Москва: Наука, 1990. 240с.
8. Ахо А., Хопкрофт Д., Ульман Д. Структуры данных и алгоритмы. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2000. 384с.
9. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем. Киев: НАОУ, 2004. 226 с.
10. Берж К. Общая теория игр нескольких лиц. Москва: Физматгиз, 1961. 126с.
11. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных Москва: Мир, 1989. 544с.
12. Бершадский А. М., Курилов Л.С., Финогеев А.Г. Обзор методов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях . *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2012. № 1. С. 47–57.

13. Васильев, А.Б., Тарасов Д.В., Андреев Д.В., Кучерявый А.Е. Тестирование сетей связи следующего поколения. Москва: Издательство ФГУП ЦНИИС, 2008. 144 с.
14. Васин В.Н. Дедукция и обобщение в системах принятия решений. Москва: Наука, 1988. 384с.
15. Вайман М.Я. Исследование систем, устойчивых в "большом". Москва: Наука, 1981. 255с.
16. Варгаузин В.А. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4. *ТелеМультимедиа*. 2005. №6. С. 23-27.
17. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных. Москва: Мир, 1989. 360с.
18. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных. Москва: Мир, 1989. 360с.
19. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. Москва: Техносфера, 2003. 512 с.
20. Вилкас Э.И. Оптимальность в играх и решениях. Москва: Наука, 1990. 256с.
21. Волков Е.А. Численные методы. Москва: Наука, 1982. 254с.
22. Военные системы радиосвязи / ред. Игнатова В. В. Ленинград: ВАС, 1990. 268 с.
23. Воробьев Н.Н. Основы теории игр. Бескоалиционные игры. Москва: Наука, 1984. 496с.
24. Герасимов А.И. Теория и практическое применение стохастических сетей. Москва: Радио и связь, 1994. 175с.
25. Гладкий А. В. Формальные грамматики и языки. Москва. : Наука. 1973. 368 с.
26. Гладун П.В. Эвристический поиск в сложных средах. Киев: Наукова думка, 1977. 166с.
27. Глушков В.М. Введение в кибернетику. Киев: АН УССР, 1964. 324с.

28. Глушков В.М. Введение в кибернетику. Киев: АН УССР, 1964. 324с.
29. Гнатушенко В. Модель оптимізації продуктивності бездротової сенсорної мережі за оптимальністю вибору діапазону передавання й розкладу режимів активності/очікування сенсорів. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Комп'ютерні науки та інформаційні технології : збірник наукових праць*. 2015. № 826. С. 150–153.
30. Гогин Ю.А. Логико-математическое моделирование больших или сложных систем (основания и математический аппарат). Ленинград: ЛВИКА им. Можайского, 1972. 261с.
31. Гольдштейн Б.С., Б.С.Гольдштейн. Сети связи пост-NGN .Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014.160с.
32. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. Введение в теорию конфликта. Москва: Радио и связь, 1989. 288с.
33. Дюбин Г.Н., Суздаль В.Г. Введение в прикладную теорию игр. Москва: Наука, 1969. 336с.
34. Занкин В.П., Иванов А.С. и , Хоров Е.М. Аналитическая модель передачи QoS-данных с помощью периодических резервирований и Stop-and-Wait ARQ, *Информационные технологии и системы: Сборник трудов конференции(Олимпийская деревня, Сочи, 7-11 сентября 2015 г.).Олимпийская деревня, Сочи .2015. С.7-11.*
35. Зеляновський М.Ю., Тимченко О.В. Математичні моделі для спеціалізованих та сенсорних мереж бездротового доступу. *Моделювання та інформаційні технології: Збірник наукових праць*. 2009. № 50. С. 192-200.
36. Иллингоурт В. Толковый словарь по вычислительным системам. Москва: Машиностроение, 1989. 568с.
37. Иоффе А.Д.,Тихомиров В.М. Теория экстремальных задач .Москва: Наука, 1974. 480с.
38. Исследование операций. Методологические основы и математические методы / под ред. Дж. Моудера, С.Элмаграби.Москва: Мир, 1981. 712с.



39. Карпов В.Э. Классическая теория компиляторов. Москва: Московский государственный институт электроники и математики, 2011. 91с.
40. Касти Д. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы .Москва.: Мир, 1982. 216с.
- 41 Касьянов В.А. Субъективный анализ: Монография. Киев: НАУ, 2007. 512с.
42. Катковник В.Я., Полуэктов Р.А. Многомерные дискретные системы управления. Москва: Мир, 1976. 411с.
43. Кнут Д. Искусство программирования: в 4 т. Москва: Мир. Т.1.1976. 735с.
46. Колмогоров А.Н., Фомин С.В.. Элементы теории функций и функционального анализа. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006 г. 572с.
47. Коньков В. Г., Пупков К.А. Интеллектуальные системы. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 348с.
48. Кормен Томас Х., Чарльз Лейзерсон И., Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы. Построение и анализ .Москва: Издательский центр “Вильямс”, 2016. 1328с.
49. Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики .Москва :Энергоатомиздат, 1987. 494с.
50. Корченко О., Александер М., Одарченко Р., Наджи А., Петренко О. Аналіз загроз та механізмів забезпечення інформаційної безпеки в сенсорних мережах . *Захист інформації*. 2016. № 1. С. 48-56.
51. Кофман А., Анри Лабордер А. Методы и модели исследования операций. Москва: Мир, 1977. 432с.
52. Кох, Р., Г.Г.Яновский Г.Г. Эволюция и конвергенция в электросвязи .Москва: Радио и связь, 2001. 280 с.53.
- 53.{47.} Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры .Москва: Наука, 1974.456с.

54. Красовский Н.Н. Управление динамической системой: задаче о минимуме гарантированного результата. Москва: Наука. 1985. 518с.
55. Кривонос Ю.Г., Матичин И.И., Чикрий А.А. Динамические игры с разрывными траекториями. Киев: "Наукова думка", 2005. 220с.
56. Кристофедис Н. Теория графов. Алгоритмический подход .Москва: Мир, 1978. 432с.
- 57.{51.} Кунцевич В.М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации .Киев: Наук. думка, 2006. 264с.
58. Куприянов А. И., Сахаров А. В. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы .Москва: Вузовская книга, 2007. 356 с.
59. Курейчик, В. М., Кажаров А.А. Использование роевого интеллекта в решении NP-трудных задач *.Известия ЮФУ. Технические науки.* 2011. № 7. С. 30–36.
60. Кучерявый, А.Е., Цуприков А.Л. Сети связи следующего поколения .Москва: Изд-во ФГУП ЦНИИС, 2006 .278 с.
61. Кучерявый, А.Е., Парамонов А.И. Модели трафика для сенсорных сетей в и-России *.Электросвязь.* 2006. № 6. С. 15-18.
- 62.{55.} Липский В. Комбинаторика для программистов. Москва: Мир, 1988. 213с.
63. Мамиконов А.Г. Принятие решений и информация. Москва: Наука, 1983.184с.
64. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку *.Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі.* 2014. № 806. С. 154-161.
65. Мессарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. Москва: Мир, 1978. 311с.
66. Михалевич В.С., Трубин В.А., Шор Н.З. Оптимизационные задачи производственно- транспортного планирования: модели, методы, алгоритмы Москва: Наука, 1986. 264с.

67. Михалеви́ч В.С., Шор Н.З., Галу́стова Л.А., Журбе́нко Н.Б., Момот А.И., Труби́н В.А., Юн Г.Н. Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений .Киев: Наук. думка, 1977. 178с.
68. Модель Б.И. Элементы теории многошаговых процессов последовательного выбора решений. Москва: Наука, 1985. 92с.
69. Молодцов Д.А. Устойчивость принципов оптимальности .Москва :Наука, 1987. 280с.
70. {62.1.} Мочалов, В. А. Гибридный биконический алгоритм синтеза структуры беспроводной сенсорной сети. Т-СОММ. *Телекоммуникации и транспорт*. 2013. № 10. С. 72–77.
71. Назин А.В., Поздняк А.С. Адаптивный выбор вариантов. Рекуррентные алгоритмы . Санкт-Петербург, 2003. 288с.
72. Одарченко Р.С. Концепція сенсорної мережі збору метеорологічних даних для системи регулювання випромінюваної потужності радіопередавальних пристроїв стільникових мереж . *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем*. 2013. №. 8. С. 53-61.
73. Орлов Ю.В. Теория оптимальных систем с обобщенными управлениями. Москва: Наука, 1988. 192с.
74. Павлов В.В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления. Киев: Наукова думка, 1975. 272с.
75. Павлов В.В. Конфликты в технических системах .Киев: Вища школа, 1982. 184с.
76. Павлов В.В. Системы человек-машина: проблемы и синтез. Киев: Вища школа, 1987. 55с.
77. Павлов В.В. Начала теории эргатических систем .Киев: Наук. думка, 1975. 240с.
78. Павлов В.В., Павлова С.В. Интеллектуальное управление сложными нелинейными динамическими системами. Аналитика интеллекта .Киев: Наукова думка, 2016. 215с.

79. Павлов В.В., Шепетуха Ю.М. Проблемы анализа и синтеза сетцентрических систем *.Кибернетика и вычислительная техника*. 2013. №. 175. С.52-62.
80. Пападимитру Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. Москва: Мир, 1985.510с.
81. Подиновский В.В. Математическая теория выработки решений в сложных ситуациях. Учебник .Москва: МО СССР, 1981. 211с.
82. Понтрягин Л.С. Основы комбинаторной топологии. Москва: Наука, 1986. 120с.
83. Понтрягин Л.С., Болтянский В.В., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука, 1983. 393с.
84. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. Москва: Наука, 1986. 288с.
85. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии .Москва : Наука, 1988. 280с.
86. Поспелов Д.А., Пушкин В.Н. Мышление и автоматы. Москва: Сов. радио, 1972. 226с.
87. Пшеничный Б.Н., Остапенко В.В. Дифференциальные игры .Киев: Наук. думка, 1991. 264с.
88. Рейнгольд Э., Ю.Нивергельт, Н.Део. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. Москва: Мир, 1980. 476с.
89. Рихтер К. Динамические задачи дискретной. Москва: Радио и связь, 1985. 136с.
90. Романюк В.А., Жук О.В., Сова О.Я. Система управління тактичними сенсорними мережами . *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ “КПІ”*. 2008. № 2. С. 88 – 97.
91. Семко В.В., Модель конфлікту взаємодії об’єктів кібернетичного простору. *Проблеми інформатизації та управління*. 2012. №. 2. С.88-92.

92. Семко В.В. Модель взаємодії кібернетичних організмів та синтез стратегій оптимального керування в кібернетичному просторі. *Проблеми інформатизації та управління*. 2013. № 3. С.75-82.

93. Семко В.В. Використання методу інтегрального усікання варіантів при вирішенні задач конфлікту взаємодії об'єктів в просторі спостереження. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2015. № 1. С.59-66.

94. Семко В.В. Вирішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2015. № 2. С.40-50.

95. Семко В.В., Бурячок В.Л., Толюпа С.В., Складанний П.М. Модель управління захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Радіoeлектроніка та телекомунікації*. 2015. № 818. С.151-155.

96. Семко В.В., Бурячок В.Л. Ситуаційне управління доступом в інформаційно-телекомунікаційній системі. *Проблеми телекомунікацій*. 2015. № 2. С.54-61.

97. Семко В.В., Бурячок В.Л. Модель функціонування системи інтелектуального управління об'єктом. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. 2016. № 3. С.21-29.

98. Семко О.В., В.В.Семко. Дослідження властивостей рішення задачі конфлікту за методом інтегрального усікання варіантів. *Проблеми інформатизації та управління*. 2014. № 2. С.60-71.

99. Семко О.В. Інформаційно-телекомунікаційна система видачі медичних довідок. *Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави*: Матеріали науково-технічної конференції студентів, викладачів та науковців (м.Київ, 18 грудня 2014 р.). Київ. 2014. С.96-97.

100. Аналіз і оптимізація лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат: №51097: заявл. №51326; опубл. 02.01.14; Бюл. № 32.17 с.

101. Оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в персональному комп'ютері: №48709 заявл. №48923; опубл. 03.05.13; Бюл. № 30. 625 с.

102. Семко О.В., Ящук Д.Ю. Математична модель захищеної інформаційно-телекомунікаційної. *Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Матеріали доповідей* (м.Київ, 10-11 березня 2016 р.). м.Київ.2016. С.98-99.

103. Семко О.В. Безпека бездротових сенсорних мереж. *Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції* (м.Київ, 3-6 жовтня 2016 р.) . м.Київ. 2016. С.203-206.

104. Семко О.. Сенсорна сервіс-орієнтована мережа телемедичної системи моніторингу стану серцево-судинної системи . *Сучасний захист інформації*. 2016. №4. С.111-115.

105. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л., Бурячок Л.В. Шляхи рішення задач оптимального управління проблемами кібербезпеки при побудові мереж нового покоління. *Перспективи надання послуг на основі мереж пост-NGN. 4G b 5G. Организационные и технические решения по их построению и защите: Тезиси докладов* (м.Київ, 7-9 июня 2017 р.). м.Київ. 2017.С.111-113.

106. Семко О.В. Інтелектуальне ситуативне управління топологією гарантоздатної сенсорної мережі .*Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях: Колективна монографія за матеріалами XVI Міжнародної науково-практичної конференції* (м.Київ, 3-4 жовтня 2017 р.). м.Київ. 2017. С.85-86.

107. Семко О.В., Семко В.В., Бурячок В.Л. Метод оцінювання безпеки застосування програмних засобів. Математична модель системи інтелектуального управління сенсорною мережею в умовах конфлікту.

Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів та комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті та науці :Збірник матеріалів II Всеукраїнської конференції (м.Київ, 28 березня 2018 р.). м.Київ. 2018. С.172-174.

108. Семко О.В. Управління маршрутизацією в бездротових сенсорних мережах. *Інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях*: Колективна монографія за матеріалами XVII Міжнародної науково-практичної конференції (м.Київ, 25-26 вересня 2018 р.). м.Київ. 2018.С.103-106.

109. Семко О. Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №52. С.135-139.

110. Семко О., Семко В., Бурячок В., Складанний П. Методологія інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології. *Сучасна спеціальна техніка*. 2018. №55. С.64-76.

111. Семко О.В., В.В.Семко. Розробка формальної моделі інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах варіативної топології. *Математичне моделювання в економіці*. 2019. № 1. С.5-19.

112. Семко О.В., В.Л.Бурячок, Платоненко А.В. Вибір раціонального способу генерування паролів серед множини існуючихі . *Безпека інформації*. 2019.№ 1.С.59-64.

113. Скоба А. Н., Состина Е. В. Математическая модель оптимального размещения распределённой базы данных по узлам ЛВС на базе файл – серверной архитектуры .*Инженерный вестник Дона*.2015. №2. С.152-167.

114. Словарь по кибернетике / ред. В.М.Глушкова. Киев:Главная редакция Украинской Советской энциклопедии, 1979. 423с.

115. Смирнова Е.Д. Основы логической семантики: Учебное пособие Москва: Высшая школа, 1990. 144с.
116. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. Москва: Наука, 1981.110с.
117. Субботин А.И., Ченцов А.Г. Оптимизация гарантии в задачах управления .Москва: Наука, 1981.
118. Стеклов В. К., Беркман Л.Н. Проектування телекомунікаційних мереж Київ : Техніка, 2002. 792 с.
119. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Телекомунікаційні мережі. Київ: Техніка, 2001. 392 с.
120. Тей А., Грибомон П, Ж.Луи, Спийерс Д., Водон П., Гоше П., Грегуар Э., Санлес Э., Дельсарт Ф. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию Москва: Мир, 1990. 432с.
121. Трауб Дж., Васильковский Г., Вожьянковский Х. Информация, неопределенность, сложность . Москва.: Мир, 1988. 184с.
122. Трифонов А.Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения. Москва: Дело, 2003.198с.
123. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем.Москва: Наука, 1977. 560с.
124. Черноусько Ф.Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов. Москва: Наука, 1988. 320с.
125. Чикрий А.А. Конфликтно управляемые процессы. Киев: Наукова думка, 1992.382с.
126. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. Москва: Иностранная литература, 1963. 829с.
127. Шоломов Л.А. Логические методы исследования дискретных моделей выбора .Москва: Наука, 1989.288с.
128. Эндрю А. Искусственный интеллект .Москва: Мир, 1985. 264с.



129. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. Москва: Издательство иностранной литературы, 1959. 432с.
130. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Москва: Мир, 1964. 412с.
131. Barlett C., Drozda m., Marathe A. Analysis Interaction Between Networks Protocols, Topology and Traffic in Wireless Radio. *In Proceedings WCNC'03*.2003. №1. P. 1-7.
132. Biradar, R., Sawant S.R., Mudholkar V.C. Inter-Intra Cluster Multihop-LEACH Routing In Self-Organizing Wire-less Sensor Networks *.International Journal of Research and Reviews in Computer Science (IJRRCS)*. 2011. March. V. 2, № 1. P. 124–130.
133. D.Braginsky, D.Estrin. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks . *Proceedings of the First ACM International Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA)*. 2002. №2.P. 22–31.
134. Faludi, R. Building Wireless Sensor Networks. Sebastopol: O'Reilly Media, 2010 .320p.
135. Karp B., H.T.Kung. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Sensor Networks /Karp, H. T. Kung. *Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'00)*. 2000. №. P. 243–254.
136. Kudryashov, S. V. Optimal routing of data flows in wireless sensor networks . *Journal of Computer and Systems Sciences International*. 2008. April.Vol. 47, № 2. P. 282–295
137. Kulik, J., Heinzelman W.R., Balakrishnan H. Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks *.Wireless Networks*. September. 2002. V. 8, №2. P. 169–185.
138. Korakis T., Jakllari G., Tassiulas L. A. MAC protocol for full exploitation of Directional Antenas in Ad-hoc Networks. *In Proceedings MOBIHOC'03, 2003*. №2. P. 98 – 107.

139. Intanagonwiwat, C., R.Govindan, D.Estrin, J.Heidemann. Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking. *IEEE/ACM Transactions on Networking*. 2003. V. 11, № 1. P. 2–16.

140. M. Zuniga, B. Krishnamachari, Integrating future largescale sensor networks with the Internet, USC Computer Science Technical Report CS 03-792, 2003.

141. Manjeshwar, A., D.P.Agarwal. TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks .Proceedings of the 15th International Symposium on Parallel and Distributed Processing. 2001.№7. P. 2009– 2015.

142. Nitaigour, P.M. Sensor networks and configuration fundamentals, standards, platforms, and applications. Luxembourg :*Springer*, 2007. 510 p.

143. Roychowdhury, S., Patra,C. Geographic Adaptive Fidelity and Geographic Energy Aware Routing in Ad Hoc Routing . *International Journal of Computer and Communication Technology (IJCCT) for International Conference on Advances in Computer, Communication Technology and Applications (ACCTA-2010)* .2010.August. V. 1, № 2–4. P. 309–313.

144. Schurgers, C. Energy Efficient Routing in Sensor Networks / C. Schurgers, M. Sri-vastava . *The MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force, McLean VA*. 2001.№1. P. 357–361.

145. Shelby, Zach, Carsten Bormann. 6LoWPAN : the wireless embedded internet . *Hoboken* :Wiley, 2009. 223 p.

146. Skobcov Ju.A. Osnovy ehvoljucionnykh vychislenijj. Doneck: DonNTU, 2008. 326s.

147. H. Stockdon, R. Holman. , J.Geophys. Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery, *J. Geophys. Res.* 105 (C9) (2000) 22, 015 – 22, 033.

148. Software Defined Communications [Electronic resource] .Mode of access: <http://www.gdc4s.com/radiosystems>. Title from the screen.

150. Ye, F. A.Chan, S.Lu, L.Zhang. Scalable Solution to Minimum Cost Forwarding in Large Scale Sensor Net-works. *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*. 2001.№ .P. 304–309.

151. Ye, F. H.Luo, J.Cheng, S.Lu, L.Zang. A Two-tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Net-works. *Proceedings of the 8th annual inter-national ACM/IEEE conference on Mobile computing and networking (MO-BICOM'02)*. 2002. №1. P. 148–159.

**Додаток А**  
**Акти впровадження**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Перший заступник Голови Державного  
агентства з питань електронного урядування  
України

Т.І. Олійник

15 жовтня 2016 року

**АКТ**

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Семка Олексія Вікторовича**

Даним актом засвідчуємо, що нижчеперелічені наукові положення, а саме:

- 1) математична модель функціонування сервіс-орієнтованої гарантоспроможної системи інтелектуального управління інформаційно-аналітичною системою при розв'язанні завдань інформаційної та інформаційно-аналітичної діяльності;
- 2) методи та алгоритми синтезу управління інформаційно-аналітичною системою в умовах конфлікту, обмежень, невизначеності та зовнішніх збурень в кібернетичному просторі (кібернетичних атак);
- 3) імітаційна модель процесу синтезу рішень та управління інформаційно-аналітичною системою при розв'язанні завдань інформаційної та інформаційно-аналітичної діяльності.

4) рекомендації щодо створення програмних засобів гарантоздатної автоматизованої системи електронної взаємодії державних інформаційних ресурсів та єдиного інформаційного ресурсу звернень громадян до органів державної влади і органів місцевого самоврядування, - розроблені особисто Семко О.В. й використані фахівцями Державного агентства з питань електронного урядування України при розробці вимог до архітектури системи електронної взаємодії державних інформаційних ресурсів (шифр НДР «НП/2-2015», державний номер реєстрації 0115U007171) та єдиного інформаційного ресурсу звернень громадян до органів державної влади і органів місцевого самоврядування (шифр НДР «НДР-08/12-2015», державний номер реєстрації 0115U007172), що забезпечило проведення їх якісного аналізу та сприяло удосконаленню системи в цілому.

Отримані автором результати дозволяють підвищити ефективність інформаційно-аналітичного процесу системи електронного урядування держави.

Генеральний директор  
ДП "Держінформресурс"



Тертичний О.С.

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Комерційний директор  
ТОВ «БМС Консалтинг»



М.О. Тищенко

" 11 " лютого 2016 року

**АКТ**

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження  
Семка Олексія Вікторовича  
на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук**

Результати досліджень Семка Олексія Вікторовича, виконаних ним у рамках дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема такі наукові положення та інженерні рішення, як:

1) математична модель функціонування сервіс-орієнтованої гарантоспроможної системи інтелектуального управління інформаційно-аналітичною системою (ІАС) при розв'язанні завдань інформаційної та інформаційно-аналітичної діяльності;

2) методи та алгоритми синтезу управління ІАС в умовах конфлікту, обмежень, невизначеності та зовнішніх збурень в кібернетичному просторі (кібернетичних атак);

3) імітаційна модель процесу синтезу рішень та управління сервіс-орієнтованою гарантоспроможною ІАС при розв'язанні завдань інформаційної та інформаційно-аналітичної діяльності в умовах конфлікту, -

використані у роботі фахівцями компанії «БМС Консалтинг» при розробці і реалізації проекту з доопрацювання складових компонентів інформаційно-телекомунікаційної системи електронної взаємодії органів виконавчої влади (шифр НДР «ДЦІР5-1», державний номер реєстрації 0115U006734), що забезпечуватиме автоматизацію процесів створення, відправлення, передавання тощо електронних документів та копій паперових документів в електронному вигляді.

Отримані автором результати дозволяють підвищити ефективність інформаційно-аналітичного процесу системи електронного врядування держави.

Відповідальний виконавець

Стасюк О.В.



03680, м. Київ, проспект Перемоги, 56, к. 258  
 Телефон: 458-3036  
 Факс: 458-3036  
 E-mail: [info@elan-ua.net](mailto:info@elan-ua.net)  
[www.elan-ua.net](http://www.elan-ua.net)

### ЗАТВЕРДЖУЮ

заступник директора ТОВ «Елан»  
 з наукової роботи



*[Signature]*  
 О.О. Михайловський  
 17 листопада 2015 року

**АКТ**  
**про впровадження результатів дисертаційного дослідження**  
**Семка Олексія Вікторовича**  
 на здобуття наукового ступеня кандидат технічних наук  
 за спеціальністю 05.13.06 - інформаційні технології

При виконанні проекту «Програма для прогнозування, оцінки готовності та реагування на штучні та природні катастрофи в ENPI Східного регіону - EuropeAid/129397/C/SER/Multi» Молдова, Україна, Беларусь, Армения, Азербайджан, Грузія», схваленого Європейською комісією (Ares(2014)691843), було використано та впроваджено наукові результати та інженерні рішення дисертаційного дослідження Семка Олексія Вікторовича щодо обґрунтування, дослідження та розробки математичних і імітаційних моделей, методів та алгоритмів синтезу рішень щодо інтелектуального управління функціонуванням сервіс-орієнтованих гарантоспроможних програмних систем та систем керування базами даних в умовах конфлікту, обмежень, невизначеності та зовнішніх збурень, а саме:

- математична модель функціонування сервіс-орієнтованої гарантоспроможної системи інтелектуального управління інформаційно-аналітичною системою при розв'язанні завдань інформаційної та інформаційно-аналітичної діяльності;
- методи та алгоритми синтезу управління інформаційно-аналітичною системою в умовах конфлікту, обмежень, невизначеності та зовнішніх збурень в кібернетичному просторі (кібернетичних атак);
- імітаційна модель процесу синтезу рішень та управління інформаційно-аналітичною системою при розв'язанні завдань інформаційної та інформаційно-аналітичної діяльності.

Отримані автором результати дозволяють підвищити ефективність, гарантоспроможність та гомеостатичність інформаційно-аналітичного процесу в рамках проекту «Програма для прогнозування, оцінки готовності та реагування на штучні та природні катастрофи в ENPI Східного регіону - EuropeAid/129397/C/SER/Multi» Молдова, Україна, Беларусь, Армения, Азербайджан, Грузія».

Відповідальний виконавець,  
 к.т.н., доцент

Темніков В.О.

**Додаток Б**  
**Свідоцтва про авторське право**



**УКРАЇНА**



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

**СВІДОЦТВО**  
про реєстрацію авторського права на твір

№ 51097

Комп'ютерна програма "Аналіз і оптимізація лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Семко Олексій Вікторович, Нечипорук Олена Петрівна, Дишлюк Ольга Миколаївна, Наумець Микола Валентинович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

03.09.2013

Дата реєстрації



Голова Державної служби інтелектуальної власності України  
М.В. Ковіня

*M. V. Koviya*

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ  
Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,  
вул. Урицького, 45  
Тел. (044) 494-06-06  
Факс (044) 494-06-67  
E-mail: post@sips.gov.ua



STATE INTELLECTUAL  
PROPERTY SERVICE  
OF UKRAINE  
Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,  
45, Urytskogo str.  
Tel. (044) 494-06-06  
Fax (044) 494-06-67  
E-mail: post@sips.gov.ua

## РІШЕННЯ

### ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву  
**Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680**

(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 03.07.2013 № 51326

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське право на службовий твір **Комп'ютерна програма "Аналіз і оптимізація лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат"; Семко Олексій Вікторович, Нечипорук Олена Петрівна, Дишлок Ольга Миколаївна, Наумець Микола Валентинович; Національний авіаційний університет**

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності

М.В. Ковіня



*M. V. Kovinya*

**УКРАЇНА**



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ

**СВІДОЦТВО**  
про реєстрацію авторського права на твір

№ 48709

Комп'ютерна програма "Оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в персональному комп'ютері"  
(вид, назва службового твору)

Автор(и) Семко Олексій Вікторович, Нечипорук Олена Петрівна, Атаманюк Тетяна Володимирівна, Наумець Микола Валентинович  
(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680  
(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 11.04.2013



Голова Державної служби інтелектуальної власності України  
М.В. Ковіня

*M.V. Kovina*

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ УКРАЇНИ**  
Україна, 03680, МСП, м. Київ-35,  
вул. Урицького, 45  
Тел. (044) 494-06-06  
Факс (044) 494-06-67  
E-mail: post@sips.gov.ua



**STATE INTELLECTUAL  
PROPERTY SERVICE  
OF UKRAINE**  
Ukraine, 03680, MSP, Kyiv-35,  
45, Urytskogo str.  
Tel. (044) 494-06-06  
Fax (044) 494-06-67  
E-mail: post@sips.gov.ua

## РІШЕННЯ

### ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Державна служба інтелектуальної власності розглянула заяву  
**Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680**

(повне ім'я фізичної або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

заявка від 11.02.2013 № 48923

про реєстрацію авторського права на твір і прийняла рішення зареєструвати авторське право на службовий твір **Комп'ютерна програма "Оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в персональному комп'ютері"; Семко Олексій Вікторович, Нечипорук Олена Петрівна, Атаманюк Тетяна Володимирівна, Наумець Микола Валентинович; Національний авіаційний університет**

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів), повна офіційна назва роботодавця)

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Державна служба не одержала документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Державною службою не проводиться.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності



*M. B. Kovinia*

М.В. Ковіня

**Додаток В**  
**Програмні засоби імітаційної моделі системи інтелектуального  
управління маршрутизацією**

## Додаток В1

### Сканери хостів для побудови граф-моделі сенсорної мережі

#### Сканер хостів мережі Wi-Fi для протоколу TCP/IP

```

BOOL EnumHandler( HWND hWnd, DWORD dwLevel, LPNETRESOURCE lpNet
)
{
    BOOL ret=TRUE;
    DWORD dwStatus, dwSize, dwEntries, i, j;
    LPSTR lpStr=NULL;
    LPNETRESOURCE lpNewNet=NULL;
    HANDLE hEnum=NULL;

    dwStatus = WNetOpenEnum( RESOURCE_GLOBALNET,
                            RESOURCETYPE_ANY,
                            0, lpNet, &hEnum );
    if( dwStatus != NO_ERROR ){ ret=FALSE; goto mend; }
    dwEntries = 1000;
    dwSize = sizeof(NETRESOURCE) * dwEntries;
    lpNewNet=(LPNETRESOURCE)new char[dwSize];
    if(!lpNewNet){ ret=FALSE; goto mend; }
    dwStatus = WNetEnumResource( hEnum, &dwEntries,
(LPVOID)lpNewNet, &dwSize );

    if( dwStatus != NO_ERROR )
    {
        ret=FALSE; goto mend;
    }
    WNetCloseEnum( hEnum );
    hEnum=NULL;

    lpStr=new char[512];
    if(!lpStr){ ret=FALSE; goto mend; }
    for( i = 0; i < dwEntries; i++ )
    {
        if( lpNewNet[ i
].dwDisplayType==RESOURCE_DISPLAYTYPE_NETWORK)
        {
            strcpy( lpStr, lpNewNet[ i ].lpProvider );
        }

        if( lpNewNet[ i ].lpRemoteName )
        {
            if( lpNewNet[ i ].dwDisplayType ==
RESOURCE_DISPLAYTYPE_DOMAIN )
                strcpy( lpStr, "Domain..." );
        }
    }
}

```

```

        if( lpNewNet[ i ].dwDisplayType ==
RESOURCEDISPLAYTYPE_GENERIC )
            strcpy( lpStr, "Generic.." );

        if( lpNewNet[ i ].dwDisplayType ==
RESOURCEDISPLAYTYPE_SERVER )
            strcpy( lpStr, "Server..." );

        if( lpNewNet[ i ].dwDisplayType ==
RESOURCEDISPLAYTYPE_SHARE )
            strcpy( lpStr, "Share...." );

        for( j = 0; j < dwLevel; j++ )
            strcat( lpStr, "....." );
        strcat( lpStr, lpNewNet[ i ].lpRemoteName );
//Добавим IP адрес к концу строки
// if( lpNewNet[ i ].dwDisplayType == RESOURCEDISPLAYTYPE_SERVER
)
//    if(!GetIP(&lpNewNet[ i ].lpRemoteName[2],lpStr))continue;
    }
    SendMessage( hWnd, LB_ADDSTRING, 0, (LPARAM)lpStr );
    UpdateWindow(hWnd);
    // Уровень детализации можѣ установить здесь
    if(dwLevel < 2) //0=Сеть,1=Domain,2=Host,3=Resource
        EnumHandler( hWnd, dwLevel + 1, lpNewNet + i );
    }
mend:
    if(hEnum)WNetCloseEnum( hEnum );
    if(lpStr)delete lpStr;
    if(lpNewNet)delete lpNewNet;
    return ret;
}
//-----
void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    HCURSOR hOldCursor;
    //    ListBox1->Clear();
    SendMessage(Form1->ListBox1->Handle , LB_RESETCONTENT, 0, 0
);
    UpdateWindow(Form1->ListBox1->Handle);
    hOldCursor = ::SetCursor( LoadCursor( NULL, IDC_WAIT ) );
    EnumHandler( Form1->ListBox1->Handle, 0, NULL );
    ::SetCursor( hOldCursor );
}

```

## Сканер Wi-Fi мережі (отримання інформації про пристрої сенсорної мережі з пароллями доступу до обчислювальних середовищ хостів WiFi)

### Preparation

1. Run Visual Studio. Create new Empty C++ project.
2. Add new source code file.
3. Force it to compile in Unicode:

[Hide](#) [Copy Code](#)

```
#ifndef UNICODE
#define UNICODE
#endif
```

4. and to link with `wlanapi.lib`

[Hide](#) [Copy Code](#)

```
#pragma comment(lib, "wlanapi.lib")
```

5. Add necessary headers:

[Hide](#) [Copy Code](#)

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <Windows.h>

#include <Wlanapi.h>
```

6. Define `wmain()` function (`main()` entry point in Unicode-style):

[Hide](#) [Copy Code](#)

```
int wmain()
{
}
```

### wmain() Code

[Hide](#) [Shrink](#) [Copy Code](#)

```
int wmain()
{
    DWORD dwResult;

    HANDLE hClient;
    DWORD dwRealAPIVer;

    PWLAN_INTERFACE_INFO_LIST pInterfaces;
    PWLAN_INTERFACE_INFO pInterface;

    PWLAN_AVAILABLE_NETWORK_LIST pNetworks;
    PWLAN_AVAILABLE_NETWORK pNetwork;

    // 1) Connecting Wi-Fi
    dwResult = WlanOpenHandle(2, NULL, &dwRealAPIVer, &hClient);
    if (FAILED(dwResult))
    {
        wprintf(L"Can't connect Wi-Fi! Problem function: WlanOpenHandle.");
        _getch();
        return 1;
    }

    // 2) Enumerating Wi-Fi adapters (interfaces)
    dwResult = WlanEnumInterfaces(hClient, NULL, &pInterfaces);
    if (FAILED(dwResult))
    {
        wprintf(L"Can't enumerate WLAN adapters! Problem function: WlanEnumInterfaces.");
        _getch();
        return 2;
    }
    if (pInterfaces->dwNumberOfItems == 0)
    {
        wprintf(L"No Wi-Fi adapter found.");
    }
}
```



```

    _getch();
    return 3;
}

// 3) Getting current Wi-Fi adapter.
pInterface = &pInterfaces->InterfaceInfo[pInterfaces->dwIndex];

// 4) Getting available networks for this adapter.
dwResult = WlanGetAvailableNetworkList(hClient, &pInterface->InterfaceGuid, 0, NULL,
&pNetworks);
if (FAILED(dwResult))
{
    wprintf(L"Can't get available networks! Probably your PC in Airplane mode,
and/or Wifi turned out. Problem function: WlanGetAvailableNetworkList.");
    _getch();
    return 4;
}

// 5) Enumerating networks
for (int i = 0; i < (int)pNetworks->dwNumberOfItems; i++)
{
    // 6) Getting current network from list
    pNetwork = &pNetworks->Network[i];

    // 7) Getting SSID (network's name)
    DOT11_SSID oName = pNetwork->dot11Ssid;
    if (oName.uSSIDLength == 0)
    {
        wprintf(L"(Unknown network name)");
    }
    else
    {
        // 8) Output all characters of SSID
        for (int j = 0; j < (int)oName.uSSIDLength; j++)
        {
            wprintf(L"%c", oName.ucSSID[j]);
        }

        wprintf(L"\n");
    }
}

_getch();

// 9) Removing unnecessary lists from RAM
if (pInterfaces != NULL)
{
    WlanFreeMemory(pInterfaces);
}
if (pNetworks != NULL)
{
    WlanFreeMemory(pNetworks);
}

return 0;
}

```

## Сканер мережі Wi-Fi (з підбором паролів доступу)

```

using NativeWifi;
using System;
using System.Text;
namespace WifiExample
{
    class Program
    {
        /// <summary>
        /// Converts a 802.11 SSID to a string.
        /// </summary>
        static string GetStringForSSID(Wlan.Dot11Ssid ssid)
        {
            return Encoding.ASCII.GetString( ssid.SSID, 0, (int) ssid.SSIDLength );
        }

        static void Main( string[] args )
        {
            WlanClient client = new WlanClient();
            foreach ( WlanClient.WlanInterface wlanface in client.Interfaces )
            {
                // Lists all networks with WEP security
                Wlan.WlanAvailableNetwork[] networks = wlanface.GetAvailableNetworkList( 0 );
                foreach ( Wlan.WlanAvailableNetwork network in networks )
                {
                    if ( network.dot11DefaultCipherAlgorithm == Wlan.Dot11CipherAlgorithm.WEP )
                    {
                        Console.WriteLine( "Found WEP network with SSID {0}.", GetStringForSSID(network.dot11Ssid));
                    }
                }
                // Retrieves XML configurations of existing profiles.
                // This can assist you in constructing your own XML configuration
                // (that is, it will give you an example to follow).
                foreach ( Wlan.WlanProfileInfo profileInfo in wlanface.GetProfiles() )
                {
                    string name = profileInfo.profileName; // this is typically the network SSID

                    string xml = wlanface.GetProfileXml( profileInfo.profileName );

                    // Connects to a known network with WEP security
                    string profileName = "Cheesecake"; // this is also the SSID
                    string mac = "52544131303235572D454137443638";
                    string key = "hello";
                    string profileXml = string.Format("<?xml version='1.0'><WLANProfile
xmlns='http://www.microsoft.com/networking/WLAN/profile/v1'><name>{0}</name><SSIDConfig><SSID><hex
>{1}</hex><name>{0}</name></SSID></SSIDConfig><connectionType>ESS</connectionType><MSM><security><a
uthEncryption><authentication>open</authentication><encryption>WEP</encryption><useOneX>false</useOneX
></authEncryption><sharedKey><keyType>networkKey</keyType><protected>false</protected><keyMaterial>{2}
</keyMaterial></sharedKey><keyIndex>0</keyIndex></security></MSM></WLANProfile>", profileName, mac,
key);
                    wlanface.SetProfile( Wlan.WlanProfileFlags.AllUser, profileXml, true );
                    wlanface.Connect( Wlan.WlanConnectionMode.Profile, Wlan.Dot11BssType.Any, profileName );
                }
            }
        }
    }
}

```

## Додаток В2

**Програмний код використання засобів вимірювання каналу зв'язку між хостами за протоколом ICMP (аналог утиліти *PING* для *MAC*- адрес, IP-адрес і імен хостів)**

```
// Pings.cpp : Defines the entry point for the console application.
//

#include "stdafx.h"

#include <stdio.h>
#include <WINSOCK2.H>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>

typedef struct tagIPINFO
{
    u_char Ttl; // Time To Live
    u_char Tos; // Type Of Service
    u_char IPFlags; // IP flags
    u_char OptSize; // Size of options data
    u_char FAR *Options; // Options data buffer
}IPINFO, *PIPINFO;

typedef struct tagICMPECHO
{
    u_long Source; // Source address
    u_long Status; // IP status
    u_long RTTime; // Round trip time in milliseconds
    u_short DataSize; // Reply data size
    u_short Reserved; // Unknown
    void FAR *pData; // Reply data buffer
    IPINFO ipInfo; // Reply options
}ICMPECHO, *PICMPECHO;

// ICMP.DLL Export Function Pointers
HANDLE (WINAPI *pIcmpCreateFile)(VOID);
BOOL (WINAPI *pIcmpCloseHandle)(HANDLE);
DWORD (WINAPI *pIcmpSendEcho)
    (HANDLE, DWORD, LPVOID, WORD, PIPINFO, LPVOID, DWORD, DWORD);

//
//
void main(int argc, char **argv)
{
    WSADATA wsaData; // WSADATA
    ICMPECHO icmpEcho; // ICMP Echo reply buffer
    HMODULE hndlIcmp; // LoadLibrary() handle to ICMP.DLL
    HANDLE hndlFile; // Handle for IcmpCreateFile()
    LPHOSTENT pHost; // Pointer to host entry structure
    struct in_addr iaDest; // Internet address structure
    DWORD dwAddress; // IP Address
    IPINFO ipInfo; // IP Options structure
```

```

int nRet; // General use return code
DWORD dwRet; // DWORD return code
int x;

// Check arguments
if (argc != 2)
{
    fprintf(stderr, "\nSyntax: ping.exe [HostName]Or[IPAddress]\n");
    return;
}

// Dynamically load the ICMP.DLL
hndIcmp = LoadLibrary("ICMP.DLL");
if (hndIcmp == NULL)
{
    fprintf(stderr, "\nCould not load ICMP.DLL\n");
    return;
}
// Retrieve ICMP function pointers
pIcmpCreateFile = (HANDLE (WINAPI *))(void)
    GetProcAddress(hndIcmp, "IcmpCreateFile");
pIcmpCloseHandle = (BOOL (WINAPI *))(HANDLE)
    GetProcAddress(hndIcmp, "IcmpCloseHandle");
pIcmpSendEcho = (DWORD (WINAPI *)
    (HANDLE, DWORD, LPVOID, WORD, PIPINFO, LPVOID, DWORD, DWORD))
    GetProcAddress(hndIcmp, "IcmpSendEcho");
// Check all the function pointers
if (pIcmpCreateFile == NULL ||
    pIcmpCloseHandle == NULL ||
    pIcmpSendEcho == NULL)
{
    fprintf(stderr, "\nError getting ICMP proc address\n");
    FreeLibrary(hndIcmp);
    return;
}

printf("1. Dll loaded... ok \n");

// Init WinSock
nRet = WSASStartup(0x0101, &wsaData );
if (nRet)
{
    fprintf(stderr, "\nWSASStartup() error: %d\n", nRet);
    WSACleanup();
    FreeLibrary(hndIcmp);
    return;
}
printf("2. Init WinSock ...ok\n");

// Check WinSock version
if (0x0101 != wsaData.wVersion)
{
    fprintf(stderr, "\nWinSock version 1.1 not supported\n");
    WSACleanup();
    FreeLibrary(hndIcmp);
    return;
}

// Lookup destination
// Use inet_addr() to determine if we're dealing with a name

```

```

// or an address
    printf("3. Getting WinSock version 1.1 ...ok\n");

iaDest.s_addr = inet_addr("169.254.0.1");
dwAddress=inet_addr(argv[1]);
printf("4. Getting ip address...\n");

if (dwAddress == INADDR_NONE)
{
    printf("5. No ip looking for hostname ... \n");
    pHost = gethostbyname(argv[1]);
    if (pHost==NULL)
    {
        printf("5. Warning! Can't find host name...ok\nPress any key to exit.\n");
        getch();
        return;
    }

    CopyMemory( &dwAddress,pHost->h_addr_list[0],pHost->h_length);
    if (dwAddress == INADDR_NONE)
    {
        printf("5. Warning! Can't find host name.\nPress any key to exit.\n");
        getch();
        return;
    }
}
else
{
    printf("5.1. Address ok\n");

    //pHost = gethostbyaddr(inet_addr("169.254.0.1"),
    //                      sizeof(struct in_addr), AF_INET);
}

printf("6. Host != NULL ...ok\n");
if (pHost == NULL)
{
    fprintf(stderr, "\n%s not found\n", argv[1]);
    WSACleanup();
    FreeLibrary(hndlIcmp);
    return;
}
printf("7. Data and functionst are ...ok \n");
printf("8.//////////PING////////// \n");

// Tell the user what we're doing

// Copy the IP address

//CopyMemory( &dwAddress,pHost->h_addr_list[0],pHost->h_length);
//inet_addr("169.254.0.3");
// dwAddress=inet_addr("169.254.0.9");

//
printf(" CopyMemory ok \n");

// Get an ICMP echo request handle
hndlFile = pIcmpCreateFile();
printf("pIcmpCreateFile() ... ok \n");
for (x = 0; x <5;x++)
{
    // Set some reasonable default values
    ipInfo.Ttl = 255;
    ipInfo.Tos = 0;
}

```

```

ipInfo.IPFlags = 0;
ipInfo.OptSize = 0;
ipInfo.Options = NULL;
//icmpEcho.ipInfo.Ttl = 256;
// Request an ICMP echo
dwRet = pIcmpSendEcho(
    hndlFile, // Handle from IcmpCreateFile()
    dwAddress, // Destination IP address
    NULL, // Pointer to buffer to send
    0, // Size of buffer in bytes
    &ipInfo, // Request options
    &icmpEcho, // Reply buffer
    sizeof(struct tagICMPECHO),
    5000); // Time to wait in milliseconds
printf("pIcmpSendEcho ...ok\n");
// Print the results
iaDest.s_addr = icmpEcho.Source;
printf("Reply from %s Time=%ldms TTL=%d\n",
    inet_ntoa(iaDest),
    icmpEcho.RTTime,
    icmpEcho.ipInfo.Ttl);
if (icmpEcho.Status)
{
    printf("\nError: icmpEcho.Status=%ld\n",icmpEcho.Status);
    // return ;
    break;
}
}
printf("9.//////////PING////////// \n");
printf("Press any key to exit.\n");
// Close the echo request file handle
pIcmpCloseHandle(hndlFile);
FreeLibrary(hndlIcmp);
WSACleanup();
getch();
}

```

**Додаток Г**

**Інформаційна технологія оцінки завантаженості обчислювальної  
системи вузла сенсорної мережі**

```

internal class Program
{
    public static void Main(string[] args)
    {
        Random rnd = new Random();
        Thread thread1 = new Thread(Foo1);
        thread1.Start(rnd);

        Thread thread2 = new Thread(Foo2);
        thread2.Start(rnd);

        Console.WriteLine("Вызвано в основном потоке");
        Console.ReadKey();
    }

    public static void Foo1(object obj)
    {
        Console.WriteLine($"Вызвано в потоке 1:
{(int)obj}");
        Random rnd = obj as Random;
        if (rnd != null)
        {
            byte[] bytes = new byte[8];
            while(true)
            {
                rnd.NextBytes(bytes);
                //...
            }
        }
    }

    public static void Foo2(object obj)
    {
        Console.WriteLine($"Вызвано в потоке 2:
{(int)obj}");
        Random rnd = obj as Random;
        if (rnd != null)
        {
            byte[] bytes = new byte[8];
            while(true)
            {
                rnd.NextBytes(bytes);
                //...
            }
        }
    }
}

```