

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



СЕМКО ОЛЕКСІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 681.5(042.3)

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

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Бурячок Володимир Леонідович,
Київський університет імені Бориса Грінченка,
завідувач кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Козлюк Ірина Олексіївна,
Національний авіаційний університет, професор кафедри телекомунікаційних систем Інституту аеронавігації;

кандидат технічних наук
Власенко Вадим Олександрович,
Державний університет телекомунікацій , доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки .

Захист відбудеться “ 17 ” вересня 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01 в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м.Київ, Чоколовський бульвар, буд. 13, к.601

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України за адресою: 03186, м.Київ, Чоколівський бульвар, буд. 13

Автореферат розісланий “ 15 ” 08 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, к.т.н.



О.Г.Лебідь

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 сенсорні мережі (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 передачі даних (ПД). Саме тому дослідження моделей СМ варіативної топології (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, Ф.Л.Черноузьком, В.В.Павловим, В.М.Кунцевичем, В.С.Михалевичем, Л.С.Понтрягіним, Д.А.Поспеловим, Г.С.Поспеловим, М.М.Красовським, А.І.Суботіним, В.О.Касьяновим, К.Ріхтером та іншими.

Сучасні системи інтелектуального управління (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, Л.Н. Беркман, Б.С.Гольдштейн, В.К. Стеклов, Х.Пападимитру, А.Е.Кучерявий 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 ПД 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, грантами.

Дослідження, результати якого викладено в дисертаційній роботі, виконувалося відповідно до державних програм та планів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) Державного агентства з питань електронного урядування України, Товариства з обмеженою відповідальністю «БМС Консалтинг», Товариства з обмеженою відповідальністю «Елан» в межах таких НДДКР: «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 (2014p.); шифр «ДЦР5-1» (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 держреєстрації 0115U006734); шифр «НП/2-2015» (тема «Розробка вимог до архітектури Системи електронної взаємодії державних електронних інформаційних ресурсів», номер держреєстрації 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 держреєстрації 0115U007172).

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

Досягнення поставленої мети вимагає вирішення таких *завдань*:

- 1) проведення аналізу, дослідження і узагальнення принципів функціонування, існуючих моделей, методів та алгоритмів забезпечення роботи систем управління маршрутизацією потоків даних в сервіс-орієнтованих СМ, визначення шляхів підвищення їх ефективності і гарантоздатності при наявності обмежень і невизначеностей;
- 2) розроблення, проведення обґрунтування та дослідження властивостей математичної моделі та методу забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих СМ ВТ за умов конфлікту взаємодії їх вузлів при наявності обмежень і невизначеностей;
- 3) розроблення і формальне визначення задачі синтезу і вибору маршруту передачі даних в СМ ВТ, як задачі дискретної динамічної оптимізації;
- 4) визначення і обґрунтування функції 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 властивостей процесів, які притаманні їх функціонуванню;
- 5) розроблення методу і евристичного алгоритму управління маршрутизацією потоків даних для розподіленої СІУ СМ ВТ, як *NP*-повної перебірної задачі дискретної динамічної оптимізації при рішенні конфлікту взаємодії вузлів мережі при наявності обмежень та невизначеностей;
- 6) проведення імітаційних експериментів з метою підтвердження теоретичних положень, а також дослідження характеристик функціонування розподіленої СІУ при синтезі і виборі стратегій щодо управління маршрутизацією потоків даних в СМ ВТ при наявності обмежень і невизначеностей.

Виходячи з мети, у роботі **об'єктом дослідження** є процеси оптимального управління багатомірними інформаційними об'єктами варіативної топології в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей, якими є процеси оптимального управління маршрутизацією в СМ ВТ. **Предметом дослідження** є моделі і методи синтезу і вибору стратегій оптимального управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ при взаємодії конфліктуючих 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 отриманих 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 конфліктуючих 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 конфліктуючих СМ, а також технології визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих 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 ПІ вузла мережі;

– *удосконалений* 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:

– 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).

За результатами дисертаційних досліджень отримано 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, які виносяться на захист, отримані автором особисто і опубліковані в одноосібно підготовлених працях [2], [3], [11], [12], [14], [16], [17], [18], [19], [21].

У наукових працях, написаних у співавторстві, автору належить: [1] – формальне уявлення функції ціни, як універсального адитивного критерію вибору при рішенні задачі дискретної динамічної оптимізації; [4] – структура і функції елементів інтелектуального перетворювача, як елемента розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних в сенсорній мережі; [5] – 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; [6] – застосування формули Маєрса при формальному визначенні вектору переваг при генерації множини паролів, що надалі дозволяє вирішувати проблему генерації паролів, як оптимізаційну задачу; [7] – інженерний підхід щодо побудови системи інформаційної взаємодії систем управління космічними об'єктами, як множиною вузлів сенсорної мережі варіативної топології; [8] – формальна та імітаційна моделі для дослідження функціонування об'єктів технічних систем в умовах обмежень; [9] – інформаційна технологія імітаційної моделі аналізу і оптимізації лінійних систем з детермінованими зв'язками за критерієм витрат; [10] – інформаційна технологія імітаційної моделі оцінювання ефективності процедури розпаралелювання обчислювального процесу в обчислювальній системі; [13] – топологічне і технологічне рішення щодо дослідного зразка захищеної розподіленої інформаційно-комунікаційної системи видачі медичних довідок водіям і кандидатам у водії транспортних засобів; [15] – математична модель управління доступом в захищений розподілений мережі передачі даних; [20] – математична та імітаційна моделі моніторингу показників гарантоздатності обчислювального середовища терміналів сенсорної мережі передачі даних; [21] – математична модель врахування невизначеностей і навантаження вузлів сенсорної мережі передачі даних; [22] – топологія і алгоритм функціонування гетерогенної телемедичної мережі моніторингу кардіологічного стану пацієнтів з патологією функціонування серцево-судинної системи.

Апробація результатів дисертації. Наукові результати та основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на наукових семінарах і конференціях, а саме: секціях V міжнародної науково-практичної конференції «Комп'ютерні системи та мережні технології» (м. Київ, 2012 р.); наукових семінарах Інституту телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України (м. Київ, 2016-2018 рр.); секціях XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 2017 р.); секціях II Всеукраїнської конференції «Теоретико-практичні проблеми використання математичних методів і комп'ютерно-орієнтованих технологій в освіті і науці» (м. Київ, 2018 р.); секціях Регіональної конференції МСЕ «Перспективы предоставления услуг на основе сетей пост-NGN, 4G и 5G. Организационные и технические решения по их построению и защите» (м. Київ, 2017 р.); секціях VIII науково-практичної конференції «Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави» (Київ, 2017 р.); секціях XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 2016 р.); секціях науково-практичної конференції «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем» (м. Київ, 2016 р.); секціях науково-технічної конференції «Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави» (м. Київ, 2016 р.); секціях XII, XIII, XIV Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, 2012-2014 рр.); секціях IX Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Інформатика та комп'ютерні технології» (м. Донецьк); секціях X Міжнародної науково-практичної

конференції «Wykształcenie i nauka bez granic – 2014» (m. Przemysl, 2014 p.); секціях IX Міжнародної науково-практичної конференції «Naukowa przestrzen Europy – 2013» (m. Przemysl, 2013 p.), секціях XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, 2018 p.), секціях Міжнародної науково-практичної конференції «Економіка, фінанси та управління сучасним містом: можливості, проблеми, перспективи» (м. Вроцлав, м. Київ, 2019 p.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові роботи, що включають: 6 наукових статей в наукових фахових виданнях, затверджених МОН України, дві з яких [2], [3] без співавторів, чотири з яких [1], [4], [5], [6] з співавторами. Наукові публікації [1], [2], [3], [4] та [5] включені до міжнародної наукометричної бази Google Scholar, наукова публікація [6] включена до міжнародної наукометричної бази IndexCopernicus. Додатково основні наукові результати відображені у 14 тезах доповідей на науково-технічних конференціях [7], [8], [11] – [22] та 2 свідоцтвах про реєстрацію авторського права на твір [9] і [10].

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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** проаналізовано стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми дослідження та наукових задач, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну, об'єкт і предмет дослідження, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та впровадження результатів дослідження.

У першому розділі:

1) проведено аналіз сучасного стану проблеми управління маршрутизацією в сенсорних мережах, 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 (ОУ);

2) 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 (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема системи інтелектуального управління вузла мережі

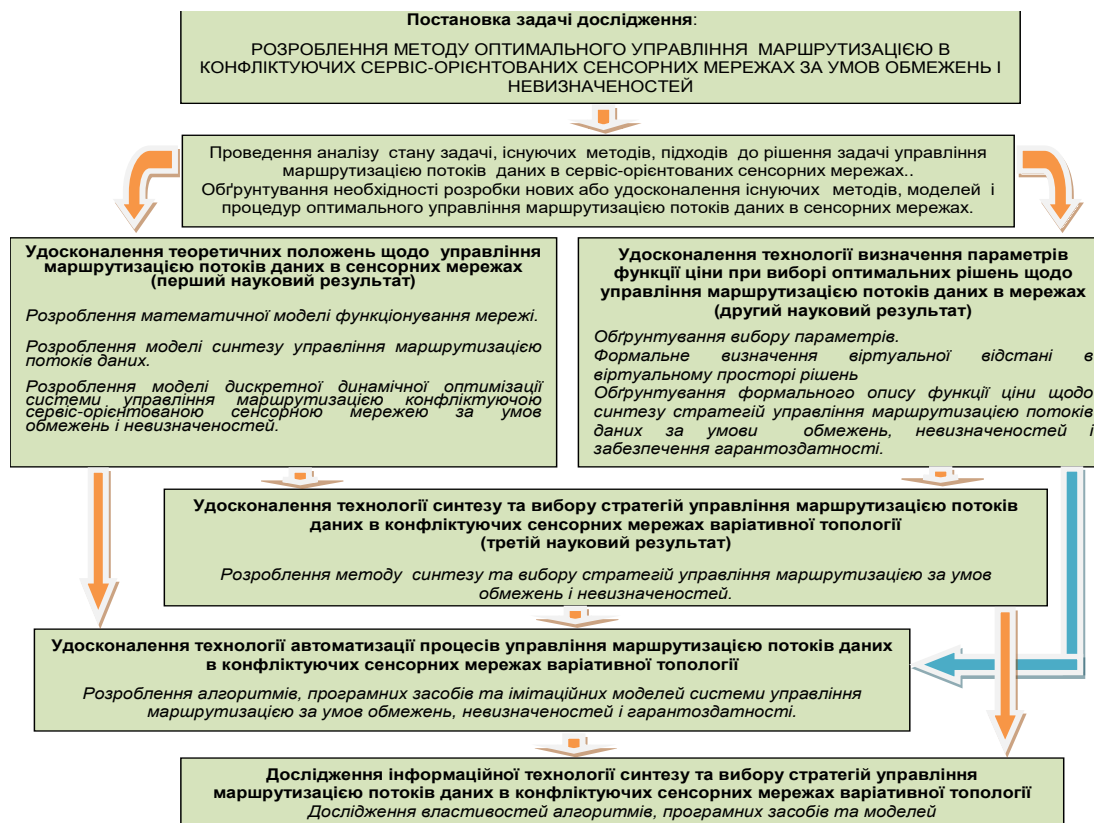


Рис. 2. Загальна концепція дисертаційного дослідження

Скінчення 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;

3) сформульовано наукову задачу, що підлягає вирішенню, запропоновано загальну концепцію дисертаційного дослідження (рис. 2).

У **другому розділі** розглянуто питання щодо удосконалення процесів створення СІУ маршрутизацією ПД в конфліктуючих сенсорних гарантоздатних сервіс-орієнтованих мережах ВТ за умов обмежень і невизначеностей за рахунок розроблення: методу формального уявлення СМ ВТ у вигляді математичної моделі і нотації (мови) із застосуванням ТММ опису процесів функціонування мережі, ЛСМ управління маршрутизацією ПД в СМ, математична модель синтезу та прийняття рішень щодо стратегій управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ, а також новітня технологія визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих СМ. Метод передбачає взаємодію СІУ вузлів мережі 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.

При цьому в складі СІУ виділяються два основні блоки: синтезу мети і забезпечення процесу її досягнення (рис. 3).

Теоретико-

множинна модель
конфліктуючої СМ

взаємодії вузлів СМ ПД
ВТ виходить з того, що
мережа має
децентралізовану
систему управління. В
такому разі на відміну
від структурної схеми,
що була наведена на
рис. 3, структурна
схема СІУ вузла мережі
(рис. 4) не буде
включати до свого
складу динамічну
систему маніпулювання

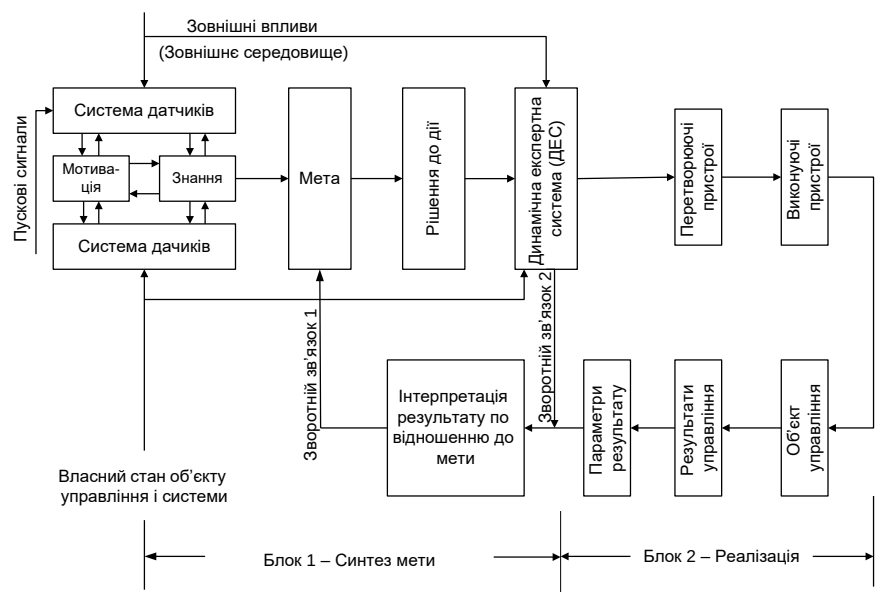


Рис. 3. Структурна схема системи інтелектуального управління

знаннями, але разом з цим має обов'язково містити додатковий модуль контролю і управління навантаженням вузла, як параметра, що визначає кількісну характеристику правил, що визначають мову опису взаємодії вузлів мережі.

В якості інтелектуального перетворювача (ІП) 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

$$Y = F(x, u, w, p, z), \quad (2)$$

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 сигналів мети (цілі); z - вектор параметрів ОУ.

В загальному випадку ОУ можна описати системою рівнянь

$$\begin{cases} x = f(x, u, w, t) \\ y = C(x) \\ x(t_0) = x_0 \\ t \geq t_0 \end{cases}, \quad (3)$$

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) і (3).

При побудові ІІ на основі методів ситуаційного управління застосуємо семіотичні моделі, що ґрунтуються на формальній моделі, яка задається четвіркою

$$M = \langle T, P, A, \Pi \rangle, \quad (4)$$

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

Крім семіотичної моделі M задається формальна модель, що інтерпретується,

$$L = \langle Z, D, H, V \rangle, \quad (5)$$

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.

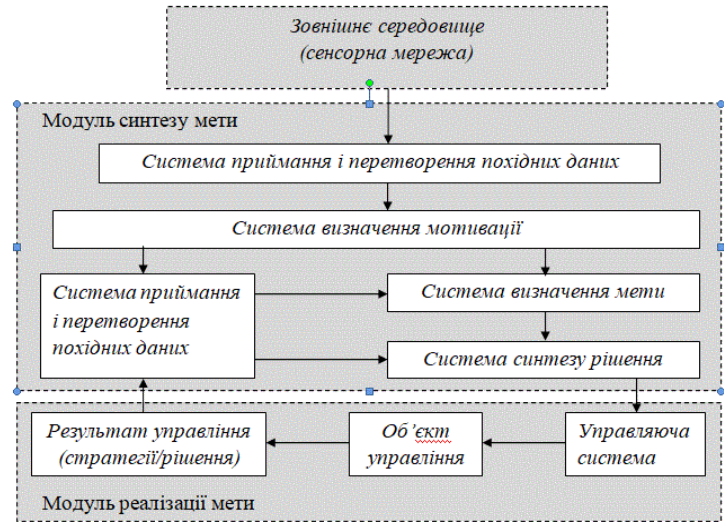


Рис 4. Структурна схема системи інтелектуального управління вузла мережі

В такому разі семіотична модель $C(.)$ з врахуванням (4) і (5) визначається четвіркою

$$C = \langle M, \chi_T, \chi_P, \chi_A, \chi_\Pi \rangle, \quad (6)$$

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

В такому разі математична модель синтезу і прийняття рішення щодо управління маршрутизацією в СМ ПД має вигляд

$$D_0 = \langle Y, G, U, J, \Omega \rangle, \quad (7)$$

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

Застосування моделі (7) в умовах взаємодії конфліктуючих вузлів СМ дозволяє зв'язати значення невизначених чинників і стратегій з управління маршрутизацією ПД, що реалізовується СІУ.

Множини Y, G, U, L, Ω і функція J формально задають компоненти рішення, що приймається, і визначають зв'язок з СУ через поняття функції ціни J і показників ефективності системи (показників якості і критеріїв). Показником якості або ефективності системи управління W є міра відповідності реального результату управління маршрутизацією Y , що потрібен для досягнення мети управління в ПП вузла-відправника ПД, а також для забезпечення взаємодії конфліктуючих вузлів мережі при отриманні оцінок або вимірів параметрів, що характеризують маршрут ПД. Маршрут представляє ланцюжок рішення задачі оптимального управління взаємодією вузлів СМ при ПД від вузла-відправника до вузла-отримувача. Критерієм оптимальності K є правило, що введене на основі певної концепції раціональної поведінки ІС (придатності, оптимізації, адаптивності, витрат ресурсів, гарантоздатності, безпеки, тощо). В такому разі рішення задачі взаємодії конфліктуючих вузлів мережі розглянуто в постановці задачі дискретної оптимізації для множини усіх значень цільової функції

$$j(x) = \min \{ j(x) : x \in X \}, \quad (8)$$

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 рішення $x^* \in X$ відповідає значення цільової функції

$$j(x^*) = \min \{ j(x) : x \in X \}. \quad (9)$$

Тоді дискретний процес для рівняння стану можна уявити у вигляді

$$y_t = W(y_{t-1}, x_{t-s}, \dots, x_t), t = 1, 2, \dots, T, \quad (10)$$

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 $j(., \dots, .)$ на множині $Y_{t-1} \times X_{t-s} \times \dots \times X_t$.

Логіко-семантична модель управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах.

Визначимо синтаксичні правила P моделі СІУ згідно моделі (4) і проведемо їх арифметизацію за Геделем. 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 можна закодувати за допомогою чисел, що визначають вузли мережі, а їх послідовність визначає ламану лінію маршруту ПД на множині цілих додатних чисел, що дозволяє усі вирази в моделі M відобразити на множину натуральних чисел, як правила і відношення синтаксичних правил P . Таким чином, для опису синтаксичних властивостей СІУ СМ ПД можна застосувати змістовну арифметику.

Виходячи з фундаментального індуктивного визначення вихідними об'єктами розгляду є формальні об'єкти - елементи синтезованого маршруту ПД: $D(1)$ - формальний об'єкт; формальні об'єкти $a_i \forall i = \{1, 2, 3, \dots\}$, $v_n \forall n = \{1, 2, 3, \dots\}$; формальні об'єкти $(\alpha + \beta), (\alpha \times \beta), (\alpha \approx \beta), (\alpha \rightarrow \beta), (E\alpha)\beta$ за умови того, що α і β суть формальні об'єкти.

Введеним формальним 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 породжуваного об'єкту.

Синтаксичний предикат, яким для СМ є функція, що визначає кількісне значення 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.

Визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих сенсорних мереж.

Математична модель СМ ПД представлена зв'язним графом

$$G = (V, E), \quad (11)$$

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

Кожному ребру $e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$ графу G поставлено у відповідність невід'ємне число $c_{ij} \geq 0$, що визначає пропускну здатність ребра, як функцію ціни при ПД. Введемо поняття функції f , яка при ПД між вершинами s і t є додатною на ребрах графа G ($f_{ij} \geq 0$) s і t . Тобто значення функції на маршруті ПД

$$\sum_k f_{ki} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s, t\} \quad (12)$$

не перевищує пропускну спроможність каналу ПД, а саме $f_{ij} \leq c_{ij}$ і $e_{ij} \in E$. Залишкова пропускна 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 при синтезі маршруту ПД з графу мережі G

отримуємо залишкову мережу $G' = (V, E^f)$, в якій залишаються ребра з додатною залишковою пропускнуою спроможністю. ПД в СМ визначається як поява заявки в мережі між парою вершин з множини $\{\{s_1, t_1\}, \dots, \{s_n, t_n\}\}$ полюсів, що відповідає уявленню маршруту ПД відповідно ЛСМ управління маршрутизацією.

Математична модель синтезу та прийняття рішень щодо стратегій управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ.

Синтез і вибір рішення СІУ маршрутизацією ПД в СМ ВТ за умов обмежень, невизначеностей і забезпечення гарантоздатності здійснюється на основі певної альтернативи, що отримана в результаті аналізу ОУ і його функціонального стану.

Множина критеріїв або ситуацій характеризуються 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 . Визначимо зв'язок множинного відношення з критерієм (12)

$$(h_1, h_2, \dots, h_n) \in H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n. \quad (13)$$

В такому разі модель M взаємодії вузлів СМ в топологічній схемі, яка відображає наявність ребер зв'язаного графу мережі (11) представляється в формі

$$M = \bigcup_{i=1}^N M^i, \quad (14)$$

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 (11) і може бути представлена у вигляді

$$M^i = \langle B^i, F^i, \Gamma_{np}^i \rangle, \quad (15)$$

де множини Γ_{np}^i визначають граматику та правила утворення співвідношень при взаємодії вузлів мережі в просторі функціонування Q з граматиною

$$\Gamma_{np} = \bigcup_{i=1}^N \Gamma_{np}^i. \quad (16)$$

В співвідношенні (15) базис B^i визначає потенційні можливості взаємодії i -го вузла СМ з іншими вузлами мережі під час визначення можливостей маршрутизації, а також кількісні характеристики ребер графу мережі (11) в просторі Q . F^i визначає можливості переміщення вузлів мережі в просторі Q .

Виходячи з формального опису математичних моделей СМ (13) - (15) та (8) - (10), визначимо мінімально-перебірну процедуру синтезу і вибору рішення у відповідності до критерію оптимальності Φ , який фактично є адитивним критерієм вибору

$$\begin{cases} \Phi = \sum_{i=1}^k C_i \lambda_i \\ \lambda_i = \frac{\Delta u_i}{\sup |u_i|}, \forall \lambda_i \in \lambda, \\ \sum_{i=1}^k C_i = 1 \end{cases} \quad (19)$$

Як результат, практична цінність методу формального уявлення СМ ВТ, розробленого в ході дисертаційного дослідження для забезпечення гарантоздатності СМ ВТ в умовах обмежень і невизначеностей, полягає, на відміну від відомих, у розробці математичної моделі синтезу та прийняття рішень щодо стратегій управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ та обумовлюється розробкою моделі опису топології СМ у вигляді графу мережі ПД, математичної моделі і нотації (мови) із застосуванням ТММ опису процесів взаємодії вузлів СМ ВТ, ЛСМ управління маршрутизацією ПД в СМ, математична модель синтезу та прийняття рішень щодо стратегій управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ, а також новітня технологія визначення та обґрунтування сукупності показників гарантоздатності та безпеки функціонування конфліктуючих СМ.

У **третьому розділі** розроблено метод синтезу та вибору стратегій гарантованого управління оптимальними маршрутами ПД СМ ВТ. Складовими елементами цього методу є математична модель і нотації (мови) опису процесів функціонування мережі, метод інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах, метод формування функціонального віртуального простору параметрів сенсорної мережі, методу синтезу та вибору маршруту передачі даних.

Визначення та обґрунтування параметрів управління маршрутизацією в сенсорних гарантоздатних мережах.

Вирішення задачі оптимального управління навантаженням на кожному вузлі маршруту ПД в СМ ВТ забезпечується за алгоритмом, який використовує можливості протоколу *ICMP*: завантаження бібліотеки методів, що забезпечують функціонування протоколу *ICMP*; ініціація програмного сокету, що забезпечує взаємодію ПЗ з модулями операційної системи, які забезпечують функціонування моделі *OSI*; визначення *IP*-адреси вузла СМ, який визначає кінець ребра ланки маршруту, що з'єднує взаємодіючі вузли СМ; опрацювання програмної події в разі відсутності кінцевого вузла для побудови ребра графу СМ (подія зміни топології мережі); 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 затримки відповіді вузла-отримувача пакета); обчислення оптимального значення характеристик функціонування каналу ПД при взаємодії вузлів СМ ВТ відповідно функції ціни.

Метод інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих сенсорних мережах.

Передача пакетів ПД представлена у вигляді випадкового процесу двовимірного ланцюга Маркова з дискретним часом. Спостереження стану послідовності пачок пакетів (ланцюга) здійснюється на початках зарезервованих інтервалів ПД. Таким чином, одиниця часу марківського ланцюга дорівнює періоду резервування інтервалів ПД. Навантаження на канал ПД визначається часткою втрачених пакетів, яка дорівнює відношенню середнього числа пакетів, що відкинуті за одиницю часу до середнього числа пакетів, які надійшли за одиницю часу до вузла СМ.

Метод формування функціонального віртуального простору параметрів сенсорної мережі.

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

$$d^{ij} = C_{\text{зад}}^{ij} d_{\text{зад}}^{ij} + C_{\Delta}^{ij} \Delta d^{ij} + C_{\text{звирт}}^{ij} d_{\text{звирт}}^{ij}, \quad (17)$$

де $d_{\text{зад}}^{ij}$ - відстань взаємодії i -го вузла при інформаційній взаємодії з j -м вузлом СМ під час визначення маршруту ПД; Δd^{ij} - невизначеність, яка враховує динамічність i -го вузла і параметрів каналів ПД; $d_{\text{звирт}}^{ij}$ - віртуальна відстань, що враховує прогноз і

невизначеність взаємного переміщення вузлів СМ, $\Delta d^i = \sqrt{\sum_{j=1}^k (\ddot{x}_j^i)^2 \frac{\Delta t^2}{2}} + d_{ij}^k$, d_{ij}^k -

корегуюча відстань за методом уточнення місцезнаходження вузла до j -го вузла СМ, $C_{\text{зад}}^{ij} + C_{\Delta}^{ij} + C_{\text{звирт}}^{ij} = 1$.

$$\begin{cases} \Delta d^{ij} = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\left| \Delta x_j^i \Big|_{t=t_0} - \Delta x_j^i \Big|_{t=0+\Delta t} \right| - \left| \Delta x_j^i \Big|_{t=0-\Delta t} - \Delta x_j^i \Big|_{t=t_0} \right| \right)^2 \frac{\Delta t^2}{2}} + d_{ij}^k + \Delta d_{ij}^k, \\ \Delta x_j^i = \left| (x^i - x^j) \Big|_{t=t_0} - (x^i - x^j) \Big|_{t=0+\Delta t} \right| \end{cases}, \quad (18)$$

де x^i - координати вузла-відправника i в k - мірному просторі Q , x^j координати вузла-отримувача j в k - мірному просторі Q , Δt - інтервал часу вимірювання, d_{ij}^k - корегуюча відстань за методом уточнення місцезнаходження вузла $RSSI$ до j -го вузла СМ; $\Delta d_{ij}^k - d_{ij}^k$ - корегуючої відстані від i -го вузла до інших j -тих вузлів мережі, що визначена за методом уточнення місцезнаходження по індикації рівня сигналу $RSSI$, що отримується, і враховує властивості каналу ПД та завантаженість обчислювальних ресурсів j -го вузла мережі. Визначивши величину додаткового затухання, в ПП вузла СМ обчислюється значення корегуючої відстані від i -го вузла до інших j -тих вузлів мережі $d_{ij}^k = \left(d_{ij}^l \right)^{\frac{k-\Delta}{k}} \left(\frac{4\pi\eta}{c} \right)^{\frac{-\Delta}{k}}$, де d_{ij}^l - локальна відстань до j -тих вузлів мережі; k - коефіцієнт послаблення; Δ - додаткове затухання; η - частота сигналу; c - швидкість світла.

Тим самим за наявністю залишкової пропускну здатності каналу зв'язку можна в якості додаткового критерію відбору визначити сумарну затримку сигналу в маршруті ПД, що визначається значенням Δd_{ij}^k в співвідношенні (17).

Обчислення значення $d_{\text{звирт}}^{ij}$ в k - мірному віртуальному просторі Q для вузлів i і j здійснюється за співвідношенням

$$d_{\text{звирт}}^{ij} = x_j^i + v_j^i \Delta t + \Delta v_j^i \frac{\Delta t^2}{2}, v_j^i = \frac{\sqrt{\sum_{m=1}^k (x_m^i - x_m^j)^2}}{\Delta t}, x_j^i = \sqrt{\sum_{m=1}^k (x_m^i - x_m^j)^2}, \Delta v_j^i = \frac{v_j^i \Big|_{t=t_0} - v_j^i \Big|_{t=t_0+\Delta t}}{\Delta t},$$

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 , Δv_j^i - прискорення зближення/віддалення вузлів

Метод синтезу та вибору маршруту передачі даних.

Виходячи з теореми про припустимість А-алгоритму побудови оптимального маршруту ПД між вузлом-відправником і вузлом-отримувачем для довільного графу СМ за умови існування такого маршруту, визначимо евристичний алгоритм рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту. Згідно моделі СМ, яка визначена зв'язаним графом (11) “ціна” маршруту ПД визначається гегелівськими парами у відповідності до ЛСМ. Для набору векторів, що встановлює відповідність множини передумов стратегій управління маршрутизацією ПД, обчислюється значення віртуальної відстані в віртуальному просторі функціонування Q . Евристична функція $h^*(G)$ визначає ціну оптимального маршруту ПД від вузла-відправника $v_s \in V$ до вузла-отримувача $v_t \in V$ на маршруті, що відповідає граф-моделі $G = (V, E)$.

Згідно (12) визначаємо $h(G) = \sum_k f_{ki} = \sum_j f_{ij}, \forall i \in V, i \neq \{s, t\}, \forall j \in V, j \neq \{s, t\}, \forall e_{ij} \in E \forall \{i, j\} \in V$,

що є евристичною оцінкою, і обираємо оптимальне значення $h^*(G) = \sup h(G)$.

Зважаючи на те, що $h^*(G) \leq h(G)$, можна зробити висновок про припустимість А-алгоритму. Таким чином, для припустимості А-алгоритму методу інтегрального усікання варіантів (МІУВ) достатнім є знаходження $h^*(G)$, що буде гарантувати оптимальність синтезованого маршруту ПД. Тим самим зберігається евристична сила алгоритму.

Синтез і вибір маршруту здійснюється за мінімальним значенням функції ціни (17), (18), що враховує кількісну характеристику множини вузлів мережі при здійсненні ПД в напрямку від вузла-відправника до вузла-отримувача. Евристичний алгоритм синтезу і вибору маршруту ПД в СМ (рис. 5) полягає в тому, що стан мережі враховується шляхом розрахунку графу мережі на основі визначення віртуальної довжини ребер граф-моделі.

Ефективність алгоритму оцінюється за допомогою показника цілеспрямованості.

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

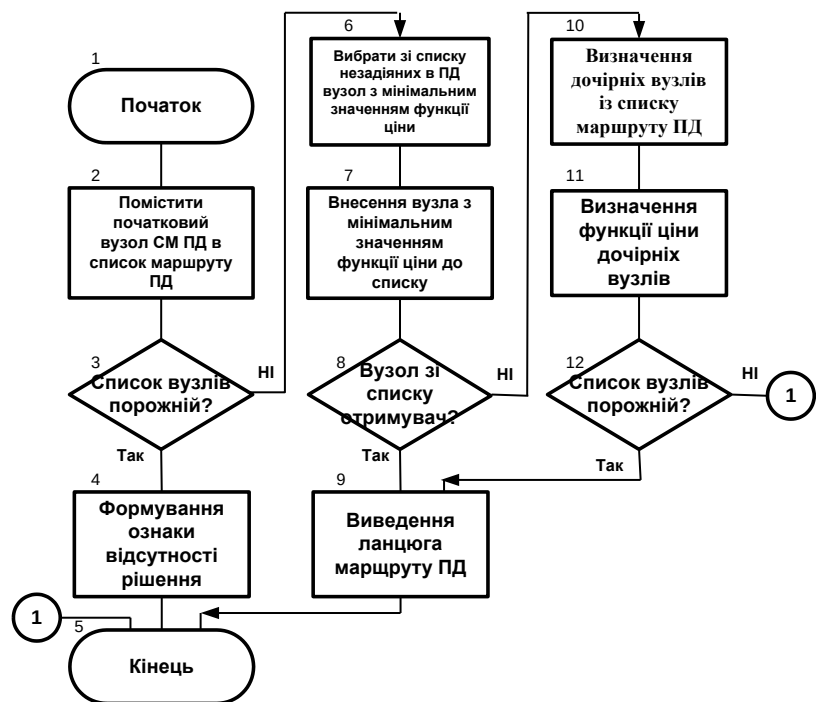


Рис 5. Схема евристичного алгоритму синтезу і вибору маршруту ПД

ВТ.

Як результат, 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 А-алгоритм управління маршрутизацією, як *NP*-повну перебірну задачу динамічної дискретної оптимізації при рішенні конфлікту взаємодії вузлів мережі за умов обмежень та невизначеностей.

У **четвертому розділі** розглянуто інформаційну технологію моделювання СІУ маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей.

Застосування імітаційних моделей розрахунку параметрів гарантоздатності (табл. 1) дозволило при цьому:

Таблиця 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 MIVR	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											

а) розробити інформаційну технологію синтезу графу СМ ВТ і віртуального уявлення мережі для розподілених СІУ маршрутизацією ПД між вузлом-відправником і вузлом-отримувачем;

б) розробити інформаційну технологію синтезу і вибору маршруту при функціонуванні розподіленої СІУ маршрутизацією ПД між вузлом-відправником і вузлом-отримувачем в СМ ВТ за умов конфлікту, обмежень і невизначеностей.

За напрямом дослідження імітаційної моделі синтезу і вибору рішень щодо управління маршрутизацією в конфліктуючій сенсорній мережі за умов забезпечення гарантоздатності в роботі було отримано результати, що дозволили:

а) дослідити параметри функціонування каналів передачі даних при інформаційній взаємодії вузлів, що визначають ланки маршруту передачі даних в сенсорній мережі варіативної топології за умов обмежень і невизначеностей (рис. 6);

б) дослідити параметри, що характеризують функціонування системи інтелектуального управління вузлів сенсорної мережі при синтезі і виборі маршруту від вузла-відправника до вузла-отримувача потоку даних (рис. 7).

В роботі також було проведено аналіз характеристик функціонування системи інтелектуального управління маршрутизацією в конфліктуючих гарантоздатних сенсорних мережах. Це в свою чергу дозволило зробити такі висновки:

а) часові показники рішення задачі синтезу і вибору оптимального маршруту передачі даних розподіленою системою інтелектуального управління маршрутизацією в дослідній сенсорній мережі варіативної топології 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

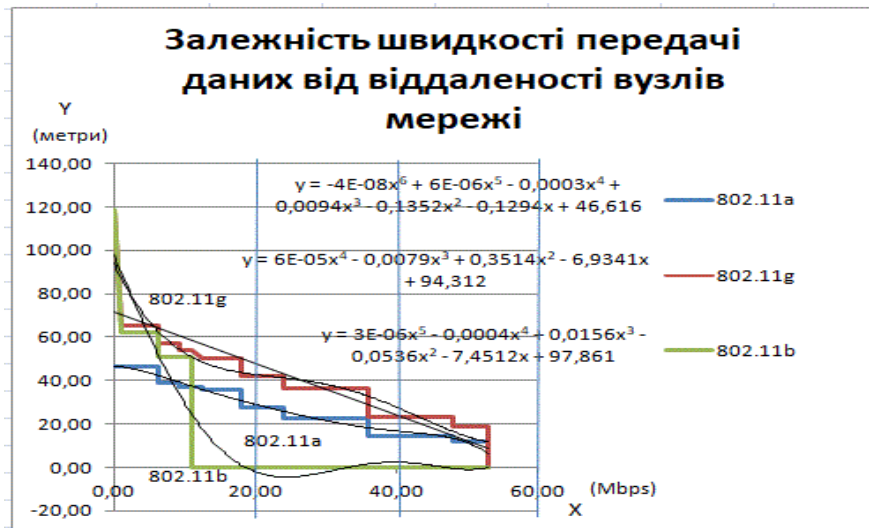


Рис 6. Характеристики функціонування каналів

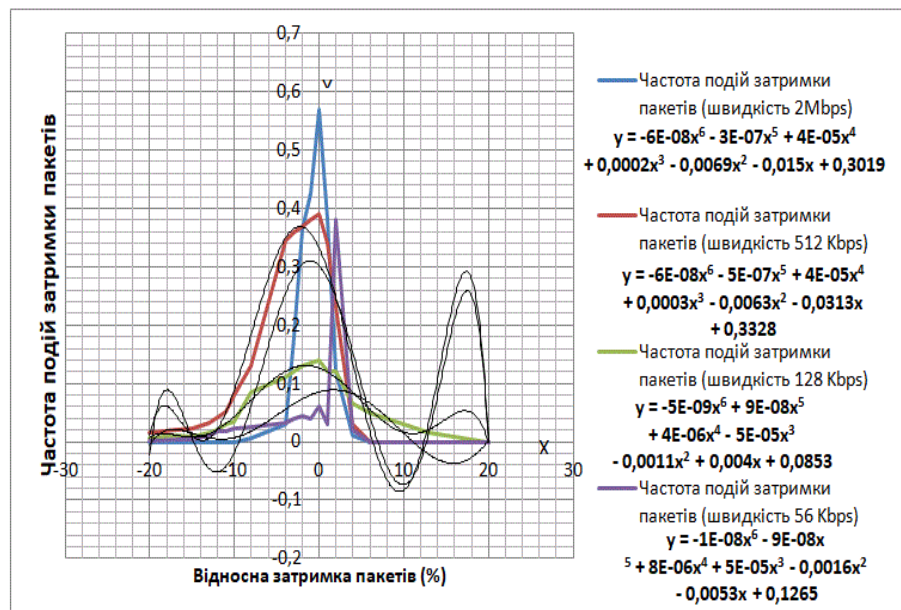


Рис 7. Характеристики якості процесів ПД

обчислень не менше, ніж в 2,17 рази.

в) евристичний алгоритм синтезу і вибору маршруту передачі даних в розподіленій СИУ маршрутизацією є поліноміальним в часі щодо кількості вузлів мережі;

г) розподілена СИУ маршрутизацією при застосуванні евристичного алгоритму синтезу і вибору маршруту передачі даних є стійкою.

Приклад розрахунку маршрутів ПД за евристичним алгоритмом в евклідовому просторі віртуальних координат для СМ ВТ наведено на рис. 8.

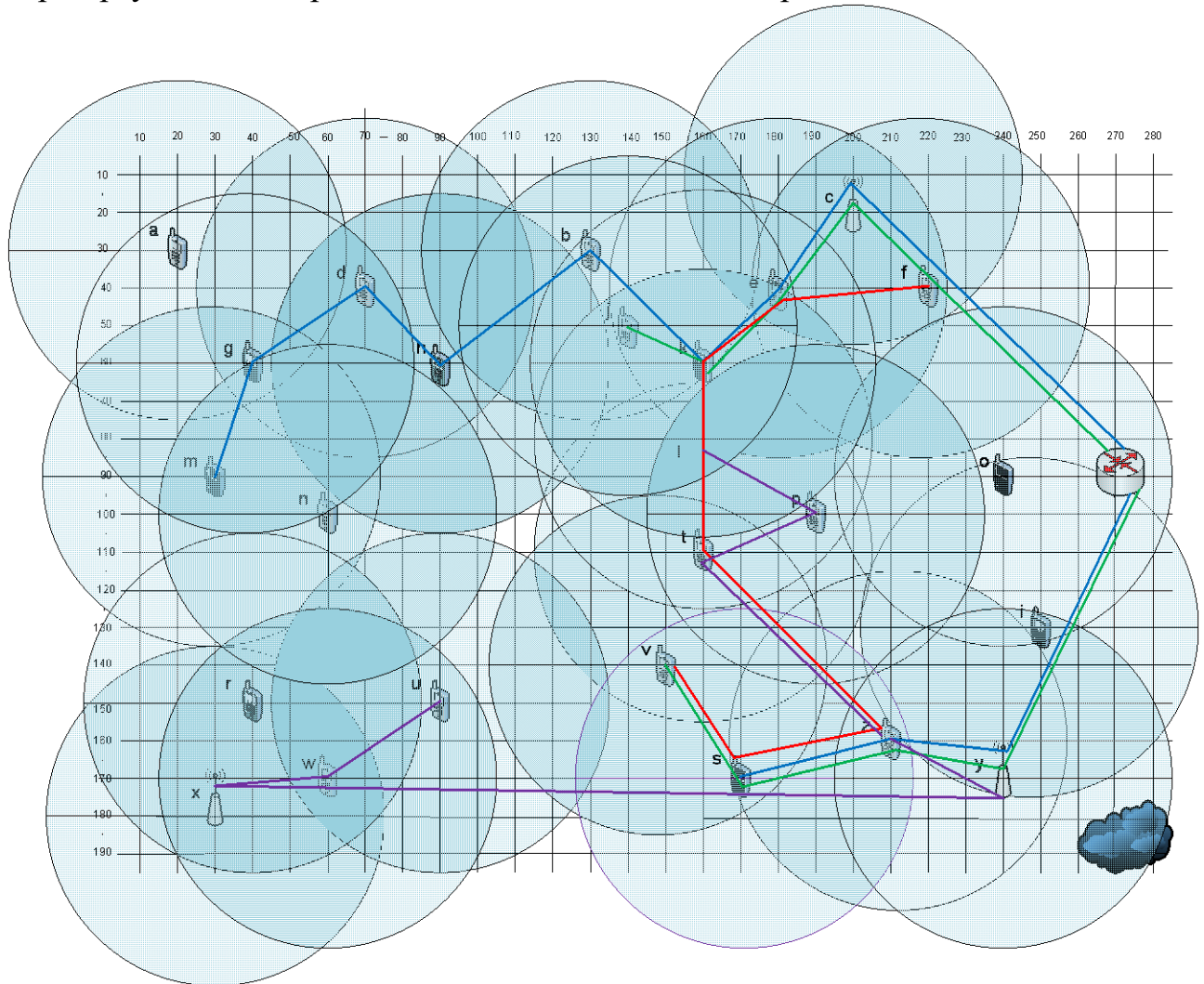


Рис. 8. Приклад розрахунку маршрутів ПД в СМ ВТ

При розрахунку маршруту ПД координати вузлів СМ ВТ корегувалися відповідно співвідношень (17) і (18), що дозволило враховувати стан обчислювального середовища вузлів СМ і каналів ПД. В свою чергу це, а також рішення задачі синтезу і вибору маршруту ПД, як задачі дискретної динамічної оптимізації у віртуальному просторі, дозволило враховувати як зовнішні, так і внутрішні впливи на кожен вузол мережі й дало підстави стверджувати, що в розподіленій СИУ СМ ВТ ПІ кожен вузол мережі функціонує у власному віртуальному просторі.

Поліноміальний час рішення задачі синтезу і вибору маршруту ПД в СМ ВТ забезпечується при цьому завдяки множинному уявленню й віртуалізації простору

рішення, а також застосуванню принципу розподіленості СІУ та використанню технології розпаралелювання в обчислювільних середовищах ІІ вузлів мережі.

Разом з тим в роботі було досліджено характеристики стійкості функціонування інтелектуальних перетворювачів динамічної розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією потоків даних.

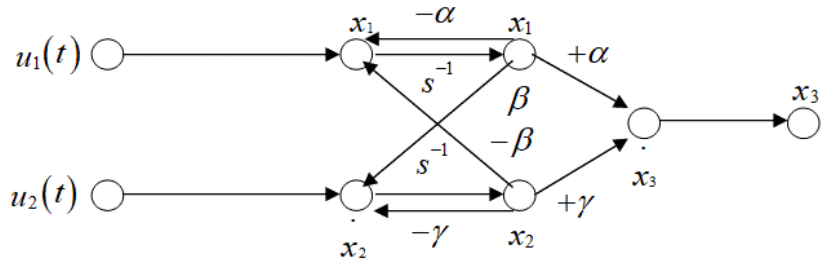


Рис. 9. Сигнальний граф функціонування СІУ вузла мережі

Дослідження стійкості динамічної СІУ

маршрутизацією ПД вузла СМ здійснювалося за сигнальним графом (рис. 9), що відображає процес її функціонування.

На сигнальному графі позначені змінні і параметри: 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 вихідного каналу запитів до наступного вузла маршруту ПД; α , β , γ - параметри, що визначають характеристики ПД відповідних ребер сигнального графу.

Виходячи з сигнального графу, характеристичне рівняння СІУ вузла СМ має вигляд

$$q(s) = s^2 \Delta(s) = s^2 + (\alpha + \gamma)s + (\alpha\gamma + \beta^2) = 0. \quad (20)$$

Сигнальний граф має три контури, два з яких не є дотичними один до одного. Детермінант сигнального графа має значення $\Delta(s) = 1 - (-\alpha s^{-1} - \gamma s^{-1} - \beta^2 s^{-2}) + \alpha\gamma s^{-2}$, де $s = i\omega$ - комплексний аргумент перетворення Лапласа, характеристичне рівняння СІУ вузла матиме вигляд $q(s) = s^2 \Delta(s) = s^2 + (\alpha + \gamma)s + (\alpha\gamma + \beta^2) = 0$.

Виходячи з (20), значення $(\alpha + \gamma) > 0$ і $(\alpha\gamma + \beta^2) > 0$, що визначає знаходження коренів характеристичного рівняння в лівій половині s -площини, а вільний рух СІУ в просторі параметрів при часі $t \rightarrow \infty$ прямує до нуля, що свідчить про стійкість функціонування СІУ вузлів СМ.

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 СІУ 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 ПІ 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 вииграш 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 вииграш 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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.
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 „Wysztalcenie i nauka bez granic: Matematika. 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. *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 юн. 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.

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 актуальної наукової задачі оптимального управління маршрутизацією потоків даних в сенсорних мережах варіативної топології, які побудовані на основі сервіс-орієнтованої архітектури і функціонують в умовах обмежень та невизначеностей за рахунок функціонування розподіленої системи інтелектуального управління маршрутизацією.

Об'єкт дослідження – процес оптимального управління багатомірними інформаційними об'єктами варіативної топології в умовах конфлікту, обмежень та невизначеностей, якими є процеси оптимального управління маршрутизацією в СМ ВТ. *Предмет дослідження* – моделі і методи синтезу і вибору стратегій оптимального управління маршрутизацією ПД в СМ ВТ при взаємодії конфліктуючих вузлів мережі в умовах обмежень та невизначеностей.

Новизна роботи полягає в подальшому розвитку теоретичних та практичних методів синтезу і вибору рішень з використанням методів дискретної динамічної оптимізації математичної моделі в теоретико-множинному підході, що дозволяє отримувати більш прості процедури синтезу рішень, а також створювати розподілені системи інтелектуального управління маршрутизацією ПД в конфліктуючих СМ ВТ за умов обмежень і невизначеностей за рахунок:

- розробки, обґрунтування та дослідження властивостей математичної моделі та методу забезпечення гарантоздатності сервіс-орієнтованих СМ ВТ за умов конфлікту взаємодії вузлів, обмежень і невизначеностей;

- розробки і формального визначення задачі синтезу і вибору маршруту ПД в СМ ВТ, як задачі дискретної динамічної оптимізації;

- визначення і обґрунтування функції ціни, як критерію оптимальності, при синтезі і виборі маршруту ПД, у вигляді віртуальної відстані між вузлами мережі, що враховує обмеження, невизначеності і конфлікти взаємодії вузлів, а також властивостей процесів, які притаманні їх функціонуванню;

- розробки методу і евристичного алгоритму управління маршрутизацією ПД для розподіленої СІУ гетерогенною СМ ВТ, як *NP*-повної перебірної задачі дискретної динамічної оптимізації при рішенні конфлікту взаємодії вузлів мережі за умов обмежень та невизначеностей;

Ключові слова: інформаційна технологія, сенсорна мережа варіативної топології, синтез рішень, синтез стратегій, теоретико-множинна модель, математична модель, дискретна динамічна оптимізація, конфлікт, невизначеність, обмеження, евристичний алгоритм, поліноміальний час, імітаційна модель.

ANOTATION

Semko O.V. Information technology of intelligent routing control in sensor networks of variable topology in the conditions of limitations and uncertainties. - Qualification scientific work on the rights of manuscript.

Dissertation on the competition of graduate degree of candidate of technical sciences in the speciality 05.13.06 “Information technology”. – Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The thesis is devoted to the study of the actual scientific task of optimal control of data flow routing in sensor networks of variable topology, which are based on a service-oriented architecture, and operate under conditions of limitations and uncertainties due to the functioning of a distributed intelligent routing control system.

The object of study is the process of optimal control of multidimensional information objects of variable topology in conditions of conflict, constraints and uncertainties, which are the processes of optimal control of the SN VT routing. *The subject of the research* is models and methods of synthesis and selection of strategies for optimal control of data flow (DF) sensor networks (SN) variable topology (VT) routing in the interaction of conflicting network nodes under conditions of limitations and uncertainties.

The novelty of the work lies in the further development of theoretical and practical methods for the synthesis and selection of solutions using the methods of discrete dynamic optimization of the mathematical model in the set-theoretic approach, which allows us to obtain simpler procedures for synthesizing solutions and create distributed systems for intelligent control of DF routing in conflicting SN VT in conditions of limitations and uncertainties due to:

- development, substantiation and research of the properties of the mathematical model and the method of ensuring the guaranteeability of service-oriented SN VT in the conditions of conflict of interaction of nodes, constraints and uncertainties;
- development and formal definition of the task of synthesis and choice of the DF SN VT route as a problem of discrete dynamic optimization;
- determination and justification of the price function, as an optimality criterion in the synthesis and selection of the DF route, in the form of a virtual distance between network nodes, taking into account limitations, uncertainties and conflicts of interaction between nodes, as well as the properties of processes inherent in their functioning;
- developing a method and a heuristic algorithm for controlling the DF routing for a distributed intelligent control systems with a heterogeneous SN VT, as an NP-complete task of iterating discrete dynamic optimization when solving the conflict of interaction between network nodes under constraints and uncertainties.

Key words: information technology, sensor network of variable topology, decision synthesis, strategy synthesis, set-theoretic model, mathematical model, discrete dynamic optimization, conflict, uncertainty, constraint, heuristic algorithm, polynomial time, simulation model.

Підписано до друку 13.08.2019.
Формат 60х90/16.
Ум. Друк. Арк. 1,43. Облик.-вид. арк. 1,05.
Наклад 110 прим. Зам. 102/19.

Віддруковано ТОВ «Про формат»
Посвідчення про внесення суб'єкта видавничої справи
До державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
Видавничої продукції серія ДК № 5942 від 11.01.2018
М. Київ, вул. Кирилівська, 86
Тел. 353-85-58