

Відгук

офіційного опонента,

д.т.н., професора Агеєва Дмитра Володимировича,
професора кафедри інфокомунікаційної інженерії ім. В.В.Поповського
Харківського національного університету радіоелектроніки
на дисертаційну роботу Шмельової Тетяни Рудольфівни на тему:
“Аналіз, синтез та перетворення моделей телекомунікаційних систем на основі
нескінченних сіток Петрі”,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі
(172 – Телекомунікації та радіотехніка)

Актуальність теми дисертації

Актуальність теми досліджень ґрунтується аналізом та використанням основних положень концепції ІТУ мережі майбутнього, яка передбачає наступні основні завдання: різноманітність послуг, функціональна гнучкість, віртуалізація ресурсів, керування мережею, мобільність, надійність і безпека, доступ до даних, ідентифікація, енергоспоживання, оптимізація, універсалізація послуг та економічні стимули.

Функціональна гнучкість та віртуалізація ресурсів є основними завданнями, поруч із безпекою мереж, які знаходять істотне втілення у дисертаційній роботі. Крім того дисертація відбиває трендові тенденції трансформування сучасних ґрид-технологій у хмарні обчислення через аналіз особливостей реалізації вітчизняних та Європейських ґридів та опиту їх впровадження та експлуатації. Розповсюдження ґридів та хмар висуває нові вимоги до безпеки мереж, дослідженню якої присвячено декілька розділів дисертації.

По суті, дисертаційну роботу присвячено творчому осмисленню нових типів мереж, таких як мережі на чипі та мережі суперкомп'ютерів і кластерів, та розробці відповідних методів їх аналізу і синтезу. Характерною особливістю таких мереж є використання топології у вигляді багатовимірних ґраткових структур, зокрема гіперкубу та гіпертору. З точки зору маршрутизації такі топології мають численні переваги, які надають актуальність перспективам їх масштабування на регіональні та глобальні мережі. Основними перевагами є мала відстань для довільної пари вузлів та велика кількість альтернативних маршрутів, що забезпечує надійність та малу латентність таких мереж. Крім того на відміну від складних протоколів динамічної маршрутизації сучасних

ОМАН Ім. О. С. ПОПОВА
ВХ 01-32-480
"22. 11 2019"

мереж, які використовують все більшу частку пропускну здатності, маршрутизація у гіперторі може бути реалізована через використання низки простих маршрутних правил, які виконуються практично миттєво та забезпечують означену низьку латентність.

Керована моделлю розробка стає основною технологією проектування мереж та вимагає використання сімейств однотипних моделей які забезпечують комплексне розв'язання завдань верифікації та оцінки ефективності проєктованих мереж. Крім того підвищується значення таких показників як повторне використання моделей та порівняльна трудомісткість їх розробки.

Отже тема дисертаційної роботи є надзвичайно актуальною через те, що передбачає розробку основ нових теорій, які відповідають сучасним викликам у галузі телекомунікацій.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

У вступі дисертаційної роботи автором обґрунтовано актуальність теми роботи, висвітлено зв'язок її положень із науковими програмами, планами, темами; сформульовано та узагальнено основні положення, які характеризують процес наукового дослідження; сформульовано наукові проблему та завдання досліджень; надано інформацію щодо апробації, публікації результатів досліджень та їх впровадження.

В першому розділі виконано аналіз сучасних тенденцій розвитку телекомунікацій, аналітичних та імітаційних методів їх моделювання спрямованих на верифікацію протоколів і оцінку ефективності мереж. Визначено необхідність розробки методів верифікації протоколів телекомунікаційних ґраток довільного розміру та моделей, які дозволяють мінімізувати їх повторне використання для керованої моделлю розробки телекомунікаційних систем та мереж.

В другому розділі введено новий клас нескінченних сіток Петрі для подання ґраток на площині та у багатовимірних просторах. Нескінченні сітки відповідають класичній аксіоматиці зчисленних нескінченних множин. Синтезовано моделі прямокутних, трикутних и шестикутних ґраток на площині, гіперкубу та гіпертору у багатовимірних просторах, розглянуто реалістичні крайові умови побудови ґраток та архітектурні особливості комутуючих пристроїв.

В третьому розділі розроблено методи аналізу властивостей нескінченних сіток Петрі через розв'язання у параметричному вигляді нескінченних діофантових систем лінійних алгебраїчних рівнянь і методи доведення стаціонарної повторюваності та опису складних тупиків в ґратках основаних на спеціально введених графах передач та блокувань.

В четвертому розділі введено новий тип реєнтерабельних моделей, подано основні принципи побудови реєнтерабельних моделей, розроблено реєнтерабельні моделі MPLS та PBB мереж, IP-мереж з динамічною маршрутизацією та обчислювальних ґраток у вигляді розфарбованих сіток Петрі.

В п'ятому розділі введено взаємні перетворення нескінченних сіток Петрі та реєнтерабельних розфарбованих сіток Петрі, вдосконалені вимірювальні компоненти моделей у вигляді розфарбованих сіток Петрі відносно особливостей реєнтерабельних моделей, підтверджено уразливість ґраток до атак шляхом утворення тупикових конфігурацій через замаскований трафік низької інтенсивності.

В шостому розділі розроблено комплекс програмного забезпечення для автоматичного синтезу моделей у вигляді трикутних та шестикутних ґраток, гіперкубу та гіпертору, розглянуто альтернативний спосіб подання ґраток за допомогою двоїстого параметричного виразу, розроблено моделі ґраток у вигляді числення процесів та відповідної мови mCRL2.

Висновки дисертаційної роботи відзначають наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Наукова новизна дисертаційної роботи

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше запропоновано:

- клас нескінченних сіток Петрі для моделювання телекомунікаційних систем із довільною кількістю пристроїв, поданих у вигляді плоских та багатовимірних ґраток, для верифікації протоколів зазначених мереж та доведення коректності процесів їх функціонування;
- клас реєнтерабельних моделей телекомунікаційних систем та мереж, зокрема у вигляді розфарбованих сіток Петрі, для оцінки пропускнуої спроможності, якості обслуговування та надійності;
- повна класифікація тупиків плоских та багатовимірних комунікаційних ґраток як: цикл взаємних блокувань, ланцюг блокувань, який завершується на раніше заблокованому узлі та внаслідок ізоляції вузла;
- методи перетворення моделей у вигляді прямої та зворотної специфікації нескінченної сітки Петрі та реєнтерабельної моделі у вигляді розфарбованих сіток Петрі для забезпечення сімейства моделей для керованої моделлю розробки телекомунікаційних систем та мереж.

Набули подальшого розвитку:

- методи теорії графів стосовно пошуку повних обходів графу для виявлення можливості повного блокування ґратки, а також введення

спеціальних графів передач та блокувань для доведення стаціонарної повторювальності нескінченних сіток Петрі та класифікації тупиків обчислювальних ґраток;

- методи кібербезпеки стосовно виявленню уразливості телекомунікаційних ґраток до атак через злонамірений трафік низької інтенсивності із метою наведення тупикових конфігурацій ґратки;

- методи лінійної алгебри стосовно розв'язання нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь у параметричній формі.

Удосконалено:

- метод вімирювальних компонентів моделей телекомунікаційних систем у вигляді розфарбованих сіток Петрі, який дозволяє розраховувати статистичні характеристики безпосередньо у процесі імітаційного моделювання із урахуванням особливостей організації реєнтерабельних моделей;

- окремі вимірювальні компоненти моделей у вигляді розфарбованих сіток Петрі, зокрема розрахунку дисперсії часу доставки часту за один прохід;

- методи перерахування комбінаторних об'єктів, зокрема перерахування вершин багатовимірних гіперкубів та гіперторів довільного розміру із довільною кількістю вимірювань.

Методи досліджень, які використано в дисертаційній роботі

В роботі використано методи теорії мультимножин і перезапису мультимножин, методи лінійної алгебри, зокрема методи розв'язання діофантових систем і нескінченних систем лінійних алгебраїчних рівнянь, теорії частково впорядкованих множин (ґраток) і теорії чисел, методи теорії графів, зокрема методи покриття графа циклами і побудови обходів орієнтованого графа, методи теорії сіток Петрі, методи імітаційного моделювання і математичної статистики, методи керованого моделлю проектування, методи алгебри (числення) процесів, елементи теорії реєнтерабельних, преємптивних і паралельних програм.

Зв'язок положень дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана в рамках державних науково-дослідних робіт: «Розробка нових систем адресації глобальних мереж»; «Аналіз ефективності обчислювальних ґраток розфарбованими сітками Петрі»; «Удосконалення технологій побудови та методів проектування телекомунікаційних мереж із використання адекватних математичних моделей трафіка», Міжнародної наукової-дослідної роботи «Моделювання обчислювальних ґраток розфарбованими сітками Петрі»

Україна-Австрія; міжнародних програм розробки бібліотек моделей університету Париж-6, Франція, Лабораторії архітектур систем, Тулуза, Франція; Технологічного університету Ейндховена, Нідерланди.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі досягається по-перше досягається шляхом системного аналізу процесів функціонування мереж на чипі, мереж суперкомп'ютерів і кластерів та стільникових мереж, по-друге застосуванням формальних математичних доведень, які ґрунтуються на методах теорії мультимножин, теорії графів, лінійній алгебрі та теорії чисел, по-третє статистичним аналізом результатів імітаційного моделювання та їх порівнянням із раніше отриманими результатами та результатами вимірювання на реальних мережах. Експериментальні результати також відображені в актах впровадження.

Практичне значення результатів одержаних в дисертаційній роботі

Основними практичними результатами дисертації є розробка методів верифікації комунікаційних структур із довільною кількістю комунікаційних пристроїв, зокрема організованих у ґратки із довільною кількістю вимірів та довільним розміром. Практичне значення повністю ґрунтується науковою новизною отриманих методів та відсутністю аналогів для порівнянь. Кількісній оцінці підлягає практичне значення запропонованих методів синтезу реєнтерабельних моделей у вигляді розфарбованих сіток Петрі. Реалізація у компанії середнього розміру дозволяє отримати скорочення строків розробки телекомунікаційних мере у півтора рази. Оскільки реєнтерабельна модель містить фіксовану кількість елементів, при зростанні розміру мереж із використанням в компаніях магістральних операторів зв'язку прогнозується збільшення показників ефективності.

Практичне значення дисертаційних досліджень полягає у наступному:

1. У дисертаційній роботі розроблено методи, моделі та алгоритми верифікації протоколів з необмеженою (довільною) кількістю взаємодіючих пристроїв нескінченними сітками Петрі.
2. Виконано синтез моделей і верифікацію трикутної, прямокутної, шестикутної комунікаційних ґраток на площині, гіперкуба і гіпертора в багатовимірних просторах.

3. Розроблено методи, моделі та алгоритми оцінки ефективності телекомунікаційних мереж, обчислювальних кластерів і ґраток реєнтерабельними моделями в формі розфарбованих сіток Петрі, що дозволяє скоротити час розробки і аналізу моделей за рахунок інваріантності заданій топології.

4. Виконано автоматизований синтез моделей для оцінки ефективності технологій IP, MPLS, PBB і прямокутних обчислювальних ґраток.

5. Розроблено програмне забезпечення для синтезу і перетворення моделей, яке розповсюджується через портал GitHub. Бібліотеки моделей схвалено та розповсюджуються розробниками моделюючих систем з Франції (Tina) та Нідерландів (CPN Tools).

6. Застосування запропонованих методів і моделей в телекомунікаційних компаніях України дозволило скоротити терміни проектування мереж в півтора рази і підвищити достовірність попередніх оцінок пропускнуої здатності і якості обслуговування.

Публікації та апробація результатів дисертації

Наукові результати та положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 14 міжнародних та всеукраїнських конференціях, матеріали 7 з яких індексуються наукометричними базами Scopus та WoS; у повному обсязі матеріали представлено на наукових семінарах в Чеському технічному університеті, Прага, Інституті дослідження систем Польської академії наук, Варшава, Ейндховенському технологічному університеті, Нідерланди.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи опубліковано в 43 наукових працях, серед яких 1 глава в колективній монографії (енциклопедії), 24 наукових статті, з них 7 індексуються наукометричними базами Scopus та WoS, та 17 у наукових фахових виданнях України.

Рівень та обсяг опублікування результатів є достатнім та свідчить про їх визнання як на вітчизняному так і на світовому рівні.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація відповідає вимогам щодо докторських дисертаційних робіт Міністерства освіти та науки України. Роботу написано грамотно і логічно, сучасною науково-технічною мовою та послідовно розкриває основні положення, розроблені автором. Автореферат дисертації достатньо повно та ідентично розкриває її зміст. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень та висновків забезпечує доступність їх сприйнятті. Дисертація за

тематикою та результатами відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

У дисертації Шмельової Т.Р, немає положень, які виносились на захист її кандидатської дисертації.

Зауваження до автореферату

1. В авторефераті не наведений метод синтезу моделей ґраткових структур у вигляді нескінченної сітки Петрі, хоча він достатньо повно поданий у дисертації на прикладі синтезу моделі прямокутних плоских відкритих ґраток та уточнень для низки крайових умов та багатовимірних ґраток.

2. В авторефераті недостатньо уваги приділено питання розв'язання нескінченних систем лінійних алгебраїчних діофантових рівнянь у параметричному вигляді. Наприклад, наведено систему (6) та її розв'язок (7) але достатньо важко зрозуміти яким шляхом він був отриманий.

3. Для ілюстрації програмних засобів автоматичного синтезу у шостому розділі було обрано трикутні ґратки, хоча алгоритм їх синтезу є порівняльне простим до синтезу моделей у вигляді гіперкубу та гіпертору, які вивчено у відповідному розділі дисертації. Було б доцільним їх викладення у авторефераті тому що вони передбачають використання оригінальних алгоритмів перерахування вузлів для довільної кількості вимірів та довільного розміру, а також оригінальні алгоритмічні рішення при генерації різноманітних крайових умов.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. В першому розділі недостатньо повно розглянута концепція мереж наступних поколінь NGN, яка залишається актуальною на поточному етапі розвитку телекомунікацій через те, що передбачає інтеграцію послуг та окрему обробку сигнальної та абонентської складових передаваної інформації.

2. В першому розділі і далі у роботі не розглянуто питання вершинної та реберної зв'язності графів як засобу підвищення надійності мереж. Зокрема не наведено зв'язність досліджених ґраток як на площині так і в багатовимірних просторах. Було б доцільним окреме вивчення основних властивостей, які роблять гіпертор ідеальною структурою для комунікаційних підсистем кластерів та суперкомп'ютерів.

3. В роботі розглянуто децентралізовані структури, але недостатньо уваги приділено питанням управління розподіленими мережевими ресурсами тому, що робота таких структур не може повністю базуватися на P2P принципах. Деякі із вузлів мають брати на себе функції керування, таки чином в мережі

розповсюджується сигнальна інформація, яка має спеціальні вимоги до показників якості обслуговування. Але вивчався тільки користувальницький та злочинний різновиди трафіка.

4. Трафік інтелектуальних видів сервісу є суттєвою часткою трафіка сучасних мереж, але його особливості не достатньо повно відбито у роботі. Це стосується також само подібних різновидів трафіка які у багатьох роботах вважаються адекватним засобом модельного подання реалістичного трафіка. У роботі розглянуто тільки потоковий та клієнт-сервер різновиди трафіка із використанням стандартних функцій розподілення.

5. Недостатньо уваги приділено формальним постановкам оптимізаційних задач як одному із засобів синтезу мереж. Застосування засобів оптимізації, зокрема лінійного програмування, для якого є ефективні програмні засоби, дозволяє суттєво підвищити ефективність мереж завдяки швидкому вибору основних параметрів структури та навантаження вершин та ребер при використанні графів.

6. В роботі не розглянуто сучасні технології бездротових мереж нового покоління, наприклад LTE та 5G хоча в роботі досліджуються комунікаційні структури стільникового зв'язку у загальному вигляді шестикутних ґраток. Було б доцільним вивчення особливостей реалізації загальних структур у мережах певної технології операторів зв'язку.

Загальні висновки

1. Дисертаційна робота Шмельової Тетяни Рудольфівни за темою “Аналіз, синтез та перетворення моделей телекомунікаційних систем на основі нескінченних сіток Петрі” є самостійною завершеною науковою працею, яка містить нові обґрунтовані наукові результати, важливі для подальшого розвитку галузі телекомунікацій. Відзначені зауваження не впливають на позитивну оцінку виконаних дисертаційних досліджень.

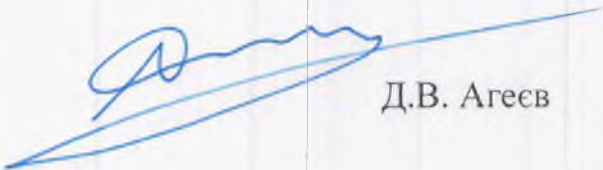
2. Зміст та основні положення дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

3. Матеріал роботи викладено послідовно, стиль викладення відповідає вимогам до наукових праць. Висновки до кожного розділу відображають зміст виконаних досліджень. Публікації автора повністю відбивають наукові положення роботи та одержані результати. Обсяг та якість публікацій та апробацій свідчить про вітчизняну та міжнародну визначність наукових результатів.

4. Автореферат в цілому відображає зміст та основні положення дисертації.

5. За актуальністю тематики, обсягом проведених досліджень, їх науковим рівнем, повнотою розв'язання наукових та практичних завдань, новизною та ступенем обґрунтування отриманих результатів, висновків та практичних рекомендацій дисертація відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України щодо докторських дисертацій згідно з «Порядком присудження наукових ступенів», а автор роботи – Шмельова Тетяна Рудольфівна – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В.Поповського
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Д.В. Агеєв

Підпис професора кафедри ІКІ ім. В.В. Поповського Агеєва Д.В. засвідчую

Учений секретар ХНУРЕ



І.В. Магдаліна