

ВІДГУК
офіційного опонента

професора кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського»,
доктора технічних наук, доцента Стеценко Інни Вячеславівни на дисертацію Шмельової Тетяни Рудольфівни «Аналіз, синтез та перетворення моделей телекомунікаційних систем на основі нескінченних сіток Петрі», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації

Через стрімке зростання кількості обчислювальних пристроїв, приєднаних до Інтернет-мережі, та через зростання складності структури телекомунікаційних систем, відповідно зростає необхідність розробки методів дослідження систем, які містять величезну кількість елементів. Прості та надійні елементи, з'єднані в одну систему, можуть у сукупності породжувати конфліктні та інші проблемні ситуації. Наразі, коли діджиталізація охопила майже усі сфери людської діяльності, питання надійності систем передачі даних є надзвичайно важливим і кожний крок у напрямку підвищення надійності передачі даних є цінним. Тому наукове дослідження, проведене здобувачем, є актуальним.

При переході від відносно невеликих розмірів системи до великих завжди постає проблема розмірності задачі. Методи, які спрацьовують на невеликих розмірах, втрачають свою дієздатність на великих розмірах, як правило, через надто великий час, необхідний для обчислень. Настільки великий, що результат обчислень стає недоцільно витратним. Тому розробка нових формальних методів, які спрямовані на дослідження систем з великою кількістю елементів, є актуальною науковою проблемою.

Мережі Петрі так само, як і інші методи, страждають від зростання розмірності системи, яка моделюється. Збільшується не тільки кількість елементів, але й зв'язки між елементами стають заплутаними. Візуалізація таких моделей зводить нанівець усі спроби зрозуміти модель виключно з її графічного представлення. Вихід з цієї ситуації автор знаходить у параметричному представленні, яке надає можливість використовувати повторювані фрагменти моделі у будь-якій кількості. Автор вдало використовує структуру телекомунікаційних систем при створенні моделі, мінімізуючи витрати як на її опис, так і на її програмну реалізацію. Водночас кількість елементів, задіяних у моделі, не зменшується.

У дисертації розроблені моделі телекомунікаційних систем в узагальненому вигляді, що надає можливість швидко застосовувати їх у

ОРАЗ Ів. О. С. Попова
01. 01-32-434
14. 11 2019

практичних умовах при відомих значеннях параметрів. Тим самим спрощується рутинний процес розробки моделі для кожної конкретної системи та прискорюється процес моделювання. Моделі, які отримані в дисертації, зменшують кількість помилок на етапі проектування телекомунікаційних систем, надають можливість дослідити властивості системи, що розробляється, та поліпшити її технічні характеристики (надійність, безпечність).

Робота привертає увагу насамперед достатньо високим рівнем формалізації запропонованих рішень, доведенням цих рішень до практичної реалізації у вигляді алгоритмів і програм, значною кількістю прикладів застосування запропонованих рішень до реальних технічних систем. Слід відмітити досвід участі автора у міжнародних проектах, широке представлення результатів дисертаційного дослідження на міжнародних конференціях.

Тема дослідження та отримані наукові результати відповідають науковим напрямам держбюджетних, науково-дослідницьких та договірних науково-технічних робіт, які виконувались в Одеській національній академії зв'язку ім. О.С. Попова. Основні результати дисертаційного дослідження отримані здобувачем в рамках Міжнародної наукової-дослідної роботи «Моделювання обчислювальних ґраток розфарбованими сітками Петрі» (Україна-Австрія), міжнародних програм розробки бібліотек моделей «Конкурс тестових моделей» (університет Париж-6, Франція), Лабораторії архітектур систем, (Тулуза, Франція) для моделюючої системи Tina, Технологічного університету Ейндховена, Нідерланди, для моделюючої системи CPN Tools, а також науково-дослідних робіт «Розробка нових систем адресації глобальних мереж» (№ д/р 0108U008900), «Аналіз ефективності обчислювальних ґраток розфарбованими сітками Петрі» (№ д/р 0113U002700), «Удосконалення технологій побудови та методів проектування телекомунікаційних мереж із використання адекватних математичних моделей трафіка» (№ д/р 0116U003632).

Таким чином, тему дисертаційної роботи Т.Р. Шмельової слід характеризувати як актуальну, орієнтовану на розв'язання важливої для ефективного використання телекомунікаційних систем проблеми верифікації протоколів.

Наукова новизна, обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

У дисертаційній роботі поставлена мета розробки моделей, методів та інструментальних засобів для верифікації протоколів і оцінки ефективності мережевих технологій, які передбачають довільну кількість взаємодіючих систем.

Автором дисертації знайдене прогресивне технічне рішення для дослідження властивостей комунікаційних систем з великою кількістю елементів. Симетрія структури інформаційно-комунікаційних систем вдало опрацьована з використанням параметрів, які задають структуру. Отримані рішення за рахунок запропонованої структуризації мають зручний для використання вид. Дослідження систем проводиться з метою виявлення важливих для її успішного функціонування властивостей: циклічність, консервативність та відсутність тупиків, а також стійкість до зловмисного трафіку.

Термін «нескінченна сітка Петрі» автор дослідження використовує для означення сітки Петрі, кількість елементів якої та структура зв'язків між елементами задається параметрично і параметр може приймати будь-скільки велике значення.

Параметричний опис моделей, запропонований автором дисертації, є ефективним рішенням для систем з великою кількістю елементів та регулярною структурою, оскільки робить математичне та алгоритмічне представлення моделі компактним, що підвищує швидкість її конструювання та редагування. Не зважаючи на те, що автору не вдалось універсалізувати побудову параметричного опису моделей, що мають велику кількість повторюваних елементів, та вдосконалити дослідження таких моделей настільки, щоб властивості моделі можна було виводити на основі властивостей її структурних елементів, наукові результати, отримані в дисертаційному дослідженні є суттєвими та такими, що мають наукове значення для проектування та розробки телекомунікаційних систем та мереж.

Достовірність отриманих результатів підтверджується коректною постановкою задач, коректним використанням математичного апарату, рядом експериментальних досліджень, проведених на моделях.

У дисертації автором отримані такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблений метод синтезу моделей телекомунікаційних протоколів, які описують взаємодію будь-скільки великої кількості комунікаційних пристроїв за стандартними вербальними специфікаціями протоколів, у формі нескінченної сітки Петрі. Новизною методу є специфікація множини структурних схем телекомунікаційних мереж у вигляді параметричного виразу, що дозволяє узагальнити моделі для певної мережевої технології.

2. Вперше для специфікації комунікаційних ґраток стільникового зв'язку, ефірного мовлення та розподілених обчислень розроблена нотація параметричних виразів для систем перезапису мультимножин, що дозволяє виконати подання нескінченних сіток Петрі в прямій і двоїстій формах. Новизною нотації у порівнянні з класичними системами перезапису мультимножин є довільна кількість елементів, що дозволяє отримати скінченну специфікацію нескінченних мереж певної регулярної структури.

3. Вперше для верифікації телекомунікаційних протоколів розроблені методи композиції систем діофантових лінійних рівнянь за параметричними виразами, а також методи отримання загальних розв'язків таких систем, які надали можливість отримати параметричні розв'язки для комунікаційних ґраток та довести інваріантність відповідних моделей; новизною методів по відношенню до класичних нескінчених систем функціонального аналізу є відсутність граничного переходу у поданні та розв'язанні системи, що являє собою більш загальні методи, придатні до застосування у дискретних просторах.

4. Вперше запропоновані графи передач і взаємних блокувань для прискореного аналізу простору станів моделей комунікаційних ґраток, які агрегують скінченні та нескінченні підмножини станів у вершини графа, що дозволило виявити тупики в моделях комунікаційних ґраток, а також отримати схеми повного блокування ґраток. Новизною запропонованих графів є спрощене подання основних властивостей моделей телекомунікаційних систем, яке дозволяє застосувати формальні методи теорії графів для доведення коректності протоколів та класифікації потенційних загроз блокування інформаційного обміну.

5. Отримали подальший розвиток методи моделювання телекомунікаційних протоколів і пристроїв, які відображають їх архітектурні особливості, такі як режими передачі, режими комутації, значення ключових полів заголовків повідомлень. Новизною рішень є деталізація можливостей телекомунікаційних пристроїв.

6. Вперше для специфікації телекомунікаційних мереж і обчислювальних ґраток запропоновано клас реентерабельних моделей у формі розфарбованих сіток Петрі. Новизною реентерабельної моделі є додаткові засоби прив'язки динамічних об'єктів до топологічної схеми мережі, що дозволяє отримати модель, яка містить кожний компонент у єдиному екземплярі та параметр, який подає топологію мережі.

7. Вперше розроблені методи синтезу реентерабельних моделей за вихідними вербальними специфікаціями технологій та традиційними моделями представлення елементів топології; синтезовані реентерабельні моделі IP, MPLS та PBB мереж за вихідними традиційними моделями, динамічної маршрутизації IP-мереж за вихідними стандартними специфікаціями протоколу RIP. Новизною методів є застосування вихідної інформації у вигляді стандартів мереж та традиційних моделей, зокрема у вигляді розфарбованих сіток Петрі.

8. Вперше розроблені методи прямого та зворотного перетворення нескінчених сіток Петрі та реентерабельних моделей комунікаційних ґраток; за допомогою прямого перетворення синтезовані реентерабельні моделі прямокутних комунікаційних ґраток; зворотні перетворення, які пов'язані із частковою втратою інформації, дозволяють застосувати формальні методи

верифікації ґраток; новизна методів взаємних перетворень полягає у використанні нових класів моделей, що дозволяє отримати сімейство формальних засобів специфікації різного ступеню деталізації для комплексного розв'язання задач доведення коректності та оцінки ефективності телекомунікаційних мереж.

9. Вперше розроблені методи дослідження впливу зловмисного трафіку на продуктивність та якість обслуговування мережі для реєнтерабельних моделей обчислювальних ґраток, з метою підвищення безпеки мереж; виявлені прості конфігурації замаскованої зловмисної активності низької інтенсивності, які призводять до повного блокування ґратки. Новизна методів полягає у виявленні нових типів атак на мережу через застосування системи взаємодіючих джерел зловмисного трафіку, замаскованого під мультимедійний потік.

Висунуті в дисертаційній роботі наукові положення отримали перевірку та знайшли підтвердження при вирішенні практичних завдань при застосуванні їх для широко використовуваних на практиці структур телекомунікаційних систем. Теоретичні розробки доведені автором до практично реалізованого комплексу програм для керованої моделлю розробки телекомунікаційних систем. Моделі обчислювальних ґраток, які запропоновані автором дослідження, схвалені міжнародним науковим суспільством сіток Петрі та розміщені на сайтах моделюючих систем Tina і CPN Tools.

Ступінь обґрунтованості наукових методів, положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи визначається коректністю виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, практичним застосуванням одержаних результатів при розробці та експлуатації телекомунікаційних пристроїв та мереж компанії «Сіґма-Т» м. Дніпро.

Повнота викладення здобувачем основних результатів дисертаційної роботи в публікаціях

Наукові результати дисертації повною мірою представлені у 43 наукових публікаціях, з них 1 глава опублікована у колективній монографії, 7 статей - у міжнародних індексованих журналах, у тому числі 4 статті Scopus, 17 - у наукових фахових виданнях України, у тому числі 1 стаття Scopus, 2 - WoS, інші праці опубліковані у збірниках тез та матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій та семінарів, з них 7 індексовані у наукометричній базі Scopus. Результати дисертаційної роботи пройшли достатню апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату

Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації

становить 404 сторінок, у тому числі: 287 сторінок основного тексту, 113 рисунків, 26 таблиць, список використаних джерел із 246 найменувань.

Автореферат відповідає змісту дисертації, написаний українською мовою, з використанням сучасної української наукової термінології. Опубліковані в авторефераті положення співпадають з основними положеннями дисертаційної роботи.

Зауваження щодо оформлення дисертаційної роботи та термінології.

1. Модель зазвичай розуміють як перетворення множини вхідних змінних системи (об'єкта чи поняття) у множину вихідних змінних. Представлені у розділі 2 моделі було б краще розуміти, якби був даний опис цих множин. Наприклад, для заданих значень розміру буферу та розміру ґраток модель оцінює успішність передачі пакетів даних.
2. У виразі (3.8) присутній індекс $i-1$, який може прийняти значення 0, а в дисертації для моделей розглядаються тільки індекси позицій більше або рівні 1.
3. У тексті використовуються русизми: «сітка Петрі» замість «мережа Петрі», «ресентрабельна модель» замість «реентрантна модель», «вираження» - «вираз», «фішка» - «маркер», а також «непіддающиеся» (стор. 39) замість «такі, що не піддаються», «друг від друга» - «один від одного» (стор.239); «генеруемого» (стор.252) – «генерованого».
4. Математичні вирази в дисертації написані як алгоритмічні. В математиці використовують змінні, записані тільки з однієї літери, а вираз ab означає a помножити на b . Символ $*$ в математиці не використовується для позначення множення. Символ \cup не використовується для позначення операції злиття. Операція присвоєння, позначена як $:=$, не є математичною, тому її не слід було використовувати для математичних виразів. Двоповерхові індекси такі, як j_k , також не використовують в математичних виразах.
5. У виразі (2.13) використовуються записи для індексів, які ускладнюють сприйняття. Наприклад, $v=1,3$, $v \neq 1$. Не зрозуміло, чому доцільно писати саме так, а не використовувати $v=3$ і переписати рядок формули для відповідного значення індексу v .
6. Вираз (3.21) містить функцію $i(j)$, визначення якої відсутнє. Вираз (3.23) містить фігурні дужки замість звичайних.
7. На рисунку 3.2 використовуються закодовані значення параметрів, що робить незрозумілим їх зміст.

Зауваження до автореферату дисертації

1. Скорочення ТКСМ використовується в авторефераті без його пояснення.
2. Для виразу (3) немає пояснення, що означають змінні r_0 , r_i , r_{0l} , r_{il} , r_b , r_{bl} . Не зазначено також, який з діапазонів параметрів вважається тут нескінченним.
3. Візуалізація моделей, представлена на рис. 5, швидше є недоліком, ніж перевагою моделювання мережею Петрі. Рисунок доводить, що для візуалізації великих моделей запропонований підхід не дієздатний.
4. Перетворення у розфарбованому мережу Петрі рис. 13 (б) було б більш очевидним, якби автор не змінював розташування позицій та переходів, а використовував їх так само, як в мережі на рис. 13 (а).
5. Однакове позначення n використовується на рис 14 (б) для різних цілей, а саме, для елемента розфарбованої мережі Петрі та для розміру ґратки.
6. З тексту автореферату не ясно, чому результати, наведені на рис. 16, є важливими.

Зауваження щодо змісту дисертації

1. Мета роботи має бути сформульована як підвищення якості оцінки ефективності мережевих технологій, а в роботі має бути експериментальне підтвердження досягнення такого підвищення за рахунок використання розроблених методів, моделей та алгоритмів.
2. У пункті 9 новизни дисертації помилково вказаний термін «реентерабельна сітка Петрі», оскільки в дисертації автор використовує термін «реентерабельна модель».
3. На мою думку, використання терміну «нескінченна сітка Петрі» не є достатньо обґрунтованим та викликає ряд зауважень. По-перше, в дисертації підлягають дослідженню специфічні для телекомунікаційних систем моделі, а саме, моделі з великою кількістю повторюваних фрагментів одного типу. Методи, які запропоновані в дисертації, не можуть бути поширені на загальний випадок мережі Петрі з великою кількістю елементів. По-друге, за правилами функціонування мережі Петрі (стор. 77) за кожним кроком здійснюється запуск одного з переходів з виконаною умовою запуску, тобто, у випадку нескінченної кількості таких переходів ймовірність запуску дорівнює $1/\infty=0$, а значить жоден з переходів не буде запущений. По-третє, з означення нескінченної сітки Петрі (стор.81) слідує, що елементи мережі Петрі (позиції чи переходи) можуть мати нескінченну кількість елементів, з якими зв'язані, а в контексті дисертації параметром, який може приймати будь-яке

велике значення, є кількість повторюваних фрагментів у структурі моделі. По-четверте, для моделі гіпертору відбувається замикання ланцюгів елементів, отже кількість елементів в такій моделі є, хоч і великою, проте скінченною. По-п'яте, з тексту дисертації не ясно, чим відрізняється дослідження звичайними та нескінченними сітками Петрі. Теореми, які доведені, мають формулювання «для довільного натурального значення параметра», при цьому параметром є скінченний розмір ґратки.

4. Операція «об'єднання (сполучення) позицій» в дисертації математично не визначена. В термінах теорії множин об'єднання визначене для множин елементів, а в дисертації ця операція використовується для окремих елементів. Дві (або більше) позиції можуть перетворитись в одну, якщо вони співпадають. Вважаю, що в цьому випадку потрібно вказувати рівність позицій для відповідних індексів.
5. У моделі комунікаційного вузла (рис. 2.1, 2.3) не визначена подія «відмова», яка має місце, якщо буфер вичерпаний. Таку подію потрібно додавати в модель, в протилежному випадку в буфери необмеженої довжини штучно перетворюються позиції, які містять інформацію про наявність повідомлення для передачі. Проте така подія має бути визначена з вищим пріоритетом, отже доведеться переходити до більш складного класу мереж Петрі з пріоритетними переходами.
6. Для побудованих моделей відсутні оцінки точності та коректності. Таку оцінку варто було зробити на прикладі однієї з моделей.
7. Параметричний опис моделі має бути доповнений описом початкового маркірування, оскільки без початкового маркірування функціонування мережі Петрі є невизначеним.
8. Параметричні моделі можуть виявитись трудомісткими з точки зору їх верифікації, на відміну від звичайних мереж Петрі.
9. Доведення розділу 3 здаються надмірними. Якщо фрагменти мережі Петрі повторюються, то потрібно скористатись цим при виведенні властивостей мережі Петрі: ґрунтуючись на властивостях фрагменту спробувати вивести властивості всієї мережі Петрі.
10. Наведена на рис. 3.1 модель не містить позиції $pb1$, хоч в параметричному описі вище вона була присутня. Початкове маркірування сіток Петрі, представлених на рис. 2.6, є тупиковим, тому не дає можливості зрозуміти логіку функціонування цих моделей.

Вказані зауваження не мають принципового значення та не зменшують наукової цінності дисертаційної роботи.

Загальні висновки

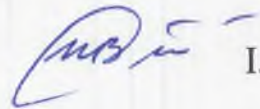
З урахуванням вищезазначеного можна стверджувати, що дисертація Шмельової Тетяни Рудольфівни є завершеною науково-дослідною роботою, яка має практичне значення та містить розв'язання актуальної наукової проблеми оцінки ефективності телекомунікаційних систем з необмеженою кількістю взаємодіючих елементів.

За обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота повністю відповідає чинним вимогам до дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук, які містяться у пп. 9, 10, 12, 13 "Порядку присудження наукових ступенів" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, внесеними згідно Постанови Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р., №567 від 27.07.2016 р.), оскільки в ній запропоноване нове вирішення актуальної науково-практичної проблеми у галузі проектування телекомунікаційних систем.

Актуальність розглянутої проблеми, практична та наукова цінність одержаних результатів наукового дослідження для розвитку наукових основ верифікації протоколів телекомунікаційних систем дають право вважати, що Тетяна Рудольфівна Шмельова заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
професор кафедри автоматизованих
систем обробки інформації та управління
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний університет
імені Ігоря Сікорського»



I.V. Стеценко

Підпис Стеценко I.V. засвідчую.

Вчений секретар
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний університет
імені Ігоря Сікорського»
к.ф.н., доцент




A.A. Мельниченко