

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Притули Миколи Ігоровича

за темою «Лінгвістичне представлення детермінованих графів»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 11 «Математика і статистика»

за спеціальністю 113 «Прикладна математика»

Актуальність роботи

Графи є зручним універсальним інструментом моделювання та аналізу складних систем. В цих процесах особливе значення мають розмічені граfi, які широко застосовуються у програмуванні, робототехніці, перевірці та валідації моделей. Структура таких графів часто досліджується експериментальним використанням мобільних агентів, які поміщають у граф, далі вони переміщуються ребрами графа та повідомляють оператору-досліднику локальну інформацію, на основі якої він визначає структуру досліджуваного графа. Детерміновані граfi, у яких в околі кожної вершини всі вершини мають попарно різні мітки, мають природний зв'язок із мовами в алфавіті міток вершин: у випадку, коли відома вершина, з якої починається рух агента, траєкторія цього руху по графу однозначно визначається послідовністю відвіданих міток. Це дозволяє розглядати такі граfi у тісному зв'язку з теорією автоматів та застосовувати лінгвістичні методи їх описання. Традиційні способи завдання графів, засновані на матрицях, списках та словниках, не дуже зручні для мобільних агентів, оскільки не повністю охоплюють їх можливості обробки інформації. Тому розробка завдання графа, що є зручним для його дослідження мобільними агентами є важливою задачею. Запропоноване в дисертаційній роботі лінгвістичне представлення графа множинами слів дозволяє агенту здійснювати обробку даних у символічній формі, що може спростити алгоритмічні процедури, символічне кодування вершин і ребер полегшує пошук, зіставлення та верифікацію маршрутів, оскільки переходи агента можуть бути описані у вигляді простих операцій над рядками. Тому вважаю, що тема дисертаційної роботи Притули Миколи Ігоровича є значущою та актуальною.

Аналіз змісту дисертації

Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків, у яких наведено список публікацій автора за темою дисертації та програмний код розробленого прототипу бібліотеки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, проведено узагальнений аналіз сучасного стану проблематики, описано застосовані методи та взаємозв'язок роботи з науковими програмами. Крім того, наведено характеристику отриманих результатів, розкрито їх наукову новизну та визначено практичне значення.

Перший розділ присвячений історії виникнення та розвитку теорії представлення, зокрема розглядаються представлення груп, напівгруп та скінченних автоматів. Наведено основні результати, пов'язані з детермінованими та сильно-детермінованими графами, а також їхні аналоги – графи з 2-дистантною та ін'єктивною розміткою. Окреслено практичні застосування цих графів у наукових та інженерних задачах.

У *другому розділі* наведено основні означення, пов'язані з детермінованими графами, та запропоновано чотири алгоритми для структурних перетворень відповідних об'єктів: алгоритм АБ, що виокремлює в графі його базу, алгоритм АР, що перетворює недетермінований граф у детермінований, алгоритм АП, що конструює детермінований граф за двома множинами спеціального вигляду або сповіщає про неможливість такого конструювання, алгоритм АК, що будує канонічну визначальну пару. Для кожного алгоритму наведено приклади його роботи; також наведено кількісні характеристики канонічної пари.

Третій розділ присвячено поняттю характеристизації та її ролі у формалізації й аналізі об'єктів. Поставлено задачу визначення, чи є задана коректна пара визначальною для графа без побудови графа за алгоритмом АП. Для цього введено еквівалентні перетворення пар та розроблено алгоритм компресії, який наближає траєкторії графа до найкоротших. Доведено, що коректна пара є визначальною тоді і лише тоді, коли результат компресії збігається з канонічною парою графа. Також розроблено алгоритм АКС для знаходження мінімального слова, що визначає шлях у графі від ініціальної вершини.

Четвертий розділ містить опис програмного інтерфейсу (API) реалізованого прототипу бібліотеки, виокремлено п'ять цільових процедур з програмними нотаціями. Наведено приклади роботи графічного інтерфейсу та проведено тестування програмного коду за стандартними критеріями якості.

Висновки дисертації чітко акцентують увагу на ключових положеннях роботи та демонструють наукову новизну проведених досліджень. Список використаних джерел підтверджує, що автором було опрацьовано значний обсяг сучасних наукових публікацій у сфері тематики дисертації.

Виклад матеріалу дисертаційної роботи супроводжується строгими математичними доведеннями лем і теорем, що є свідченням наукової обґрунтованості та достовірності отриманих результатів.

Основні результати роботи

Дисертація Притули Миколи Ігоровича присвячена дослідженню методів удосконалення, систематизації та програмного моделювання лінгвістичного представлення детермінованих графів за допомогою двох множин слів алфавіту їхніх міток, а також формалізації та розв'язанню задачі їх характеристики.

Основні наукові результати, що визначають новизну роботи та виносяться на захист:

1. Вперше розроблено лінгвістичне представлення детермінованих графів у алгоритмічному вигляді.
2. Знайдено критерій, за яким коректна пара є визначальною для сильно-детермінованого графа.
3. Доведено, що канонічна пара графа є його визначальною парою; отримано оцінки об'єму її компонент та доведено, що вона є мінімальною за потужністю й об'ємом кожної компоненти серед усіх визначальних пар заданого детермінованого графа.
4. Вперше запропоновано еквівалентні перетворення коректної пари, на базі яких реалізовано алгоритм компресії для отримання канонічної визначальної пари.
5. Вперше розв'язано задачу характеристики лінгвістичного представлення детермінованих графів.
6. Розроблено алгоритм знаходження найкоротших шляхів від ініціальної вершини до всіх інших вершин графа.

Отримані результати забезпечують як теоретичне, так і практичне підґрунтя для подальшого використання методів лінгвістичного моделювання у дослідженні детермінованих графів та їх алгоритмічній обробці.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у створенні формалізованого підходу до лінгвістичного представлення детермінованих графів та закладенні основ для подальших досліджень у сфері символічної обробки графових структур. Зокрема, подібність алгоритму компресії до алгоритму редукції системи визначальних співвідношень для автоматів поглиблює взаємозв'язок між теорією графів, теорією автоматів і формальних мов. Це відкриває можливість застосування методів граматики і автоматів для дослідження властивостей графових структур. Результати роботи можуть

стати основою для вирішення прикладних задач, зокрема задачі побудови найкоротших шляхів між усіма вершинами детермінованого графа.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що запропонований метод дозволяє компактно представляти графові структури в програмних системах. Лінгвістичний підхід спрощує реалізацію алгоритмів обробки графів у середовищах, орієнтованих на роботу з текстовими або символічними даними, а також відкриває нові можливості для застосування у задачах мобільної робототехніки, оптимізації, систем штучного інтелекту, лінгвістичного моделювання даних, теорії керування та інших систем. Розроблені алгоритми перетворення графа у символічну форму та відновлення з неї можуть бути використані у навчальних і дослідницьких програмних засобах.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях

Результати дисертаційної роботи знайшли відображення у трьох наукових статтях, серед яких одна стаття опублікована у виданні квартиля Q3, що індексується в міжнародній наукометричній базі Scopus, та дві статті у фахових виданнях України. Також результати дослідження було представлено на трьох наукових конференціях. Основні положення дисертації повністю викладено в наукових публікаціях. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано. Під час ознайомлення та аналізу дисертаційної роботи порушень академічної доброчесності не виявлено.

Зауваження та побажання

При цілком позитивній оцінці роботи, вважаю за необхідно зробити такі зауваження:

1. Варто було б знайти обчислювальну складність кожного з шести запропонованих алгоритмів, чи хоча би визначити для кожного з цих алгоритмів, чи є його складність поліноміальною.
2. На стор. 97 в означенні канонічного слова випадково пропущено вимогу $v_0\sigma = v_0$.
3. У зв'язку з тим, що в результаті виконання еквівалентних перетворень коректної пари в її компонентах можуть з'явитися повтори слів, доречно було б задати компоненти пари як мультимножини.
4. Алгоритми АП, редукції, компресії та АКС використовують порядок $\leq$. Не вказано який результат дії цих алгоритмів без використання цього порядку.
5. У роботі наявна незначна кількість помилок текстового набору та стилістичних описок, зокрема: стор. 7 «у четвертому розділі розділі», стор. 116 «Теорема 3.4 дозволяє інтерпретувати роботу алгоритму АКС як лінгвістичний оптимізаційний процес, що перетворює будь-якого слово».

Наведені зауваження та побажання не є суттєвими, істотно не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи і якість одержаних результатів.

Загальний висновок

У цілому, дисертаційна робота «Лінгвістичне представлення детермінованих графів» є завершеною науково-дослідною працею, що містить нові науково обґрунтовані результати, та відповідає спеціальності 113 «Прикладна математика». Одержані результати дозволили в повній мірі досягти мети дисертаційного дослідження.

Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, є всі підстави стверджувати, що за актуальності теми, науковою новизною, обсягом виконаних досліджень, цінністю одержаних результатів і науково-технічним рівнем обґрунтованості результатів, робота цілком відповідає пунктам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 (зі змінами на поточну дату) та вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог щодо оформлення дисертації», а її автор, здобувач Притула Микола Ігорович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика» в галузі знань 11 «Математика і статистика».

Офіційний опонент

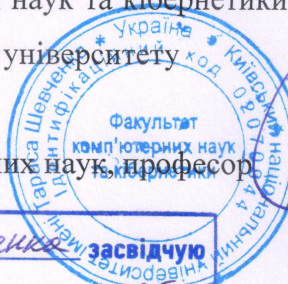
професор кафедри математичної інформатики

факультету комп'ютерних наук та кібернетики

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка,

доктор фізико-математичних наук, професор



Олександр МАРЧЕНКО

Підпис	<u>О. Марченко</u>	засвідчую
« <u>26</u> »	<u>12</u>	<u>2023</u> р.
Заст. декана	<u>ДН</u>	Дмитро ЗАТУЛА