

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»
д.т.н., професору Роліку Олександровичу

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Гнатушенка Володимира Володимировича
на дисертаційну роботу Сарнацького Владислава Віталійовича
на тему «*Мова програмування та програмні засоби опису агентних моделей
розповсюдження інфекційних захворювань*»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації.

Попри велику кількість різноманітних методів моделювання поширення інфекційних захворювань, стверджується, що найбільш ефективним засобом боротьби з епідемією є своєчасне та стратегічно обґрунтоване введення карантинних заходів та інших заходів протидії поширенню інфекційних захворювань. Це сприяє "згладжуванню" кривої захворюваності, що дозволяє ефективно використовувати медичні ресурси та запобігає їх дефіциту, який спостерігався під час пандемії COVID-19. Дослідження та аналіз стратегій боротьби з розповсюдженням інфекційних захворювань стає неможливим без їх використання у контрольованому експерименті в умовах моделювання. Точність моделей та їх соціодемографічна параметризація суттєво впливає на якість оптимальних стратегій для реального світу. Останнім часом спостерігається зростання інтересу до використання агентно-орієнтованих моделей для епідеміологічного моделювання через їхню вищу точність у порівнянні з "класичними" компартментними моделями та зростання доступних обчислювальних ресурсів. Розробка таких моделей вимагає від дослідників не лише знань у сфері епідеміологічного моделювання, а й високих навичок програмування. Для спрощення цього процесу можуть використовуватися програмні засоби, такі як бібліотеки для певних мов програмування або спеціальні середовища моделювання з внутрішньою мовою опису моделей. Застосування останніх дозволяє спроектувати мову опису моделі з метою максимального спрощення використання, що сприяє швидкій розробці нових моделей та їх аналізу. Це визначає актуальність дисертаційної роботи

В.В. Сарнацького В.В., що полягає у розробці інструментального забезпечення для ефективного моделювання процесів розповсюдження інфекційних захворювань.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Основні теоретичні положення дисертації В. Сарнацького одержані шляхом коректного застосування методів математичного моделювання, оптимізації, обробки даних та використання нейронних мереж. Автором виконана побудова транслятора розробленої формальної мови опису агентної епідеміологічної моделі, дано визначення метрики ефективності моделі, що дозволяє виконувати порівняння різних моделей та інструментів моделювання з точки зору їх обчислювальної ефективності. Ця метрика є інваріантною до кількості агентів, тривалості симуляції, її гранульованості та кількості одночасно залучених до обчислення моделі ядер центрального процесору. Аналіз змісту розділів, використаного інструментарію та способів його застосування дозволяє зробити висновок про належну обґрунтованість отриманих автором наукових результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, обґрунтовано теоретичним аналізом і підтверджено результатами практичного використання. Достовірність результатів підтверджується також комп'ютерною реалізацією розроблених алгоритмів з можливістю кількісного та візуального контролю її результатів, тестовими розрахунками з прогнозованими результатами. Все це свідчить про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації В.В. Сарнацького.

Структура, обсяг роботи.

Дисертація загальним обсягом 172 сторінки складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 103 найменувань та додатків, у які винесені лістинги програмних модулів та список наукових праць дисертанта. Основний текст дисертації займає 116 сторінок. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.

У вступі автором подано загальну характеристику дисертації, визначено актуальність теми, сформульовано мету дослідження, окреслено коло наукових та прикладних задач, розв'язання яких забезпечує реалізацію мети роботи, показана наукова новизна та практична цінність роботи. Наведено відомості про апробацію та публікації результатів досліджень.

У першому розділі дисертації автором ретельно аналізується література, присвячена математичним, програмним та мовним інструментам для

моделювання поширення інфекційних захворювань. Висвітлено два основних напрямки методів — компартментні та агентні моделі, а також проаналізовано програмні засоби. Зазначено активний інтерес до використання агентного моделювання. Під час оцінки програмних інструментів дисертантом виявлено обмежену гнучкість та інтерфейс наявних методів і інструментів. Автор роботи зробив висновок про необхідність створення спеціалізованої мови для агентних моделей з метою поліпшення їх доступності та функціональності.

У другому розділі В Сарнацьким було виконано побудову загальної епідеміологічної моделі агентного типу та розроблено формальну мову для її опису. Основна складність моделювання визначена урахуванням контактів при обчисленні розподілу майбутнього стану захворювання. Дисертантом запропоновано три алгоритми для цього, і проведено аналіз їх алгоритмічної складності. Також досліджено оптимальну імплементацію алгоритму з групуванням. Для моделі була визначена формальна граматика предметно-орієнтованої мови. Ця мова надає високорівневий інтерфейс для задання сутностей та їх відношень у загальній епідеміологічній моделі. Мова підтримує визначення ймовірнісних розподілів та основні операції між ними, спрощуючи задання соціодемографічної параметризації моделей.

У третьому розділі автором була реалізована розробка транслятора для формальної мови, яка описує агентну епідеміологічну модель, а також відповідного середовища моделювання. Транслятор виступає у ролі компілятора із сконфігурованою проміжною мовою, такою як Python або Rust. Однією з ключових особливостей алгоритму трансляції є мінімізація виділення пам'яті під час виконання програми. Компілятор визначає загальний обсяг пам'яті для моделі та використовує відповідно розмірний буфер для оптимізації обчислень.

Середовище розробки CTraceEnv розроблено для аналізу агентних епідеміологічних моделей, написаних мовою CTrace. Воно включає базовий функціонал для опису моделей, такий як підсвітка синтаксису та вбудований транслятор. Серед функціоналу аналізу представлені елементи керування моделлю, глобальні параметри та інтерфейс для перегляду динаміки розповсюдження інфекційного захворювання, а також можливість експорту результатів для зовнішнього аналізу.

У четвертому розділі В. Сарнацьким виконано комплексний аналіз мови CTrace, розробленої для моделювання епідеміологічних процесів. Застосування цієї мови виявилось обґрунтованим через високу точність моделі, яка була підтверджена під час калібрування на реальних епідеміологічних даних. Особливу увагу приділено аналізу ефективності розробки, де використання CTrace призвело до значного скорочення обсягу коду. Це сприяє поліпшенню ітерацій та зменшенню помилок під час розробки моделей.

Додатково були визначені метрики функціональності та ефективності, що підкреслюють конкурентоспроможність моделей, розроблених мовою CTrace, порівняно з аналогами. Аналіз впливу соціодемографічних показників на стратегії карантину підкреслив важливість їх врахування при моделюванні епідемій. Загалом, результати аналізу підтверджують ефективність та доцільність використання CTrace для епідеміологічного моделювання, а CTraceEnv виділяється високою функціональністю порівняно з наявними аналогами.

У додатках наведені лістинги розроблених комп'ютерних програм та список наукових праць автора.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- Вперше визначена предметно-орієнтована мова, призначена для опису агентних моделей розповсюдження інфекційних захворювань. Ця мова відрізняється від загальних мов опису моделей тим, що дозволяє гнучкий їх опис. Використання цієї мови призвело до значного скорочення обсягу вихідного коду моделей, порівняно з використанням загальних мов програмування;
- Вперше розроблено транслятор для предметно-орієнтованої мови опису агентних епідеміологічних моделей. Використання цього транслятора для компіляції вихідного коду моделей призводить до створення ефективних агентних моделей розповсюдження інфекційних захворювань. Автор стверджує, що час обчислення цих моделей є значно меншим за час обчислення більшості інших моделей;
- Отримала подальший розвиток загальна агентна математична модель розповсюдження інфекційних захворювань. На відміну від існуючих моделей вона може враховувати більшість сценаріїв, характерних для агентних епідеміологічних моделей.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Прикладна цінність дисертації.

Автором виконана практична апробація розробленого інструментарію для ефективного моделювання розповсюдження інфекційних захворювань. У її рамках, було дано визначення агентної епідеміологічної моделі розповсюдження коронавірусу SARS-CoV-2 серед населення Польщі у період з початку вересня 2020 р. до кінця листопада 2020 р., що була відкалібрована з використанням публічно доступних епідеміологічних даних. Результівна модель описує

динаміку зміни кількості інфікованих людей з коефіцієнтом детермінації рівним 0.9319, що свідчить про здатність розробленого підходу описувати процеси розповсюдження інфекційних захворювань.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Сарнацького В.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення».

У дисертаційній роботі чітко прослідковується авторський стиль подачі матеріалу та формування висновків. Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи та наукових праць, що опубліковані автором, дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані ним особисто і повною мірою опубліковані та апробовані. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Інтелектуальні методи програмування, моделювання і прогнозування з використанням ймовірнісного і лінгвістичних підходів». Розглянувши звіт за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Сарнацького Владислава Віталійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, має чітку структуру. Автор демонструє високий рівень майстерності у використанні мовленнєвого стилю та логічної організації тексту, а також вміння ефективно користуватися відомою термінологією. Представлені в роботі аспекти викликають позитивні враження та свідчать про високий науковий рівень дослідницької праці.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України (усі, на жаль, в виданні «Вчені записки Таврійського національного університету імені

В.І. Вернадського»); 2 праці проіндексовано у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових конференціях. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження по роботі:

1. Автором не порушено питання розробки паралельного алгоритму урахування контактів між агентами. І хоча обрахунок моделей може бути розпаралелений за схемою одна модель – одне ядро процесора, деякі варіанти використання можуть вимагати швидкого обчислення одного екземпляра моделі.
2. На жаль, формальна граматики заданої мови не передбачає використання відмінних від числових типів даних. Можливо, додання автором логічних або символічних типів даних збільшило б ефективність розробки моделей. Також у синтаксисі заданої мови відсутні оператори розгалуження. І хоча автором наведений приклад їх задання через математичні вирази, використання більш класичного запису, на наш погляд, є більш зручним для розробника. Крім того, у такому випадку можуть бути використані спеціалізовані оптимізації компілятора.
3. Поза увагою залишені питання числової стійкості та необхідних обчислювальних ресурсів розроблених автором моделей та методів при їхній комп'ютерній реалізації.
4. Обмеженість середовища розробки й аналізу епідеміологічних моделей вимагає від користувача використовувати сторонні засоби. Можливо, розширення наявного середовища новим функціоналом дозволило б робити більш специфічний аналіз моделей завдяки низькорівневому доступу.
5. Висновки по розділах бажано б було закінчувати фразою: *«Основні наукові результати розділу опубліковані в працях [...]»*. Посилання на власні праці автора дало б змогу легко пересвідчитися у виконанні вимоги щодо обов'язкової публікації основних результатів дисертації.
6. Наведені у додатку лістинги розроблених програмних модулів майже не супроводжуються коментарями, що утруднює їхню змістову інтерпретацію. В тексті дисертації зустрічаються друкарські помилки та стилістичні вади.

Вважаю, що наведені зауваження мають окремий характер, не знижують високий науковий рівень та практичну цінність дисертаційної роботи і суттєво не впливають на її загальну позитивну оцінку..

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Сарнацького Владислава Віталійовича на тему «Мова програмування та програмні засоби опису агентних моделей розповсюдження інфекційних захворювань» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має суттєве значення для галузі знань «Інформаційні технології». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 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 р. № 44, а Сарнацький Владислав Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент —

Завідувач кафедри інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»,

доктор технічних наук, професор

Володимир ГНАТУШЕНКО

Підпис проф. В.В. Гнатушенка підтверджую

Вчений секретар

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА