

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Федорчука Володимира Анатолійовича,
доктора технічних наук, професора,
професора кафедри комп'ютерних наук Кам'янець-Подільського
національного університету імені Івана Огієнка
на дисертаційну роботу Нікітченка Максима Ігоровича на тему:
«Методи забезпечення консистентності моделей програмних систем в
інкрементальних процесах розробки та засоби їх інтеграції з
інструментальними середовищами», що представлена на здобуття наукового
ступеня доктора філософії
за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення,
галузь знань 12 – Інформаційні технології

1. Актуальність теми дослідження

Стрімка еволюція методології розробки програмного забезпечення у бік гнучких та неперервних процесів загострила проблему підтримки актуальності проєктної документації та архітектурних моделей. У класичних підходах модель була статичним артефактом, що передував кодуванню. Сьогодні ж модель і код існують паралельно, постійно змінюючись. Це породжує фундаментальну проблему синхронізації різнорідних структур даних: вихідного коду (текстові файли), структурних моделей (ієрархічні дані) та поведінкових специфікацій (графи станів та переходів).

Дисертант вірно ідентифікує ключове технічне протиріччя: формат XMI, будучи стандартом для обміну моделями UML, є надлишковим і важким для алгоритмічної обробки в системах контролю версій, тоді як формат JSON, будучи стандартом де-факто для веб-середовища, не має достатньої семантичної виразності для опису складної поведінки. Вирішення цієї колізії шляхом створення гібридних моделей та ефективних алгоритмів їх валідації є нетривіальною науковою задачею.

Актуальність роботи Нікітченка М. І. полягає у створенні математично обґрунтованого підходу до інкрементальної валідації, що дозволяє суттєво зменшити обчислювальну складність перевірок. Це відкриває шлях до створення інструментів «активного моделювання», які здатні попереджати про архітектурні помилки в режимі реального часу, подібно до того, як сучасні інтегровані середовища розробки попереджають про синтаксичні помилки коду.

Дисертаційна робота виконувалася в Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною науково-дослідних робіт:

«Методи та програмні засоби інтерпретації моделей машинного навчання непараметричних динамічних об'єктів» (№ державної реєстрації 0122U002161). Результати дисертації в частині формалізації метамodelей сприяють вирішенню задач інтерпретації складних структур даних.

«Методи та технології моделювання і забезпечення якості складних програмних систем у динамічних середовищах» (№ державної реєстрації 0125U003655). В рамках цієї теми розроблено алгоритми забезпечення консистентності, що безпосередньо впливають на якість програмного забезпечення.

2. Аналіз змісту та форми дисертації

Дисертаційна робота Нікітченка М. І. має класичну структуру, яка відповідає вимогам до кваліфікаційних праць. Вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 232 сторінки, з яких 191 сторінка основного тексту. Список використаних джерел налічує 167 найменувань.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, об'єкт і предмет дослідження, визначено завдання, вирішення яких необхідне для досягнення поставленої мети. Наведено відомості про зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також надано інформацію про апробацію результатів дослідження та публікації.

Перший розділ присвячено систематичному аналізу сучасного стану модельно-орієнтованої інженерії. Автором детально розглянуто еволюцію мови UML та виявлено фундаментальне протиріччя між вимогами до формальної строгості моделей (що забезпечується форматом XMI) та потребою у гнучкості ітеративних процесів розробки (де домінує JSON). Проведено порівняльний аналіз існуючих CASE-засобів та форматів серіалізації, на основі якого виділено проблему «архітектурного дрейфу» та обґрунтовано необхідність створення нового методу забезпечення консистентності. Сформульовано таксономію семантичних помилок, що виникають на стику структурного та поведінкового подань.

Другий розділ містить теоретичне ядро роботи. У ньому розроблено та математично обґрунтовано формальну метамodelь, яка об'єднує структурне подання та поведінкове подання через формально визначене відношення відповідності μ . Визначено правила валідації для кожного з подань та доведено, що запропонована архітектура дозволяє уникнути надлишковості стандартного XMI, зберігаючи при цьому семантичну повноту моделі.

Третій розділ присвячено розробці алгоритмічного забезпечення. Автором запропоновано метод автоматизованого контролю консистентності, що базується на використанні інваріантів мови OCL та їх трансформації у формалізм Alloy для глибокої верифікації. Ключовим результатом розділу є сформульована та доведена теорема інкрементальної консистентності, яка обґрунтовує можливість локальної перевірки змін без повного перерахунку моделі, що критично важливо для швидкодії. Також описано метод двосторонньої синхронізації на основі графа залежностей.

Четвертий розділ описує практичну реалізацію отриманих наукових результатів. Розроблено архітектуру програмного плагіна, який інтегрується в сучасні середовища розробки та CI/CD-конвеєри через інтерфейс командного рядка. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили ефективність запропонованого підходу: зафіксовано скорочення часу перевірки консистентності у 12 разів та зменшення споживання пам'яті вдвічі порівняно з традиційними методами повної валідації.

У висновках підбито підсумки дослідження, викладено основні наукові та практичні результати, які в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу підвищення ефективності та достовірності процесу розробки складних програмних систем.

Дисертаційна робота викладена літературною українською мовою, матеріал подано логічно та послідовно. Оформлення роботи відповідає чинним вимогам ДСТУ 3008:2015. Зміст опублікованих праць повністю відображає основні положення дисертації.

3. Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Достовірність та обґрунтованість результатів дисертаційного дослідження базується на комплексному використанні методів системного аналізу та строгого математичного апарату. Автором обрано коректну методологію дослідження, що дозволило побудувати цілісну наукову концепцію, яка узгоджується з фундаментальними принципами інженерії програмного забезпечення. Наукова коректність теоретичних розробок забезпечується застосуванням теорії множин та предикатної логіки першого порядку для формалізації метамоделі та правил валідації. Визначення відношення відповідності μ між структурним та поведінковим поданнями дозволяє гарантувати семантичну тотожність різнорідних описів системи. Адекватність запропонованих моделей підтверджено шляхом порівняння теоретичних оцінок обчислювальної складності алгоритмів з реальними показниками часу виконання, отриманими в ході експериментів. Висновки та рекомендації автора пройшли широку фахову експертизу через публікації у

профільних виданнях та доповіді на міжнародних конференціях, що підтверджує їх визнання науковою спільнотою

4. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна роботи полягає у вирішенні задачі забезпечення консистентності гетерогенних моделей.

Основні положення наукової новизни можна сформулювати таким чином:

- вперше отримала формалізований опис метамодель UML, яка базується на розділенні структурного та поведінкового описів системи. Новизна полягає у введенні математично обґрунтованого відношення відповідності μ , що дає змогу трактувати різноманітні формати даних як проекції єдиної логічної сутності, забезпечуючи інваріантність моделі при трансформаціях;

- набула подальшого розвитку методологія верифікації проєктних специфікацій. Автором запропоновано комбінований метод, що інтегрує статичний аналіз на основі OCL-обмежень із динамічною перевіркою на базі SAT-вирішувачів. Це дозволило вперше реалізувати механізм глибокої семантичної валідації, здатний виявляти логічні суперечності, які не фіксуються стандартними синтаксичними аналізаторами;

- суттєвим теоретичним внеском є доведення теореми інкрементальної консистентності. Автором математично обґрунтовано достатність локальних перевірок підмножини елементів моделі для гарантування її глобальної коректності. Цей результат розширює теоретичні межі застосування формальних методів у високонавантажених системах реального часу;

- удосконалено методи синхронізації різноманітних артефактів розробки за рахунок застосування графо-аналітичного підходу. Запропонована модель графа залежностей із типізованими зв'язками дозволяє автоматизувати процес поширення змін між кодом та моделлю, мінімізуючи участь людини у вирішенні рутинних колізій.

5. Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у доведенні теоретичних здобутків автора до рівня готових інженерних рішень, придатних для впровадження у промислові процеси розробки програмного забезпечення.

Створено комплексне інструментальне забезпечення для підтримки консистентності моделей. Розроблений програмний модуль інтегрується в екосистему сучасних IDE та серверів неперервної інтеграції, що дозволяє

автоматизувати рутинні операції з перевірки якості архітектури, вивільняючи час кваліфікованих фахівців для вирішення творчих завдань.

Експериментально доведено, що запропоновані алгоритми інкрементальної валідації забезпечують зниження обчислювального навантаження. Зменшення часу обробки запитів на порядок (у ~ 12 разів) та дворазова економія оперативної пам'яті є показниками, що уможливають використання UML-моделювання у великомасштабних проєктах, де раніше це вважалося нераціональним через технічні обмеження.

Підвищено рівень гарантій надійності програмного забезпечення. Завдяки впровадженню дворівневої верифікації (OCL + Alloy), розроблений інструментарій демонструє високу селективність ($F1\text{-міра} > 98\%$), що дозволяє мінімізувати кількість хибно-позитивних спрацьовувань та гарантувати виявлення критичних помилок проєктування на ранніх стадіях.

Запропоновано методичні рекомендації щодо організації процесів сумісної розробки, що базуються на принципах упередження конфліктів змін.

Результати впроваджено в компаніях ТОВ «Дискрет» та ТОВ «Курс», а також у навчальний процес Одеської політехніки, про що свідчать відповідні акти.

6. Публікації та академічна доброчесність

Основні результати опубліковано у 12 наукових працях (6 статей у фахових виданнях категорії «Б», 6 тез конференцій). Публікації повною мірою відображають зміст дисертації. Таким чином, вимоги «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Кабінетом Міністрів України № 167 від 06.03.2019 р. зі змінами, згідно постанови Кабінетом Міністрів України № 979 від 21.10.2020 р. та № 609 від 09.06.2021 р. до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів дослідження у фахових рецензованих виданнях, що передбачають попередню експертизу матеріалів і перевірку на відсутність некоректних запозичень, є елементом підтвердження дотримання принципів академічної доброчесності.

Загалом аналіз змісту дисертаційної роботи, її наукових положень, висновків і поданих матеріалів не виявив фактів порушення академічної доброчесності. Ознак плагіату, фабрикації чи фальсифікації результатів, а також інших форм недоброчесної наукової практики не встановлено.

7. Зауваження та дискусійні положення

Позитивно оцінюючи роботу, вважаю за необхідне висловити такі зауваження:

1. У вступі та першому розділі декларується відповідність запропонованого підходу парадигмі «Shift-left testing» в контексті архітектури. Проте у роботі доцільно було б конкретизувати, чим саме відрізняється застосування цієї парадигми до моделей від її класичного застосування до програмного коду, та які специфічні метрики якості архітектури при цьому відстежуються.

2. У розділі 2 при описі структури JSON-документа наведено фрагменти коду (лістинги). У деяких випадках обсяг лістингів є досить значним, що дещо ускладнює сприйняття тексту. Доцільно було б винести повні приклади файлів у додатки, залишивши в основному тексті лише ключові фрагменти.

3. У четвертому розділі наведено графіки залежності часу валідації від розміру моделі. Було б корисно додати до опису експериментів інформацію про те, скільки разів повторювався кожен тест (кількість прогонів) для отримання усереднених значень, щоб підтвердити статистичну достовірність результатів.

4. Описуючи програмну реалізацію (плагін), автор зосереджується на внутрішній архітектурі. Хотілося б побачити більше прикладів або скріншотів інтерфейсу користувача, щоб зрозуміти, як саме розробник бачить повідомлення про помилки та взаємодіє з системою в процесі роботи.

5. У третьому розділі на рисунках, що ілюструють алгоритми трансформації, використано досить дрібний шрифт у блоках схем. Це створює певні незручності при читанні, особливо у друкованому варіанті дисертації.

6. У списку використаних джерел зустрічаються посилання на стандарти та інтернет-ресурси, для яких не вказано дату останнього звернення або актуальності, а в тексті роботи трапляються поодинокі друкарські помилки.

8. Загальний висновок

Дисертаційна робота Нікітченка Максима Ігоровича на тему «Методи забезпечення консистентності моделей програмних систем в інкрементальних процесах розробки та засоби їх інтеграції з інструментальними середовищами» є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну науково-прикладну задачу забезпечення консистентності моделей програмних систем. Автор продемонстрував високий рівень теоретичної підготовки та здатність доводити наукові ідеї до практичного втілення.

За обсягом проведених досліджень, науковою новизною теоретичних положень, достовірністю отриманих результатів та їх практичною цінністю робота відповідає вимогам, що висуваються до дисертацій доктора філософії. Автор показав здатність застосовувати глибокі теоретичні знання для розв'язання складних інженерних задач, а результати його роботи роблять вагомий внесок у розвиток модельно-орієнтованих технологій.

Дисертація відповідає вимогам «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 (зі змінами), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри комп'ютерних наук
Кам'янець-Подільського
національного університету
імені Івана Огієнка

Володимир ФЕДОРЧУК