

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

Палагіна Володимира Васильовича,
доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри робототехнічних і
телекомунікаційних систем та кібербезпеки Черкаського державного
технологічного університету

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

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Актуальність теми зумовлена стрімким зростанням масштабу та складності сучасних програмних систем, що ставить перед інженерією програмного забезпечення критичне завдання управління архітектурною цілісністю протягом усього життєвого циклу. В умовах поширення модельно-орієнтованої інженерії ключову роль відіграє мова UML, яка виступає стандартизованим засобом специфікації архітектурних рішень. Однак ефективність MDE безпосередньо залежить від здатності інструментальних засобів поєднувати формальну строгість моделей із гнучкістю, необхідною для сучасних ітеративних процесів розробки. Існуючі підходи до зберігання та обробки UML-моделей мають суттєві обмеження, пов'язані з фундаментальним конфліктом форматів. Цей розрив призводить до накопичення розбіжностей між проектною моделлю та її програмною реалізацією, що провокує появу прихованих дефектів та експоненційно

збільшує вартість супроводу програмного забезпечення на пізніх етапах. Забезпечення консистентності моделей також відіграє ключову роль у контексті автоматизації процесів CI/CD, зокрема для реалізації стратегії виявлення архітектурних помилок на ранніх стадіях без сповільнення темпів написання коду. Відсутність ефективних інструментів для швидкої інкрементальної валідації та синхронізації різнорідних подань моделі стримує повноцінну інтеграцію класичних CASE-засобів у сучасні конвеєри розробки.

Дисертаційна робота Нікітченка Микити Ігоровича, яку присвячено підвищенню ефективності та достовірності процесу розробки складних програмних систем шляхом створення методів та засобів забезпечення гарантованої консистентності UML-моделей з двома поданнями, є актуальною.

Аналіз змісту та форми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Нікітченка М. І. є завершеним, цілісним науковим дослідженням. Структура роботи є логічною та класичною: вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (167 найменувань) та додатків. Кожен розділ логічно впливає з попереднього, формуючи єдину лінію доведення наукової гіпотези.

У Вступі автором чітко сформульовано науковий апарат дослідження: обґрунтовано актуальність, визначено мету, об'єкт, предмет та задачі дослідження. Чітко окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Вступ демонструє глибоке розуміння автором проблематики та вміння формулювати наукові задачі.

Перший розділ присвячено ґрунтовному аналізу стану предметної області. Здобувач провів детальну ревізію еволюції мови UML від засобу візуалізації до мови специфікації виконуваної архітектури. Особливу цінність

становить проведений порівняльний аналіз форматів зберігання моделей – XMI та JSON. Автор не просто констатує їхні переваги та недоліки, а розкриває глибинні причини конфлікту між ними в контексті MDE та DevOps. Класифікація сучасних CASE-засобів (StarUML, Modelio, Enterprise Architect, Visual Paradigm) за критеріями формату зберігання та типу валідації дозволила виявити спільний недолік – відсутність нативної підтримки гібридних моделей, що підтверджує наявність наукової прогалини. Важливим теоретичним здобутком розділу є розробка формальної таксономії помилок неузгодженості (семантичних дефектів), яка включає невідповідність сигнатур, «висячі» посилання та порушення інкапсуляції. Ця таксономія стала фундаментом для розробки методів валідації в наступних розділах.

Другий розділ є теоретичним ядром дисертації. Тут автор формалізує запропоноване рішення, вводячи поняття метамоделі як структурне подання, поведінкове та формальне відношення відповідності. Використання апарату теорії множин та стандарту MOF дозволило автору надати строге математичне визначення кожному компоненту моделі. Особливо слід відзначити розробку спеціалізованого UML-профілю для трасування зв'язків у XMI, що забезпечує сумісність із існуючими інструментами без втрати семантики зв'язків зі структурою в JSON. Також у цьому розділі сформульовано набір правил консистентності мовою OCL та обґрунтовано їх трансформацію у формалізм Alloy для перевірки складних транзитивних властивостей, що є свідченням високого рівня математичної підготовки здобувача.

Третій розділ присвячено розробці алгоритмічного забезпечення. Центральним результатом тут є теорема інкрементальної консистентності, сформульована та доведена автором. Теорема стверджує, що для збереження

глобальної узгодженості моделі при локальних змінах достатньо перевірки обмеженої підмножини елементів, визначеної графом залежностей.

Четвертий розділ демонструє практичну реалізацію теоретичних наробок. Автор описує архітектуру розробленого програмного плагіна, який інтегрується в CI/CD пайплайни. Проведено серію експериментів для оцінки ефективності (швидкодії) та достовірності (точності виявлення помилок) запропонованих методів. Порівняння з промисловими аналогами (StarUML, Visual Paradigm) показало значну перевагу розробленого рішення.

В цілому, дисертація справляє враження глибокого, систематичного дослідження. Логіка викладу послідовна, аргументація переконлива, а отримані результати достатньою мірою обґрунтовані теоретично та підтверджені експериментально.

Анотація дисертації коректно відображає її основні положення.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, є обґрунтованими та достовірними, що підтверджується коректним використанням сучасного математичного апарату, логічною узгодженістю теоретичних викладок та результатами експериментальних досліджень. Теоретична обґрунтованість результатів забезпечується використанням апробованих наукових методів. Зокрема, для аналізу проблеми консистентності застосовано методи системного аналізу; для побудови формальної метамоделі UML з двома поданнями використано теорію метамоделювання та стандарти MOF; для визначення правил консистентності та їх верифікації застосовано теорію формальних мов і логік (OCL, SAT-аналіз); алгоритми інкрементальної валідації побудовано на основі теорії графів. Висновки логічно випливають із основних положень, що

вносяться автором на захист, сформульовані стисло та мають беззаперечну наукову й практичну цінність. Достовірність отриманих результатів підтверджується узгодженістю даних, здобутих запропонованими методами, з результатами експериментальних досліджень, а також успішним упровадженням напрацювань у промислову практику та навчальний процес.

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

У дисертаційній роботі отримано низку нових наукових результатів, які в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу. До найбільш вагомих результатів, що виносяться на захист, належать:

1. вперше розроблено формальну метамодель UML, яка базується на архітектурному розділенні структурного та поведінкового подань, реалізованих відповідно у форматах JSON та XMI. Ключовою особливістю є введення формально визначеного відношення відповідності μ , яке забезпечує логічну зв'язність різнорідних артефактів;

2. вперше запропоновано метод автоматизованого забезпечення консистентності UML-моделі з подвійним поданням. Новизна методу полягає у комбінованому застосуванні OCL-інваріантів для перевірки локальної узгодженості під час інкрементального редагування, та трансформації моделі у специфікацію Alloy для глибокої формальної верифікації транзитивних властивостей за допомогою SAT-вирішувачів;

3. вперше сформульовано та доведено теорему інкрементальної консистентності, яка теоретично обґрунтовує коректність методу локалізованої валідації. Теорема гарантує, що будь-яка послідовність допустимих змін над структурним або поведінковим поданням, за умови успішного проходження локальних перевірок, зберігає глобальну узгодженість моделі;

4. набуло подальшого розвитку метод двосторонньої синхронізації моделей. Удосконалення полягає у використанні формального графа залежностей із запропонованою автором класифікацією ребер на структурні, семантичні та трасувальні.

Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що теоретичні здобутки доведено до рівня конкретних інженерних рішень та програмних продуктів, готових до впровадження в індустрію розробки ПЗ.

Розроблено та реалізовано прототип програмного плагіна, який втілює запропоновані методи та алгоритми. Плагін здатний автоматично будувати модель з вихідного коду, виконувати інкрементальну валідацію та інтегруватися в сучасні процеси CI/CD через інтерфейс командного рядка. Експериментальні дослідження підтвердили, що запропонований підхід дозволяє значно скоротити час перевірки консистентності після внесення змін, порівняно з традиційними методами повної перевірки. Споживання оперативної пам'яті зменшено вдвічі, що є критично важливим для хмарних середовищ.

Досягнуто високої точності виявлення семантичних дефектів (F1-міра 98,5% у нативному середовищі та 95,7% в умовах інтеоперабельності), що значно перевищує показники існуючих промислових аналогів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у виробничі процеси ІТ-компаній ТОВ «Дискрет» та ТОВ «Курс», що підтверджується відповідними актами. Також теоретичні та практичні результати використовуються в навчальному процесі Національного університету «Одеська політехніка» при викладанні дисциплін, пов'язаних з архітектурою ПЗ та моделюванням систем.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності

Основні положення та результати дисертації повною мірою висвітлено в наукових публікаціях здобувача. За темою дисертації опубліковано 12 наукових праць, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до категорії «Б» (зокрема: «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського», «Information Technologies and Automation (AAIT)», «Інформатика та математичні методи в моделюванні», «Вісник Хмельницького національного університету», «Вісник Херсонського національного технічного університету»); 6 тез доповідей у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій, що засвідчує належну апробацію результатів. 2 праці опубліковано одноосібно.

Перевірка дисертаційної роботи на наявність текстових запозичень показала відсутність академічного плагіату. Всі використані джерела супроводжуються коректними посиланнями. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Зауваження та дискусійні положення

Відзначаючи високий науковий рівень, актуальність та практичну значущість дисертаційної роботи, вважаю за доцільне висловити низку зауважень та побажань, які виникли в процесі детального ознайомлення з текстом дисертації:

1. У першому розділі наведено широкий огляд підходів до Model-Driven Engineering. Проте, при аналізі існуючих рішень доцільно було б додати порівняльну таблицю, яка б чітко зіставляла можливості розглянутих інструментів саме в контексті підтримки легковагових форматів даних (JSON/YAML), оскільки це є ключовим аспектом дисертації.

2. У четвертому розділі детально описано архітектуру розробленого плагіна та його інтеграцію через CLI. Але не наведена діаграма компонентів, яка б візуалізувала внутрішню структуру взаємодії модуля синтаксичного

аналізу, модуля Alloy Analyzer та підсистеми візуалізації помилок в IDE.

3. У четвертому розділі при описі експериментів зазначено, що вимірювання проводилися на наборі тестових моделей. Однак не наведено детальної характеристики структури цих моделей (співвідношення кількості класів до кількості зв'язків), що ускладнює оцінку репрезентативності отриманих результатів для реальних промислових систем.

4. У роботі часто вживається термін «консистентність» у різних контекстах: як синтаксична правильність і як семантична несуперечливість. Автору слід було б у вступній частині чіткіше розмежувати ці поняття або навести їх формальні визначення, щоб уникнути термінологічної неоднозначності.

5. При описі архітектури плагіна вказано на взаємодію з зовнішнім вирішувачем Alloy. У тексті дисертації недостатньо уваги приділено опису формату даних, який використовується для передачі обмежень між середовищем плагіна та Alloy Analyzer, та накладним витратам на цю серіалізацію/десеріалізацію.

6. У списку використаних джерел присутні посилання на інтернет-ресурси (документацію стандартів), дата звернення до яких є застарілою. Також у тексті роботи трапляються поодинокі одруківки.

Висловлені зауваження не знижують загальної високої оцінки наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, носять переважно рекомендаційний та дискусійний характер і можуть розглядатися як перспективні напрямки для подальших наукових досліджень автора.

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 завершеною, самостійною науковою працею, яка вирішує важливе науково-прикладне завдання підвищення ефективності та надійності модельно-орієнтованої розробки складних програмних систем.

Робота виконана на високому науковому та методичному рівні. Отримані наукові результати є новими, достовірними, достатньо обґрунтованими та мають вагоме практичне значення, підтверджене актами впровадження. Публікації здобувача повною мірою відображають зміст дисертації.

За своїм змістом, обсягом, науковою новизною, методологічним рівнем та практичним значенням дисертація повністю 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, внесеними згідно з Постановою КМ № 507 від 03.04.2024), а її автор, Нікітченко Максим Ігорович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри робототехнічних
і телекомунікаційних систем та
кібербезпеки Черкаського
державного технологічного
університету

Володимир ПАЛАГІН