

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Форкерта Павла Павловича на тему
«Дослідження використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування», представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації. Дисертаційна робота Форкерта П.П. присвячена актуальній та перспективній проблемі дослідження можливостей використання рантайму мови Go як платформи для побудови нових мов програмування. У сучасних умовах розробки програмного забезпечення створення нових мов програмування стає дедалі більш поширеним явищем, особливо в контексті спеціалізованих галузей, де існуючі мови не задовольняють специфічні вимоги до виразності, безпеки або продуктивності.

Актуальність дослідження обумовлена тим, що більшість сучасних мов програмування розробляються не «з нуля», а на базі існуючих платформ, таких як JVM, LLVM або GraalVM. Проте потенціал мови Go як платформи для побудови нових мов залишається недостатньо дослідженим, незважаючи на її переваги: швидкий компілятор, зрілий рантайм, сучасний збирач сміття, підтримку кроскомпіляції, велику стандартну бібліотеку та розвинені засоби аналізу й генерації коду. Дисертація Форкерта П.П. заповнює цю прогалину, пропонуючи системний аналіз можливостей використання Go як хост-платформи для транспіляції нових мов.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з індивідуальним планом підготовки здобувача ступеня доктора філософії кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Дослідження здійснювалося в рамках науково-дослідної роботи № ФПМ-2-22 «Розроблення програмного забезпечення аналізу та кластеризації часових рядів» (2022–2024 рр., номер держреєстрації 0122U001465) та № 58 – ФПМ-2-25 «Розроблення

інформаційної технології обробки статистичних даних» (2025–2027 рр., номер держреєстрації 0125U002280).

Формулювання наукової задачі, нове вирішення якої одержане в дисертації. Наукова задача дисертаційної роботи полягає у дослідженні зручності та доцільності використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування через транспіляцію у звичайний Go-код. Об'єктом дослідження є процеси проектування та реалізації нових мов програмування на базі наявних програмних платформ. Предметом дослідження є методи, моделі та програмні засоби використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування або діалектів існуючих.

Основні завдання дослідження:

- аналіз сучасних підходів до реалізації мов програмування на базі наявних платформ;
- дослідження інженерних властивостей Go як потенційної хост-платформи;
- формулювання критеріїв оцінювання придатності Go для транспіляції;
- розробка архітектури транспілятора до Go;
- експериментальна реалізація діалекту GoNext для перевірки запропонованих підходів;
- оцінювання доцільності підходу та узагальнення результатів на ширший клас задач.

Наукова новизна отриманих автором результатів. У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову задачу, що полягає у системному обґрунтуванні доцільності використання рантайму Go як хост-платформи для побудови нових мов програмування. Основні наукові результати полягають у наступному:

1. Вперше системно обґрунтовано, що рантайм Go може слугувати спеціалізованою платформою для створення нових мов програмування, де Go виступає не як багатомовна віртуальна машина чи низькорівневий

компіляторний фреймворк, а як цільова платформа для транспіляції мов з високою сумісністю з його екосистемою.

2. Вдосконалено підхід до оцінки придатності Go як цілі для транспіляції, враховуючи виконувальні характеристики, виразні можливості хост-мови, інтероперабельність, доступність інструментів для транспіляції та витрати на реалізацію мовних конструкцій.

3. Запропоновано покращений архітектурний підхід до розробки мовних розширень як надмножини Go, який передбачає поетапну трансформацію коду в звичайний Go за допомогою нормалізації синтаксичних конструкцій, часткового семантичного аналізу та перетворення в структури `go/ast`. Це дозволяє коректно реалізовувати складні мовні конструкції, які залежать від сигнатур функцій, областей видимості, контекстного виведення типів та правил уніфікації типів Go, зберігаючи двосторонню сумісність з екосистемою Go.

4. У межах єдиного транспіляційного підходу вперше показано можливість реалізації низки мовних розширень на базі рантайму Go без змін офіційного компілятора, зокрема повнофункціональних `enum`-типів, зіставлення із взірцем, іменованих аргументів, значень параметрів за замовчуванням, методів розширення, узагальнених методів, коротких анонімних функцій, універсального синтаксису виклику функцій.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в тому, що запропонований підхід дає змогу суттєво зменшити витрати на створення нових мов програмування, діалектів і предметно-орієнтованих мов завдяки повторному використанню компілятора, рантайму, системи збірки та бібліотек Go. Результати роботи можуть бути використані для:

- проектування нових серверних, інтеграційних, інфраструктурних і конфігураційних мов;
- створення навчальних і дослідницьких транспіляторів;

- еволюційного розширення мови Go без втрати сумісності з уже наявним кодом і бібліотеками Go.

Експериментальна реалізація діалекту GoNext підтверджує практичну здійсненність запропонованих рішень і може слугувати основою для подальших досліджень та прикладних розробок.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні та відповідає вимогам досліджень третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти. Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- використанням сучасних методів теорії мов програмування, компіляторобудування та інженерії програмного забезпечення;
- коректністю постановки науково-технічної задачі;
- застосуванням теоретично обґрунтованих методів та алгоритмів;
- узгодженістю між собою теоретичних і експериментальних результатів;
- відповідністю отриманих результатів опублікованим результатам інших авторів.

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано у 11 наукових працях, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б, 8 тез доповідей у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею, у якій висвітлені власні ідеї та розробки автора. Основні наукові результати, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. У працях, опублікованих у співавторстві, Форкерту П.П. належать:

- аналіз підходів до реалізації мов програмування та можливостей використання транспіляції в Go;
- розробка архітектури транспілятора та реалізація діалекту GoNext;
- дослідження та порівняння різних варіантів представлення мовних конструкцій у Go-кодi;

– аналіз сумісності запропонованих рішень з екосистемою Go.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, таких як «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС)» (м. Дніпро, 2023, 2025), «Сучасні науково-технічні дослідження у контексті мовного простору» (м. Дніпро, 2023), «Сучасні інформаційні системи та технології» (м. Хмельницький, 2023), «Інженерія програмного забезпечення і передові інформаційні технології (SOFT TECH-2024)» (м. Київ, 2024), «Інформаційні технології в освіті та науці» (м. Запоріжжя, 2025), «Інформаційні технології: моделі, алгоритми, системи (ITMAS-2025)» (м. Миколаїв, 2025), «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (м. Одеса, 2026), наукових конференціях за підсумками науково-дослідної роботи Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (м. Дніпро, 2023, 2024, 2025).

Мова і стиль роботи. Матеріали роботи викладено логічно, доступною мовою та гарною українською з використанням сучасних наукових термінів. Зміст дисертації відповідає вимогам, що висуваються до наукових праць такого рівня, а також вирізняється послідовністю, системністю та обґрунтованістю та висвітлює основні результати наукових досліджень.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 204 сторінках, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту становить 116 сторінок. Список використаних джерел охоплює 92 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення роботи, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації. В основу дисертаційної роботи покладені результати, отримані автором під час виконання наукових досліджень, проведених на кафедрі інженерії програмного забезпечення та

інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

У першому розділі автором розглянуто сучасний стан досліджень у галузі реалізації мов програмування на базі наявних платформ. Проаналізовано підходи до побудови мов програмування, досліджено рантайм Go та його інженерні властивості як потенційну хост-платформу. Окремо розглянуто транспіляцію як механізм побудови мов поверх існуючих екосистем. Наведено огляд наукових і практичних робіт, дотичних до використання Go як платформи для інших мов. Висвітлено інструментальну екосистему Go для побудови транспіляторів і мовних процесорів.

У другому розділі автором сформульовано теоретичні засади використання Go як платформи для побудови нових мов програмування. Запропоновано систему критеріїв оцінювання придатності Go як цілі транспіляції. Визначено класи мов, для яких Go є доцільною ціллю транспіляції. Розроблено узагальнену архітектуру транспілятора до Go. Описано підходи до парсингу, побудови внутрішнього представлення, семантичного аналізу та трансформації мовних розширень. Обґрунтовано центральну роль інтероперабельності як архітектурного принципу та сформульовано набір практичних принципів проєктування нових мов на базі Go.

У третьому розділі представлено експериментальну реалізацію підходу у вигляді діалекту GoNext. Описано загальну архітектуру GoNext-транспілятора, принципи відбору мовних розширень та їх реалізацію. Продемонстровано практичну можливість реалізації повнофункціональних enum-типів, зіставляння із взірцем, іменованих аргументів, значень параметрів за замовчуванням, методів розширення, узагальнених методів, коротких анонімних функцій та універсального синтаксису виклику функцій.

У четвертому розділі дисертації Форкерта П. П. проведено комплексне оцінювання запропонованого підходу до використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування. Автор аналізує

доцільність підходу за критеріями виконувальних властивостей, виразності, інтероперабельності, інструментальної підтримки та вартості реалізації, порівнює Go з альтернативними платформами, формулює практичні рекомендації щодо проєктування мов і транспіляторів, а також узагальнює результати на ширший клас задач, включаючи транспіляцію інших мов у Go. Розділ містить аналіз обмежень, ризиків та перспектив подальших досліджень.

Висновки по роботі чіткі, логічні і випливають із теоретичних та експериментальних даних, отриманих автором.

Дискусійні питання і зауваження

1. Автор детально аналізує обмеження класичного компактного представлення варіантів із тегом через потенційні конфлікти зі збирачем сміття та специфіку роботи з узагальненнями в Go. Водночас залишається теоретично й практично дискусійним питання: яка саме з двох інших запропонованих схем (структурна чи через `interface{}`) була врешті обрана за основу в остаточній реалізації експериментального діалекту GoNext? Які її реальні накладні витрати за пам'яттю та швидкодією у порівнянні з традиційними для Go константами (`iota`) при інтенсивних обчислювальних навантаженнях? Було б доцільно навести якісь конкретні дані порівняльного аналізу підходів.

2. У підрозділі 3.10 зазначено, що через неможливість контекстного виведення типу результату для узагальнених функцій вищого порядку короткий синтаксис анонімних функцій було обмежено лише непараметризованими контекстами. Чи розглядалися автором гнучкіші проміжні варіанти вирішення цієї проблеми (наприклад, через часткове явне вказування типів чи введення додаткових синтаксичних маркерів для складних випадків), чи повна заборона в параметризованих контекстах є єдиним прагматичним інженерним компромісом для збереження простоти транспілятора?

3. Універсальний синтаксис виклику функцій (UFCS) суттєво підвищує ергономіку коду, але створює серйозні ризики виникнення неоднозначностей. Було б доцільно показати, які конкретно детерміновані правила пріоритетності

та розв'язання конфліктів імен було закладено в архітектуру транспілятора GoNext, якщо для одного й того самого типу приймача підходять декілька різних функцій розширення, які одночасно імпортовані користувачем із різних зовнішніх пакетів.

4. Для коректної обробки іменованих аргументів та параметрів за замовчуванням транспілятор вимушений виконувати частковий семантичний аналіз та завантажувати сигнатури функцій із зовнішніх імпортованих Go-пакетів. Чи не призводить цей додатковий етап аналізу зв'язків до суттєвого сповільнення загального часу трансляції, і чи не нівелює це одну з найголовніших інженерних переваг платформи Go – традиційно високу швидкість компіляції та швидкий зворотний зв'язок?

5. У дисертації обґрунтовано, що запропонований підхід дозволяє виконувати еволюційне розширення мови Go без втрати сумісності з наявним кодом. Які саме з реалізованих у GoNext розширень (наприклад, повнофункціональні enum-типи чи іменовані аргументи) мають, на думку здобувача, найбільший потенціал і технічну готовність для включення в майбутні офіційні версії мови Go?

Зазначені зауваження не знижують загальний рівень поданої дисертаційної роботи, не ставлять під сумнів наукову новизну та практичну цінність результатів дослідження.

Загальні висновки

Дисертаційна робота Форкерта Павла Павловича на тему «Дослідження використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування» є актуальною за змістом, завершеною науковою працею, містить наукову новизну та практичну цінність. Основні результати та висновки роботи обґрунтовані і достовірні.

Оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 року. Методичний рівень, наукова новизна і практичне значення, рівень оприлюднення результатів рецензованої роботи відповідає вимогам до дисертацій ступеня

доктора філософії згідно з вимогами Постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами) «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Враховуючи вищезазначене, здобувач Форкерт Павло Павлович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент

доцент кафедри інженерії
програмного забезпечення та
інформаційних технологій
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат технічних наук, доцент



Світлана АНТОНЕНКО

Підпис канд. техн. наук, доцента Антоненко С.В. засвідчую

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат біологічних наук, професор



Олег МАРЕНКОВ