

ВІДГУК

на дисертаційну роботу Форкerta 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 дослідження

Дисертаційна робота Форкerta Павла Павловича присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі у сфері інженерії програмного забезпечення, пов'язаної з обґрунтуванням зручності та доцільності використання рантайму мови програмування Go як платформи для побудови нових мов програмування, діалектів і предметно-орієнтованих мовних надбудов шляхом транспіляції у звичайний Go-код.

Потреба у створенні нових мов програмування та мовних розширень є постійною характеристикою розвитку інженерії програмного забезпечення: кожна значуща предметна область формує власні вимоги до виразності, безпечності та зручності супроводу коду. Водночас класичний підхід до створення мови «з нуля», що передбачає повний цикл робіт від формалізації граматики до реалізації власного рантайму та збирача сміття, залишається надзвичайно витратним. У зв'язку з цим у сучасній індустрії та науці домінує повторне використання наявних платформ, серед яких добре дослідженими є JVM, LLVM та GraalVM/Truffle.

Незважаючи на значну поширеність використання мови Go у серверній, хмарній та інфраструктурній розробках, її потенціал як хост-платформи для гостей мов системно майже не розглядався. Це зумовлює необхідність визначення критеріїв придатності Go як цілі транспіляції, розроблення архітектури транспілятора та експериментальної перевірки можливості реалізації нових мовних конструкцій поверх Go-рантайму без модифікації офіційного компілятора Go.

У дисертаційній роботі запропоновано систему критеріїв оцінювання хост-платформи, узагальнену архітектуру транспілятора та експериментальний діалект GoNext, що підтверджує практичну реалізованість підходу. Отримані результати мають наукову новизну, практичну цінність та спрямовані на істотне зниження вартості створення нових мов програмування, що свідчить про актуальність обраної теми дослідження та її відповідність сучасним напрямкам розвитку інженерії програмного забезпечення.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертаційна робота має обсяг 204 сторінки, з яких 116 сторінок становить основний текст. Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел із 92 найменувань та 3 додатки. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому обґрунтовано доцільність використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування та розроблено й експериментально перевірено архітектурні,

алгоритмічні і програмні засоби, що забезпечують реалізацію таких мов через транспіляцію у Go.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, відображено особистий внесок здобувача, а також наведено відомості щодо апробації результатів дослідження та їх публікації.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану реалізації мов програмування на базі наявних платформ. Розглянуто підходи на основі JVM, LLVM і Truffle/GraalVM, транспіляцію як самостійний метод мовної інженерії, інженерні властивості Go як потенційної хост-платформи, дотичні практичні проекти (Grumpy, Oden, Borgo, Tengo), а також інструментальну екосистему Go для побудови транспіляторів і мовних процесорів, що дозволило авторові чітко окреслити дослідницьку нішу роботи.

Другий розділ присвячено теоретичним засадам запропонованого підходу. Сформульовано п'ятикомпонентну систему критеріїв оцінювання хост-платформи (виконувальні властивості, виразні можливості хост-мови, інтероперабельність, інструментальна підтримка транспіляції, економіка реалізації), визначено класи мов, для яких Go є доцільною ціллю транспіляції, розроблено узагальнену архітектуру транспілятора та класифікацію трансформацій мовних розширень на синтаксичні, структурні та репрезентаційні, а також сформульовано принципи проектування нових мов на базі Go.

У третьому розділі представлено експериментальну перевірку запропонованих рішень на прикладі діалекту GoNext. Детально описано реалізацію повнофункціональних enum-типів, конструкції match, значень параметрів за замовчуванням, іменованих аргументів, методів розширення, узагальнених методів, короткого синтаксису анонімних функцій та універсального синтаксису виклику функцій, проаналізовано взаємодію розширень між собою та двосторонню інтероперабельність GoNext зі звичайним Go-кодом.

Четвертий розділ присвячено комплексному оцінюванню доцільності підходу за сформульованими критеріями, порівнянню Go з альтернативними платформами (JVM, LLVM, JavaScript-екосистемою транспіляції), аналізу обмежень і ризиків, формулюванню практичних рекомендацій та покрокової методики прийняття рішення про вибір Go як цільової платформи, а також визначенню перспективних напрямів подальших досліджень.

У висновках узагальнено основні результати виконаного дослідження; десять сформульованих пунктів повністю відповідають поставленим завданням та підтверджують досягнення мети роботи.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, код транспілятора GoNext, а також акт впровадження результатів роботи.

Загалом дисертаційна робота має логічну, послідовну та завершену структуру. Її зміст повністю відповідає поставленій меті та завданням

дослідження, а отримані результати свідчать про завершеність виконаної наукової роботи.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими та достовірними. Їхня обґрунтованість забезпечується коректною постановкою задач дослідження, використанням методів теорії мов програмування, компіляторобудування та інженерії програмного забезпечення, а також ретельним аналізом літератури за темою дослідження.

Достовірність отриманих результатів підтверджується експериментальною перевіркою ключових теоретичних положень на працездатній реалізації діалекту GoNext, узгодженістю теоретичної моделі оцінювання, сформульованої у другому розділі, з експериментальними результатами третього розділу, а також порівняльним аналізом Go з альтернативними платформами. Запропоновані система критеріїв та класифікація трансформацій не залишаються деклараціями: кожен клас перетворень підтверджено конкретними мовними розширеннями GoNext, а межі застосовності підходу (вплив збирача сміття на представлення enum-типів, обмеження контекстного виведення типів для коротких анонімних функцій) виявлено та зафіксовано.

Таким чином, наведені в дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації є належним чином обґрунтованими, а результати дослідження можна вважати достовірними й такими, що мають наукову та практичну цінність.

Основні наукові результати та їх наукова новизна

Серед результатів, отриманих у процесі виконання дисертаційного дослідження, доцільно відзначити такі, що мають наукову новизну:

1. Вперше системно обґрунтовано доцільність розгляду рантайму Go як хост-платформи особливого типу для побудови нових мов програмування — не як багатомовної віртуальної машини і не як низькорівневого компіляторного фреймворку, а як цілі транспіляції для мов із високою інтероперабельністю з екосистемою Go.

2. Удосконалено підхід до оцінювання придатності Go як цілі транспіляції за рахунок комплексного врахування виконувальних властивостей, виразних можливостей хост-мови, інтероперабельності, інструментальної підтримки транспіляції та вартості реалізації мовних конструкцій.

3. Удосконалено архітектурний підхід до побудови мовних розширень у формі надмножини Go з поетапною трансформацією у звичайний Go-код, який поєднує нормалізацію конструкцій, частковий семантичний аналіз і перетворення у вузли go/ast, що дає змогу коректно реалізовувати конструкції, залежні від сигнатур функцій, областей видимості, контекстного відновлення типів і правил уніфікації типів Go, із збереженням двосторонньої інтероперабельності з екосистемою Go.

4. Вперше в межах єдиного транспіляційного підходу показано можливість реалізації комплексу мовних розширень поверх Go-рантайму без модифікації офіційного компілятора Go, зокрема повнофункціональних enum-типів, зіставлення із взірцем, іменованих аргументів, параметрів за замовчуванням, методів розширення, узагальнених методів, коротких анонімних функцій та універсального синтаксису виклику функцій.

Практичне значення одержаних результатів

1. Практичне значення дисертаційної роботи полягає в істотному зниженні вартості створення нових мов програмування, діалектів і предметно-орієнтованих мов завдяки повторному використанню компілятора, рантайму, системи збірки та бібліотек Go: кожна програма після транспіляції набуває властивостей звичайного Go-застосунку — статичної збірки, кроскомпіляції, доступу до стандартної бібліотеки та звичних механізмів розгортання.

2. Створені транспілятор і діалект GoNext демонструють практичну реалізованість підходу, а двостороння інтероперабельність зі звичайним Go-кодом дозволяє впроваджувати нову мову в наявні проєкти поступово, без «великого переписування». Запропоновані класифікація трансформацій мовних розширень і покрокова методика прийняття рішення перетворюють загальну тезу про придатність Go на конкретну схему інженерного прийняття рішень.

3. Практична цінність роботи підтверджується можливістю безпосереднього використання одержаних результатів під час створення DSL для конфігурації та оркестрації інформаційних систем, серверних мов, експериментальних надмножин Go та навчальних компіляторів. Результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Зауваження до викладеного у дисертації

1. У підрозділі 2.2 виокремлено класи мов, для яких Go є доцільною ціллю транспіляції, та зазначено, що мови з радикально динамічною семантикою є менш придатними. Разом із тим цю межу окреслено стисло; доцільно було б докладніше обґрунтувати, які саме властивості Go її зумовлюють.

2. У третьому розділі описано реалізацію мовних розширень діалекту GoNext і схеми їх трансформації у Go-код. Разом із тим доцільно було б навести відомості про методику тестування транспілятора, зокрема про спосіб перевірки коректності роботи реалізованих мовних розширень, що посилило б довіру до надійності експериментальної реалізації.

3. У підрозділі 3.11 взаємодію реалізованих мовних розширень проаналізовано лише на рівні окремих попарних комбінацій. Разом із тим доцільно було б навести комплексний приклад реалістичної прикладної програми, у якій усі реалізовані розширення використовуються спільно, що додатково підтвердило б практичну цілісність діалекту GoNext.

4. Запропоновану в підрозділі 4.12 покрокову методику прийняття рішення про вибір Go як цільової платформи описано достатньо повно, однак її проілюстровано фактично ретроспективно, на досвіді самого GoNext. Доцільно було б продемонструвати застосування методики до незалежного прикладу, наприклад, до вибору платформи для декларативної мови опису користувацьких інтерфейсів, подібної до SwiftUI у Swift або XAML у .NET.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Повнота викладу результатів дисертації в публікаціях

Основні наукові результати дисертаційної роботи достатньою мірою відображені у наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць, з них 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б» та 8 тез доповідей у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Опубліковані праці повною мірою відображають основні положення дисертації, її наукову новизну, практичне значення та результати експериментальних досліджень. Основні результати роботи пройшли апробацію на наукових конференціях, отримали позитивну оцінку наукової спільноти та відповідають вимогам щодо оприлюднення результатів дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Форкерта Павла Павловича є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що забезпечують розв'язання актуальної науково-технічної задачі у сфері інженерії програмного забезпечення, пов'язаної з обґрунтуванням доцільності та розробленням засобів використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування.

Робота відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», оскільки присвячена розробленню критеріїв оцінювання програмних платформ, архітектури транспілятора, програмних засобів реалізації мовних розширень та методики прийняття інженерних рішень щодо вибору цільової платформи для нових мов програмування.

Отримані автором результати характеризуються науковою новизною, достатнім рівнем обґрунтованості та достовірності, мають практичне значення, пройшли апробацію на наукових конференціях і достатньою мірою висвітлені у наукових публікаціях.

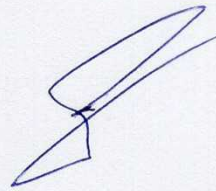
Враховуючи актуальність теми дослідження, наукову новизну, теоретичне та практичне значення отриманих результатів, а також відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам, вважаю, що дисертація Форкерта Павла Павловича на тему «Дослідження використання рантайму Go як платформи для побудови нових мов програмування» 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 № 44 від 12 січня

2022 року (зі змінами), а також Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 року.

Автор дисертації, Форкерт Павло Павлович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за галуззю знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних
управляючих систем
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Максим ЄВЛАНОВ

Підпис проф. М. В. Євланова засвідчую.
Проректор з наукової роботи
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор



Юрій РОМАНЕНКОВ