

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Угриновського Богдана Володимировича **“МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСУ ЙОГО СТАРІННЯ”**, представлену на здобуття наукового ступеня доктор філософії з галузі знань 12 - інформаційні технології за спеціальністю 121 - інженерія програмного забезпечення

Характерними трендами розвитку сучасної інженерії є інтелектуалізація та соціалізація технічних систем, тобто об'єднання в системі фізичних виконавців компонентів з керуючими програмними компонентами за умови, що ці компоненти, як правило розподілені у просторі, що вимагає інтенсивної комунікації системних компонентів задля забезпечення цілеспрямованої поведінки системи в цілому. Прикладами таких систем є вбудовані системи, кібер-фізичні системи, Інтернет речей тощо. Важливою спільною умовою функціонування таких систем є довгий час (в ідеалі нескінченний) час безперервної роботи системи. Як відомо, у цьому випадку важливим чинником, що впливає на якість функціонування системи є її старіння, тобто накопичення помилок, що спричинені як дефектами програмних компонентів, які утворилися в процесі їх розробки, так і помилками функціонування, які не пов'язані з помилками розробки програмного забезпечення, а виникають у наслідок збоїв технічних засобів, фрагментації пам'яті тощо. Таким чином, проблема прогнозування процесів старіння та їх наслідків є важливою задачею супроводження складних програмно-технічних комплексів, планування регламентних робіт з омолодження комплексу. Зважаючи на викладене, дисертаційна робота Угриновського Б. В., яка спрямована на підвищення рівня надійності програмного забезпечення мобільних систем шляхом визначення факторів, що впливають на процес його старіння, побудови математичних моделей старіння і омолодження ПЗ та розроблення відповідних засобів, є актуальною та практично значущою.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі програмного забезпечення Національного університету «Львівська політехніка», у 2021–2022 рр. Дисертаційні дослідження виконувалися в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розроблення інформаційної технології оцінювання та прогнозування

надійності програмного забезпечення методами машинного навчання», номер держреєстрації 0121U109527.

Ступінь новизни, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими як з наукової, так і з технічної точок зору. Обґрунтованість положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації забезпечується коректним застосуванням методів теорії імовірностей та математичної статистики, обчислювальної математики, теорії марківських процесів, аналізу часових рядів, штучного інтелекту, системного аналізу, теорія алгоритмів та техніки, що базується на парадигмі об'єктно-орієнтованого аналізу та розроблення програмних засобів.

До основних наукових результатів слід віднести наступне:

1. вперше побудовано модель факторів старіння ПЗ для Android, яка відрізняється урахуванням метрик тривалості відображення кадру графічного інтерфейсу та частки пропущених кадрів графічного інтерфейсу, що дає змогу більш достовірно виявляти ознаки процесу старіння ПЗ;
2. вперше розроблено метод омолодження ПЗ для ОС Android на основі комплексної моделі старіння та омолодження, який відрізняється тим, що враховує активність користувача, різні рівні старіння ПЗ та стан заряду батареї мобільного пристрою, що дає можливість визначити оптимальний час проведення омолодження ПЗ з мінімальним впливом на функцію готовності та досвід користувача мобільного пристрою;
3. отримали подальший розвиток моделі старіння та омолодження ПЗ з урахуванням активності використання мобільного пристрою користувачем та різних рівнів старіння, які відрізняються урахуванням переходу із стану старіння в стан омолодження та відсутністю переходу із стану очікування в стан активності під час “холодного” омолодження, урахуванням фактору заряду батареї, а також працездатних та непрацездатних станів, що дає можливість більш достовірно оцінити вплив процесів старіння на показники надійності ПЗ та здійснювати проектування та вибір параметрів методу омолодження ПЗ.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання. У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача

підвищення рівня надійності програмного забезпечення мобільних систем шляхом визначення факторів, що впливають на процес його старіння, побудови математичних моделей старіння і омолодження програмного забезпечення та розроблення відповідних засобів.

Практична цінність роботи полягає у тому, що автором

1. Розроблено програмні засоби експериментальних досліджень процесу старіння в ОС Android: засоби виконання стресових тестів в ОС Android; засоби оброблення системних даних та формування часових рядів; засоби аналізу часових рядів метрик старіння.
2. Досліджено вплив факторів старіння: сценарії використання (із затримками генерування робочого навантаження та без затримок); типи застосунків (Android Native та Flutter cross-platform).
3. Показано, що крос-платформові застосунки Flutter можуть бути більш вразливими до ефектів старіння в контексті продуктивності UI, ніж стандартні native застосунки, а сценарій використання із паузами характерний тим, що процес старіння може продовжуватись навіть без взаємодії користувача із UI.
4. Досліджено старіння системних процесів та користувацьких застосунків ОС Android. Встановлено, що такі системні процеси як `surfaceflinger` та `system_server.com.android.systemui` можуть бути використані в методах омолодження ПЗ в якості індикаторів старіння. Такі процеси як `cameraerver` та `audioerver` можуть бути індикаторами в залежності від сценарію використання мобільного пристрою користувачем. Користувацькі застосунки також вразливі до явища старіння.
5. Запропоновано варіант реалізації програмних засобів, що можуть бути використані на етапі проектування та розроблення користувацьких застосувань для протидії і реагування на процеси старіння в системі; розроблено структуру модулів програмного засобу омолодження ПЗ для ОС Android в контексті якої можливо реалізувати запропонований метод омолодження ПЗ, визначено основні вимоги до розроблюваного комплексу.
6. Запропонована в даній роботі модель старіння та омолодження може бути використана для оцінки показників якості існуючого ПЗ, для показників

ефективності омолодження ПЗ, а також для проектування та вибору параметрів методу омолодження ПЗ.

Всі наукові і практичні результати доведені автором до конкретних інженерних рекомендацій і отримали реалізацію як прототипи програмних рішень.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності і оформлення. Дисертаційна робота Угриновського Б. В. складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і шести додатків.

Анотація відображає основний зміст роботи та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційного дослідження; описується його зв'язок з науковими програмами, планами, темами; формулюється мета та основні завдання дисертаційного дослідження; представляються методи дослідження та визначається наукова новизна та практичне значення одержаних результатів дослідження; наводяться списки опублікованих праць за тематикою дисертаційної роботи та конференцій, на яких було апробовано основні результати дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розглядається поняття старіння програмного забезпечення та його основні характеристики: дефекти, помилки, ефекти, метрики та фактори старіння; показується як явище старіння впливає на зменшення надійності та продуктивності програмного забезпечення та оцінюється значущість цього впливу. Розглядаються також методи дослідження та моделювання явища старіння програмного забезпечення. Характеризується процедура омолодження програмного забезпечення, як ефективний інструмент протидії явищу старіння. Обґрунтовується важливість емпіричного та теоретичного дослідження процесу старіння та методів протидії його наслідкам. Формулюються актуальні науково-прикладні задачі, що розв'язуються у роботі.

Другий розділ присвячений аналізу існуючих моделей процесів старіння та омолодження програмного забезпечення для операційної системи Android з урахуванням активності використання мобільного пристрою користувачем, Аналіз дозволив визначити основні недоліки цих моделей та запропонувати їх покращення для врахування як активності використання мобільного пристрою

користувачем, так і механізмів «теплого» та «холодного» виконання процедури омолодження, різних рівнів старіння та можливих стратегій омолодження. Для математичного опису процесів старіння та омолодження програмного забезпечення використовується апарат ланцюгів Маркова з неперервним часом. Запропоновані моделі старіння та омолодження застосовуються як до теоретичного аналізу властивостей процесів старіння та омолодження програмного забезпечення, так і для їх імітаційного моделювання. Відповідні результати також наводяться в цьому розділі.

У **третьому розділі** представляються результати експериментальних досліджень явища старіння програмного забезпечення в операційній системі Android, зокрема, виконано аналіз метрик та факторів старіння. Досліджено нові фактори старіння, а саме, крос-платформові застосунки на базі фреймворку Flutter та сценарій використання мобільного пристрою із паузами під час генерування робочого навантаження. Дослідження показало, що ці фактори мають вігомий вплив на вимірювані метрики. Результати показують, що крос-платформові застосунки Flutter є більш вразливими до ефектів старіння, ніж стандартні native застосунки. Досліджується також вразливість до ефектів старіння системних процесів операційної системи Android.

Четвертий розділ присвячений методологію дослідження старіння програмного забезпечення для операційної системи Android, яка використана в даній роботі для дослідження метрик, факторів та особливостей процесів старіння. Методологія складається із шести етапів: визначення стратегії моніторингу, визначення алгоритму генерування робочого навантаження, планування стресових тестів, виконання стресових тестів, аналіз зібраних даних та представлення результатів експерименту. На базі цієї методологіє розроблюється фреймворк для виконання стресового тестування мобільних застосунків ОС Android та аналізу зібраних даних.

Висновки за розділами та за роботою в цілому сформульовані коректно та відповідають змісту роботи.

Список використаних джерел містить 118 назв, є достатньо повним і включає, як відчизняні, так і зарубіжні публікації.

Академічна доброчесність. Порухень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені результати роботи, не виявлено.

До дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження.

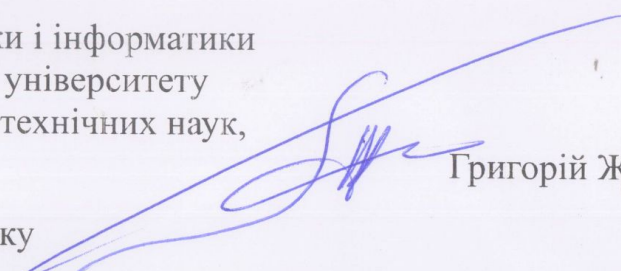
1. В роботі автор інтенсивно використовує ідеї об'єктно-орієнтованого аналізу, що робить природнім систематично використовувати нотації мови UML (Unified Modelling Language), проте автор такі нотації використовує несистематично, наприклад, Рис. 1.2 на стор. 43, Рис. 2.3 на стор. 52, Рис. 2.4 на стор. 56, Рис. 2.5 на стор. 58 і т. Інш. доцільно було б відобразити у нотації State/Chart-діаграм мови UML.
2. В розділі 1 наведений значний обсяг різноманітних і дуже цікавих статистичних даних, які, на жаль, розпорошені за текстом. Доцільно було б узагальнити ці дані у єдиній консолідуєчій таблиці.
3. В дослідженні автор використовує лінійні моделі процесів старіння омолодження, у відповідності до загально прийнятої практики, однак, припущення лінійності є дуже суттєвим і не завжди відповідає природі процесів, тому доцільно було б обґрунтувати його.
4. В роботі для моделювання (див. Розділ 3) використовується техніка ланцюгів Маркова, проте не наведено статистичних аргументів щодо адекватності цієї моделі.
5. Підпис під Рис. 3.17 на стор. 118 “UML-діаграма діяльності методу омолодження” є не зовсім коректною, краще було б “UML-activity-діаграма діяльності методу омолодження”.
6. На Рис. 4.1 (стор. 123) подана загальна схема методології дослідження явища старіння ПЗ в ОС Android у вигляді основного потоку подій. На мою думку було б доцільно використати IDEF0 нотацію, що дозволило б відобразити не тільки потік подій, але й входи, виходи та управління для кожного підпроцесу, а також засіб, за допомогою якого він виконується.
7. Рис. 4.3 та 4.4 на стор. 132 та 133 відповідно доцільно було б виконати у більш традиційний та передбачений стандартом спосіб.
8. Фрагменти лістингу доцільно було б оформляти як рисунки з відповідною нумерацією для посилань.

9. Доцільно було б привести у переліку використаних джерел всі назви до одного бібліографічного стилю.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Угриновського Б. В. є актуальним та практично важливим дослідженням, що містить нові наукові результати, які повною мірою відображені у 12 наукових публікаціях, 7 з яких є науковими статтями (одна індексована у WoS), а 5 - доповідями на міжнародних наукових конференціях. Дисертація є завершеною науковою роботою, яка 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, а здобувач, Угриновський Богдан Володимирович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 - інженерія програмного забезпечення.

Декан факультету математики і інформатики
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна, доктор технічних наук,
професор


Григорій ЖОЛТКЕВИЧ

"10" 06 2022 року

Підпис професора Жолткевича Григорія Миколайовича засвідчую.

Проректор з науково-педагогічної роботи
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна


Анатолій БАБІЧЕВ

"15" 06 2022 року

