УДК 004.412:519.237.5

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ОЦІНЮВАННІ РІВНЯ СУПРОВОДУ ІГОР НА JAVA

Каіров В.О., к.т.н., доц.[1]; Логвиненко В.Ю.[2]
[1,2] Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
[1,2] Україна, Миколаїв
[1] volodymyr.kairov@nuos.edu.ua; [2] sslaffik@gmail.com

Анотація. *У роботі досліджується процес оцінювання рівня супроводу ігор, розроблених мовою Java. Цінність підходу полягає в можливості заздалегідь виявити потенційні проблеми з супроводом гри ще на етапі активної розробки.*
Ключові слова: *нелінійні регресійні моделі; рівень супроводу; мова програмування Java; ігрові проєкти; багатовимірне перетворення Бокса-Кокса.*

Вступ. Дослідження присвячене актуальній проблемі оцінювання рівня супроводу ігор, розроблених мовою Java. Попри зміну технологічних трендів, Java продовжує широко застосовуватися у створенні ігрових продуктів для мобільних пристроїв і має свою частку в сегменті настільних комп'ютерів. Отже, проведення відповідного дослідження дасть змогу підвищити достовірність оцінювання рівня супроводу програмного коду в індустрії розробки ігор на базі Java.

Еволюція методів аналізу рівня супроводу програмних продуктів охоплює кілька послідовних етапів: від класичних показників процедурної парадигми до спеціалізованих метрик об'єктно-орієнтованого підходу, серед яких провідне місце посідає набір Чидамбера та Кемерера. Згідно з результатами сучасних емпіричних досліджень найбільшу інформативність демонструють три основні метрики набору: зважена складність методів класу (WMC), обсяг потенційних викликів (RFC) та ступінь зв'язності між об'єктами (CBO). Саме ці метрики найтісніше корелюють із ризиком появи помилок у класах і трудовитратами на їхнє обслуговування, натомість решта показників зазначеного набору на практиці виявляють значно нижчу прогностичну цінність [1].

Удосконалений підхід до аналізу якості відкритого програмного забезпечення на Java було представлено в праці [2]. Емпіричною основою цього підходу виступають усереднені по кожному проєкту значення показників WMC, RFC та CBO. Зважаючи на взаємний вплив цих величин, автори формують три нелінійні регресійні залежності, після чого якість ПЗ встановлюється на базі розрахованих довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування.

Водночас архітектура ігрових застосунків має суттєву специфіку: вона характеризується інтенсивною взаємодією об'єктів у режимі реального часу та розгалуженою структурою зв'язків. Через це універсальні моделі оцінювання нерідко дають похибку при аналізі ігор. Отже, побудова математичної моделі для оцінювання рівня супроводу ігор, розроблених мовою Java, доповнить і вдосконалить наявний методичний апарат.

Мета дослідження. Метою дослідження є підвищення достовірності оцінювання рівня супроводу ігор, розроблених мовою Java, використовуючи метрики WMC, RFC, CBO.

Основна частина. Для побудови трьох взаємопов'язаних нелінійних регресійних залежностей: RFC(CBO, WMC), WMC(RFC, CBO) та CBO(WMC, RFC), необхідних для аналізу рівня супроводу ігрових проєктів на Java, було сформовано вибірку зі 162 відкритих ігрових репозиторіїв з платформи GitHub (https://github.com). Збір значень метрик RFC,

WMC та CBO виконувався за допомогою спеціалізованого програмного аналізатора СК [3]. Оскільки цей інструмент обчислює параметри окремо для кожного класу, перехід до рівня всього проєкту здійснювався шляхом визначення середнього арифметичного кожної метрики за загальною кількістю класів у відповідному застосунку. Описову статистику отриманих даних наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Описова статистика набору даних

Метрика	Мінімальне	Максимальне	Середнє	СКВ
CBO	2,75	476,5	18,51	39,202
RFC	4,554	53	11,547	5,536
WMC	0,5	9,951	4,654	1,719

Перевірку сформованого багатовимірного масиву на відповідність нормальному закону розподілу проведено за допомогою тесту Мардія, який базується на оцінюванні багатовимірної асиметрії та ексцесу. Гіпотеза про нормальність приймається лише за умови, що обидва розраховані показники не перевищують критичних меж. У результаті перевірки виявлено, що сформований набір не має нормального розподілу. Оскільки коректне регресійне моделювання та оцінювання інтервалів прогнозування потребують нормальності розподілу даних, до вихідної вибірки застосовано багатовимірне перетворення Бокса-Кокса.

Перед побудовою моделі необхідно виконати етап очищення та попередньої підготовки даних, котрий реалізований за таким алгоритмом:

1. Визначити оптимальні параметри перетворення для кожної з трьох метрик.

2. Застосувати багатовимірне перетворення Бокса-Кокса з метою нормалізації значень метрик.

3. Побудувати коваріаційну матрицю для тривимірного простору трансформованих даних.

4. Знайти обернену коваріаційну матрицю.

5. Обчислити квадрат відстані Махаланобіса для кожного елемента нормалізованої вибірки.

6. Зіставити отримані значення квадрата відстані Махаланобіса (d_i^2) з граничним порогом [4] $3(N^2 - 1)F_{3,N-3,0,005} / (N(N-3))$, де $F_{3,N-3,0,005}$ – це квантиль розподілу Фішера для 3 ступенів вільності при рівні значущості 0,005, а N – розмір вибірки. У разі виявлення хоча б одного спостереження, де d_i^2 перевищує встановлену межу, відповідний аномальний елемент вилучається з вибірки й алгоритм повертається на крок 1.

За результатами застосування алгоритму знайдено й вилучено 5 викидів. Для вибірки зі 157 проєктів, що залишилися, було обраховано значення параметрів перетворення Бокса-Кокса, проведено нормалізацію даних за допомогою цього перетворення та перевірено нормальність їхнього розподілу за допомогою тесту Мардія. За результатами тесту обидва показники нижчі за критичний рівень; отже, можна зробити висновок про відповідність даних багатовимірному нормальному розподілу.

Підготовлений масив із 157 проєктів було розбито на дві вибірки: навчальну (125 проєктів) та тестову (32 проєкти). На основі навчальної вибірки побудовано три нелінійні регресійні залежності: CBO(RFC, WMC), RFC(CBO, WMC) і WMC(CBO, RFC) та відповідні довірчий і прогнозний інтервали. Процедура їхньої побудови та подальшого застосування для визначення рівня супроводу Java-ігор відповідає підходу, викладеному в [2].

Висновки. Для оцінювання рівня супроводу ігор, розроблених мовою Java, побудовано математичну модель на основі трьох нелінійних регресійних моделей CBO(RFC, WMC), RFC(CBO, WMC), WMC(CBO, RFC). Наступні етапи передбачають розробку програмного забезпечення для реалізації моделі.

Використання інструментів ШІ. Інструменти ШІ не застосовувались.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Juliano, R. C., Travençolo, B. A. N., & Soares, M. S. (2014). Detection of software anomalies using object-oriented metrics. In *Proceedings of the 16th International Conference on Enterprise Information Systems* (Vol. 2, pp. 241–248). SciTePress. https://doi.org/10.5220/0004889102410248

[2] Prykhodko, S. (2024). Evaluating quality of software systems by the confidence and prediction intervals of regressions for RFC, CBO and WMC metrics. *WSEAS Transactions on Systems*, 23, 322–330. https://doi.org/10.37394/23202.2024.23.36

[3] Aniche, M. (2015). *CK: Code metrics for Java code by means of static analysis* [Computer software]. GitHub. https://github.com/mauricioaniche/ck

[4] Prykhodko, S., Makarova, L., & Pukhalevych, A. (2025). Statistical analysis of the three-dimensional data of software metrics RFC, CBO, and WMC that are not normally distributed. In *Proceedings of the 13th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIT)* (Vol. 13, Issue 1, pp. 127–131). Anhalt University of Applied Sciences. https://doi.org/10.25673/119224

Kairov V.O., Lohvynenko V.Y.

Mathematical modeling in evaluating the level of game maintability in Java

Abstract*. This paper examines the process of assessing the maintainability of games developed in Java. The value of this approach lies in the ability to identify potential issues with game support in advance, while the game is still in active development.*

Keywords: *nonlinear regression models; level of maintainability; the Java programming language; game projects; the Box-Cox multivariate transformation.*