УДК 004.412:519.237.5

ЗАСТОСУВАННЯ ДОВІРЧОГО ЕЛІПСОЇДУ НОРМАЛІЗОВАНИХ МЕТРИК RFC, CBO ТА WMC ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРЕДНЬОЇ ЯКОСТІ ЧЕРЕЗ ЙОГО СУПРОВОДЖУВАНІСТЬ

Приходько С.Б., д.т.н., проф.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Україна, Миколаїв
sergiy.prykhodko@nuos.edu.ua, https://orcid.org/0000-0002-2325-018X

Анотація. *Для виявлення програмного забезпечення середньої якості з точки зору супроводжуваності ми пропонуємо застосувати довірчий еліпсоїд для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC. Проілюстровано побудову вищезазначеного еліпсоїда для виявлення Java-застосунків середньої якості через супроводжуваність.*
Ключові слова: *програмне забезпечення; якість; супроводжуваність; довірчий еліпсоїд; нормалізована метрика; RFC; CBO; WMC.*

Вступна частина. Відповідно до стандарту ISO/IEC 25010 супроводжуваність (maintainability) є однією з фундаментальних складових якості програмного забезпечення (ПЗ). Супроводжуваність ПЗ означає, наскільки легко ми можемо зрозуміти, виправити, протестувати, адаптувати та вдосконалити програмний код з часом.

На сьогодні для оцінювання супроводжуваності ПЗ відомі застосування різноманітних метрик, у тому числі, таких відомих як RFC (Response for Class), CBO (Coupling Between Objects) та WMC (Weighted Methods per Class) [1-4].

В роботі [1] автори використали, у тому числі, метрики WMC, RFC, DIT та LCOM як предиктори лінійної регресії зусиль на супроводження. У [5] автори запропонували застосовувати шість метрик CK (включаючи RFC, CBO та WMC) для визначення якості ПЗ за трьома рівнями (ПЗ високої, середньої та низької якості) та навели точкові оцінки вибіркових середніх цих метрик для ПЗ, яке створено на C++ та Java. Також у [5] було отримано лінійну регресію метрики RFC від метрик CBO та WMC. Але, як відомо, застосування лінійної регресії може бути теоретично обґрунтовано лише у певних випадках, зокрема, коли розподіл відхилень точок даних від лінії регресії є гаусівським.

Тому в [6] для визначення якості ПЗ було запропоновано метод, заснований на довірчих інтервалах та інтервалах прогнозування нелінійної регресії для RFC, предикторами якої є метрики CBO та WMC. Однак метрики CBO і WMC, як і RFC, також слід розглядати як залежні змінні. Крім того, застосування довірчих інтервалів та інтервалів прогнозування нелінійної регресії лише для RFC в певних випадках призводить до недостовірного визначення якості ПЗ. З огляду на це, в [7] була запропонована модифікація зазначеного методу, що базується на довірчих інтервалах та інтервалах прогнозування вже трьох нелінійних регресій метрик RFC, CBO і WMC відповідно. За [7] ПЗ має середню якість, коли точка даних з координатами RFC, CBO та WMC для цього ПЗ буде знаходитися в області, яка обмежується поверхнями, що проходять через границі довірчих інтервалів вказаних нелінійних регресій.

Підкреслимо, що таке визначення за [7] ПЗ середньої якості потребує побудови довірчих інтервалів трьох нелінійних регресій. Крім того, при такому підході не враховується сумісна кореляція між метриками RFC, CBO та WMC.

Метою дослідження є побудова однієї математичної моделі у вигляді рівняння довірчого еліпсоїду для виявлення ПЗ середньої якості через супроводжуваність.

Основна частина. Вибір саме рівняння довірчого еліпсоїду для виявлення ПЗ середньої якості через супроводжуваність дозволяє нам, по-перше, використовувати лише одне рівняння замість довірчих інтервалів трьох регресій, а, по-друге, враховувати сумісну кореляцію між метриками RFC, CBO та WMC. При чому рівняння довірчого еліпсоїду будується для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC на рівні програмного застосунку. Використання саме нормалізованих метрик пов'язано з тим, що довірчий еліпсоїд може бути застосований до даних, багатовимірний розподіл яких є гаусівським, а розподіл метрик RFC, CBO та WMC, як правило, відхиляється від гаусівського. При побудові довірчого еліпсоїду рекомендується брати рівень значущості 0,05 та тестову статистику на основі квантилю *F*-розподілу [8]. Тоді рівняння довірчого еліпсоїду для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC має наступний вигляд:

$$\left(\overline{\mathbf{Z}}-\hat{\mathbf{m}}_{\mathbf{Z}}\right)^{T}\mathbf{S}_{\mathbf{Z}}^{-1}\left(\overline{\mathbf{Z}}-\hat{\mathbf{m}}_{\mathbf{Z}}\right)=\frac{3\left(N-1\right)}{N\left(N-3\right)}F_{3,N-3,0.05}, \qquad (1)$$

де $\hat{\mathbf{m}}_{\mathbf{Z}}$ – оцінка вектору математичних сподівань нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC; $\mathbf{S}_{\mathbf{Z}}$ – вибіркова коваріаційна матриця нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC; $F_{3,N-3,0.05}$ – квантиль *F*-розподілу з 3 і $N-3$ ступенями свободи та рівнем значущості 0,05; N – кількість точок даних.

Рівняння (1) будується за конкретними даними з нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC. Для нормалізації даних цих метрик рекомендується використовувати взаємо-зворотне багатовимірне перетворення, наприклад, тривимірне перетворення Бокса-Кокса. При чому необхідно перевірити, чи не відхиляється розподіл нормалізованих даних від тривимірного гаусівського розподілу. Якщо відхиляється, то треба застосувати інше більш потужне тривимірне перетворення Джонсона. Також перед побудовою рівняння (1) необхідно перевірити дані на наявність тривимірних викидів та у разі потреби очистити дані. Для визначення тривимірних викидів ми рекомендуємо застосовувати метод на основі квадрату відстані Махаланобіса для нормалізованих даних [9] тому, що рівняння (1) будується саме для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC.

ПЗ вважається середньої якості з точки зору супроводжуваності, якщо точка даних з координатами нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC цього ПЗ не виходить за поверхню довірчого еліпсоїду або інакше, якщо значення лівої частини рівняння (1) після підстановки у якості компонентів вектору $\overline{\mathbf{Z}}$ нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC для цього ПЗ не будуть перевищувати значення правої частини (1) – тестової статистики.

В роботі також наведено приклад побудови довірчого еліпсоїду для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC для ПЗ на Java, за даними з [7]. При чому, як і в [7], нормалізацію даних метрик RFC, CBO та WMC було здійснено за тривимірним перетворенням Бокса – Кокса. Порівняно з [7] було отримано кращі результати визначення ПЗ середньої якості.

Висновки. В роботі для виявлення ПЗ середньої якості через супроводжуваність вперше запропоновано рівняння довірчого еліпсоїду для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC на основі тестової статистики, яка базується на квантилі *F*-розподілу. До переваг цієї математичної моделі у порівнянні з існуючими слід віднести в першу чергу те, що вона має лише одне рівняння та враховує сумісну кореляцію між метриками RFC, CBO та WMC. В подальшому на основі рівняння (1) планується побудова низки математичних моделей для

виявлення ПЗ середньої якості через супроводжуваність щодо програмних застосунків, які створені з використанням різних мов програмування та/або фреймворків.

Використання інструментів ШІ. У роботі використовувався інструмент штучного інтелекту (ШІ) LeapSpace – це дослідницький робочий простір Elsevier на базі ШІ. Він застосовувався для пошуку літератури та її короткого огляду. Вся інформація, яка була отримана за допомогою LeapSpace, перевірена та відредагована автором особисто. Наукові положення, висновки та результати є власним інтелектуальним внеском автора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Li, W., & Henry, S. (1993). Object-oriented metrics that predict maintainability. *Journal of Systems and Software*, *23* (2), 111–122. https://doi.org/10.1016/0164-1212(93)90077-B

[2] Malhotra, R., & Chug, A. (2016). Software maintainability: Systematic literature review and current trends. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, *26* (08), 1221–1253. https://doi.org/10.1142/s0218194016500431

[3] Du, Y., & Liu, S. (2025). A methodology for rating maintainability metrics of SOFL formal specifications. In S. Liu (Ed.), *Software fault prevention, verification, and validation. SFPVV 2024* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 15393, pp. 3–18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-96-1621-3_1

[4] Şengül, F., & Yürüm, O. R. (2026). Software maintainability prediction using static code metrics and machine learning. *Software Quality Journal, 34*(4), 54. https://doi.org/10.1007/s11219-026-09789-w

[5] Laing, V., & Coleman, C. J. (2001). *Principal components of orthogonal object-oriented metrics* (White Paper Analyzing Results of NASA Object-Oriented Data). Software Assurance Technology Center, NASA.

[6] Prykhodko, S., & Prykhodko, N. (2022). A technique for detecting software quality based on the confidence and prediction intervals of nonlinear regression for RFC metric. *Computer Sciences and Information Technologies : 2022 IEEE 17th International Conference (CSIT-2022)*, (pp. 499-502). Lviv, Ukraine. https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000532

[7] 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

[8] Приходько**,** С.Б. (2026). Визначення програмного забезпечення середньої якості за допомогою довірчого еліпсоїду для нормалізованих метрик RFC, CBO та WMC. *Сучасні інформаційні технології: від теорії до практики : Тези доповідей І Міжнародної науково-практичної конференції (СІнТех-2026)*, (С. 287-290). Луцьк, Україна.

[9] Prykhodko, S., Prykhodko, N., Makarova, L., & Pukhalevych, A. (2018). Application of the squared Mahalanobis distance for detecting outliers in multivariate non-Gaussian data. *Advanced Trends in Radioelecrtronics, Telecommunications and Computer Engineering : 2018 14th International Conference (TCSET)* (pp. 962-965). Lviv-Slavske, Ukraine. https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336353

Prykhodko S.B.

Application of a confidence ellipsoid for normalized RFC, CBO, and WMC metrics to detect medium-quality software through its maintainability

Abstract. *To detect medium-quality software in terms of maintainability, we propose applying a confidence ellipsoid for normalized metrics RFC, CBO, and WMC. The construction of the above ellipsoid for detecting medium-quality Java apps through maintainability is illustrated.*

Keywords: *software; quality; maintainability; confidence ellipsoid; normalized metric; RFC; CBO; WMC.*