УДК 004.412

ВИЗНАЧЕННЯ СУПРОВОДЖУВАНОСТІ ВЕБЗАСТОСУНКІВ МОВОЮ C# НА ПЛАТФОРМІ ASP.NET CORE ЗА ІНТЕРВАЛАМИ НЕЛІНІЙНИХ РЕГРЕСІЙ ДЛЯ МЕТРИК RFC, CBO І WMC

Трухов А.С., PhD [1]; Кравець О.В. [2]
[1,2] Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
[1,2] Україна, Миколаїв
[1] artem.trukhov@nuos.edu.ua; [2] kravets.aleksandr.job@gmail.com

Анотація. *Обґрунтовано потребу у визначенні супроводжуваності вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core з урахуванням зв'язаності їхніх класів. Показано обмеження індексу супроводжуваності з фіксованими порогами. Запропоновано визначати рівень супроводжуваності за довірчими інтервалами та інтервалами передбачення нелінійних регресій для метрик RFC, CBO і WMC.*
Ключові слова: *супроводжуваність програмного забезпечення; ASP.NET Core; метрики Чідамбера–Кемерера; нелінійна регресія; інтервал передбачення.*

Вступ. Вебзастосунки мовою C# на платформі ASP.NET Core займають помітне місце в серверній розробці, зокрема в Україні: у щорічному рейтингу мов програмування DOU мова C# посідає четверте місце серед основних мов розробників, а в бекенд-розробці поступається лише Java [1]. Такі застосунки зазвичай експлуатуються роками. Після першого випуску до них додають нові функції, змінюють бізнес-правила, переходять на нові версії .NET і сторонніх бібліотек, тому значна частина витрат припадає саме на супроводження. Відповідно, команді потрібен кількісний спосіб заздалегідь визначити, наскільки складно буде змінювати код конкретного застосунку.

У екосистемі .NET для цього найчастіше використовують індекс супроводжуваності, який обчислює Visual Studio. Він поєднує об'єм Холстеда, цикломатичну складність і кількість рядків коду, а результат порівнюють з однаковими для всіх проєктів межами: значення від 20 до 100 вважається добрим, від 10 до 19 помірним, нижче 10 низьким [2]. Індекс характеризує окремі методи й типи, але не відображає того, як класи взаємодіють між собою. Для вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core це суттєвий недолік. Вбудований контейнер впровадження залежностей зв'язує контролери, сервіси й репозиторії через конструктори та інтерфейси, і обробка одного HTTP-запиту розгортається в ланцюжок викликів методів різних класів. Тому вартість змін тут визначається насамперед зв'язаністю класів і розгалуженістю їхньої взаємодії. Саме ці властивості описують метрики набору Чідамбера–Кемерера [3]: CBO (coupling between object classes) – кількість класів, з якими пов'язаний клас; RFC (response for a class) – кількість методів, що можуть бути виконані у відповідь на повідомлення об'єкту класу; WMC (weighted methods per class) – сумарна складність методів класу.

Застосування цих метрик ускладнюється вибором порогів. Метрики взаємозалежні: клас із багатьма складними методами і зовнішніми зв'язками неминуче має ширшу множину відгуку. Тому одне й те саме значення RFC може бути звичайним для застосунку з високими CBO і WMC та надмірним для застосунку, де ці метрики малі. С. Приходько запропонував замість єдиних порогів порівнювати метрики застосунку з межами довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійних регресій, побудованих за вибіркою застосунків з відкритим кодом. Спочатку методику було розроблено для однієї метрики RFC і застосовано,

зокрема, до застосунків мовою Kotlin [4], а згодом розширено на всі три метрики, кожна з яких почергово розглядається як залежна змінна, на прикладі систем мовою Java [5]. Межі інтервалів у цій методиці задає вибірка, тож відомі моделі описують типову будову саме Java- і Kotlin-застосунків. Вебзастосунки мовою C# на платформі ASP.NET Core мають власні структурні особливості (велика кількість дрібних класів моделей і DTO, поділ на контролери, сервіси та шари доступу до даних, залежності через інтерфейси), що може суттєво зміщувати розподіли метрик. Модель для таких застосунків у доступних публікаціях не побудовано.

Мета дослідження – підвищення достовірності визначення супроводжуваності вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core за рахунок побудови математичної моделі у вигляді довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійних регресій для метрик RFC, CBO і WMC на основі тривимірного нормалізуючого перетворення Бокса–Кокса.

Основна частина. Пропонується адаптувати методику [5] до вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core. Кожен застосунок вибірки описується вектором $P = (RFC, CBO, WMC)^T$, компонентами якого є середні значення метрик за всіма класами застосунку. Оскільки вбудовані засоби Visual Studio не обчислюють RFC, для отримання метрик потрібен власний засіб статичного аналізу коду C# на основі компіляторної платформи Roslyn, який розпізнає виклики методів з урахуванням типів. Вибірку доцільно формувати з вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core з відкритим кодом, вилучаючи з аналізу автоматично згенерований код і тести.

Розподіл середніх значень метрик зазвичай відрізняється від нормального, тому до вектора P застосовується тривимірне нормалізуюче перетворення Бокса–Кокса $Z = \psi(P)$, параметри якого оцінюються методом максимальної правдоподібності. Для кожної нормалізованої точки Z_i обчислюється квадрат відстані Махаланобіса

$$d_i^2 = (Z_i - \underline{Z})^T S_N^{-1} (Z_i - \underline{Z}),$$

де $\bar{Z}$ – вектор середніх, S_N – вибіркова коваріаційна матриця нормалізованих даних. Застосунки, для яких відповідна статистика перевищує квантиль F-розподілу, вважаються багатовимірними викидами і з вибірки вилучаються [5].

На очищених даних будуються три лінійні регресії для нормалізованих змінних, наприклад $Z_{RFC} = b_0 + b_1 Z_{CBO} + b_2 Z_{WMC} + \varepsilon$, і дві аналогічні для Z_{CBO} та Z_{WMC}. Після оберненого перетворення ψ^{-1} вони дають нелінійні регресії $RFC = F_1(CBO, WMC)$, $CBO = F_2(RFC, WMC)$ і $WMC = F_3(RFC, CBO)$, для яких обчислюються межі довірчих інтервалів та інтервалів передбачення. Якість регресій перевіряється за коефіцієнтом детермінації R^2, середньою величиною відносної похибки MMRE та показником PRED(0,25).

Рівень супроводжуваності нового застосунку визначається за положенням його метрик відносно цих меж [5]. Якщо всі три метрики лежать у довірчих інтервалах, рівень вважається середнім. Якщо всі три лежать між верхніми межами довірчих інтервалів і нижніми межами інтервалів передбачення, рівень високий. В інших випадках рівень низький. Перед цим для застосунку перевіряється квадрат відстані Махаланобіса: якщо точка є викидом, модель до неї не застосовується. Програмна реалізація моделі має автоматично обчислювати метрики для поданого рішення .NET і формувати висновок про рівень супроводжуваності.

Висновки. Визначення супроводжуваності вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core є актуальною задачею: такі застосунки широко використовуються й тривало супроводжуються, а поширений у .NET індекс супроводжуваності не враховує об’єктно-орієнтованої структури коду, ігнорує взаємозв’язок метрик і спирається на фіксовані пороги. Методика С. Приходька [5], заснована на довірчих інтервалах та інтервалах передбачення

нелінійних регресій для метрик RFC, CBO і WMC, цих недоліків не має, проте моделі для вебзастосунків мовою C# на платформі ASP.NET Core за нею досі не побудовано. Тому необхідно сформувати вибірку метрик таких застосунків, побудувати за методикою [5] математичну модель для визначення їхньої супроводжуваності та реалізувати її у програмному засобі, що дасть змогу порівнювати застосунок із типовими застосунками на тій самій платформі, а не з універсальними порогами.

Використання інструментів ШІ. Перевірка граматики матеріалу здійснені за допомогою інструменту ШІ Gemini.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Шевченко, Р. (2026). Рейтинг мов програмування 2026. TypeScript зростає, Python – лідер серед новачків. *DOU*. https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-2026/

[2] Microsoft. (n.d.). *Code metrics – Maintainability index range and meaning*. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/visualstudio/code-quality/code-metrics-maintainability-index-range-and-meaning

[3] Chidamber, S. R., & Kemerer, C. F. (1994). A metrics suite for object oriented design. *IEEE Transactions on Software Engineering, 20*(6), 476–493. https://doi.org/10.1109/32.295895

[4] Prykhodko, S., & Prykhodko, N. (2023). *Estimating quality of open-source Kotlin-based apps by the confidence and prediction intervals of nonlinear regression for RFC metric*. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT) (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/CSIT61576.2023.10324187

[5] 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

Trukhov A., Kravets O.

Determining the Maintainability of C# Web Applications on the ASP.NET Core Platform by Intervals of Nonlinear Regressions for RFC, CBO and WMC Metrics

Abstract. *The need to determine the maintainability of C# web applications on the ASP.NET Core platform with regard to class coupling is substantiated. The limitations of the maintainability index with fixed thresholds are shown. It is proposed to determine the maintainability level by the confidence and prediction intervals of nonlinear regressions for the RFC, CBO and WMC metrics.*

Keywords: *software maintainability; ASP.NET Core; Chidamber–Kemerer metrics; nonlinear regression; prediction interval.*