

О. А. Руденко¹, О. В. Шефер¹, Ю. Л. Поночовний²

¹ Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

² Полтавський державний аграрний університет, Полтава, Україна

АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВТОРИННИХ ДЕФЕКТІВ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ШЛЯХОМ КОРИГУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ АПРОКСИМУЮЧОГО ПОЛІНОМА ДРУГОГО СТЕПЕНЯ

Анотація. У статті запропоновані процедури, які дозволяють визначити коригувальні коефіцієнти для апроксимації кривої зміни виявлених дефектів програмних засобів. Визначено, що при оцінюванні надійності програмних засобів не враховуються вторинні дефекти, які додатково вносяться в процесі тестування та відлагодження. Показаний вплив вторинних дефектів на характеристику надійності програмного забезпечення та якість програмних засобів в цілому. Наголошено на необхідності врахування вторинних дефектів при дослідженні часових рядів, у яких прояв таких дефектів виділяється з усього потоку подій; при імітаційному моделюванні відмов у складних апаратно-програмних комплексах і системах; для модифікації функцій ризику при оцінюванні надійності програмних засобів; при динамічному аналізі складних програмних систем на різних етапах їх життєвого циклу, включно з їх відлагодженням, модифікацією та супроводом. Показано, що зміщення графіка апроксимуючого полінома відносно полігону частот дефектів дозволяє провести кількісну оцінку вторинних дефектів. Обґрунтовано вибір поліному для апроксимації тренду дефектів у випадку оцінювання надійності програмних засобів моделями з функціями ризику, що містять складові другого ступеня. Наведено основні етапи послідовного зміщення лінії апроксимації у контексті алгоритму знаходження коригувальних коефіцієнтів. Обґрунтовано використання поправки Бесселя для вибірок полігону частот дефектів малого об'єму. Наведено приклад оцінювання кількості вторинних дефектів, що вносяться при відлагодженні програмних засобів за допомогою скоригованого тренду як полінома другого порядку.

Ключові слова: апроксимація поліномом другого степеня, коефіцієнти для коригування, якість та надійність програмного забезпечення, вторинний дефект, полігон частот дефектів, модель оцінки надійності програмних засобів.

Вступ

Широке впровадження автоматизованих систем та бурхливий розвиток їх індустрії на даний час неможливо уявити без розроблення та застосування в них програмних засобів різного призначення. Вирішальна роль програмного забезпечення (ПЗ) у вдосконаленні наявних та формуванні нових технологій з кожним днем зростає, адже воно використовується у всіх сферах людської життєдіяльності. При цьому, як показує статистика аварій, катастроф та критичних ситуацій [1, 2], зростає й кількість відмов апаратно-програмних комплексів саме з причини прояву програмних дефектів. Це пов'язано з багатьма факторами, зокрема, зі зростанням складності архітектури ПЗ, тривалими та мінливими процесами його розробки та модифікації тощо. [4, 5]. Тому зараз серед множини показників якості ПЗ особливе місце займає характеристика його надійності, складові якої регламентовані як державними, так і міжнародними стандартами та нормативними документами [5, 6].

Забезпечення надійності ПЗ є складним процесом, що охоплює всі етапи життєвого циклу і вимагає часових та фінансових затрат. Як правило, на усіх етапах життєвого циклу ПЗ вирішуються задачі оцінювання показників, у тому числі й надійності.

Питання забезпечення надійності розкриті у роботах і закордонних [3, 7], і вітчизняних учених [8, 9]. Особливістю підходів, розглянутих у вказаних дослідженнях є моделювання дефектів, як результатів недосконалого проектування та відлагодження ПЗ. Варто зазначити, що в процесі відлагодження та тестування ПЗ в них можуть бути внесені так звані

вторинні дефекти. Вторинні дефекти – дефекти, що вносяться у процесі усунення виявлених первинних дефектів.

Дослідження проблем врахування вторинних дефектів програмного забезпечення знайшли відображення у роботах вітчизняних учених Харченка В.С., Конорева Б.М., Одарушенка О.М. [10, 11], Маєвського Д.А. [13,14] та ін.

Задачі врахування впливу вторинних дефектів на надійність ПЗ можна розділити на наступні категорії:

– виділення вторинних дефектів із загального потоку з використанням методів теорії часових рядів, [13];

– імітаційне моделювання відмов у складних апаратно-програмних комплексах і системах [14];

– динамічний аналіз складних програмних систем на різних етапах їх життєвого циклу, включно з їх відлагодженням, модифікацією та супроводом [10, 12];

– модифікація функцій ризику при оцінюванні надійності програмних засобів внесенням доданку, що характеризує вторинні дефекти [10], а також комплексування модифікованих моделей надійності (МНПЗ) [15];

– оцінювання кількісних показників вторинних дефектів на часових інтервалах шляхом порівняння значень тренду дефектів з відповідними значеннями функції регресії [16,17].

Мета статті – знаходження коефіцієнтів для коригування лінії апроксимації полінома другого степеня тренду статистичних даних числа виявлених дефектів ПЗ для оцінки кількості вторинних дефектів на часових інтервалах.

Основна частина

У більшості досліджень, що стосуються надійності ПЗ, зокрема у роботах [16,17] виконано обгрунтування вибору і використання апроксимації експоненціальним трендом. Це обумовлюється експоненціальною складовою функцій ризику великої кількості МНПЗ.

Проте, функції ризику наступних МНПЗ містять параметри не тільки в експоненті, а й у другому степені:

– базова S-подібна модель [19], функція ризику

$$\lambda(t) = BK^2te^{-Kt}, \quad (1)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; $B, K > 0$ – параметри моделі;

– модель Охба [20], що має функцію ризику

$$\lambda(t) = ab^2te^{-bt}, \quad (2)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; a – початкове число дефектів у ПЗ; b – інтенсивність усунення дефектів.

Таким чином, якщо нормативними та керівними документами регламентовано використання саме таких МНПЗ, виникає необхідність використовувати процедури апроксимації, адекватні вказаним функціям ризику, а саме поліномами другого степеня.

Алгоритм оцінювання кількості вторинних дефектів через коригування коефіцієнтів поліному другого степеня

Оцінювання числа вторинних дефектів ПЗ здійснюється на основі статистичних даних про кількість виявлених дефектів за вказаний часовий проміжок.

Статистика кількості виявлених дефектів подається у вигляді дискретного варіаційного ряду частот виявлених дефектів, варіантами якого є кінці рівновіддалених часових інтервалів, на які розбивається весь час процесу виявлення дефектів, а частотами – кількість виявлених дефектів на кожному часовому інтервалі.

Запропонований алгоритм оцінювання кількості вторинних дефектів ПЗ здійснюється у наступній послідовності (рис. 1).

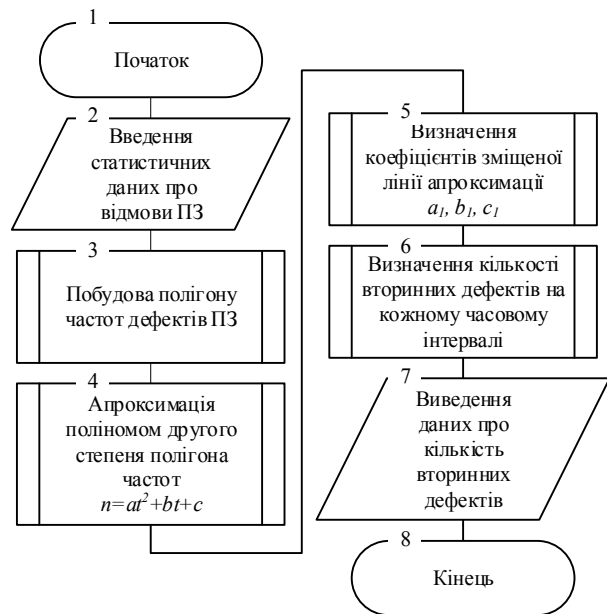


Рис. 1. Алгоритм оцінювання кількості вторинних дефектів ПЗ

Процедури алгоритму П. 2 та П. 3. були детально розглянуті у [17, 18]. Апроксимація поліномом другого степеня одержаного полігону частот здійснюється у загальному вигляді через рівняння $n = at^2 + bt + c$. У результаті виконання процедури П.4 визначаються первинні коефіцієнти a, b, c .

Процедура П. 5 має особливості розрахунків коригованих коефіцієнтів, показані на рис. 2.

Спочатку процедура будується виходячи з припущення, що в момент часу t_1 , який відповідає кінцю першого інтервалу, значення одержаної і скорегованої лінії апроксимації відрізняються на σ – середнє квадратичне відхилення числа виявлених дефектів.

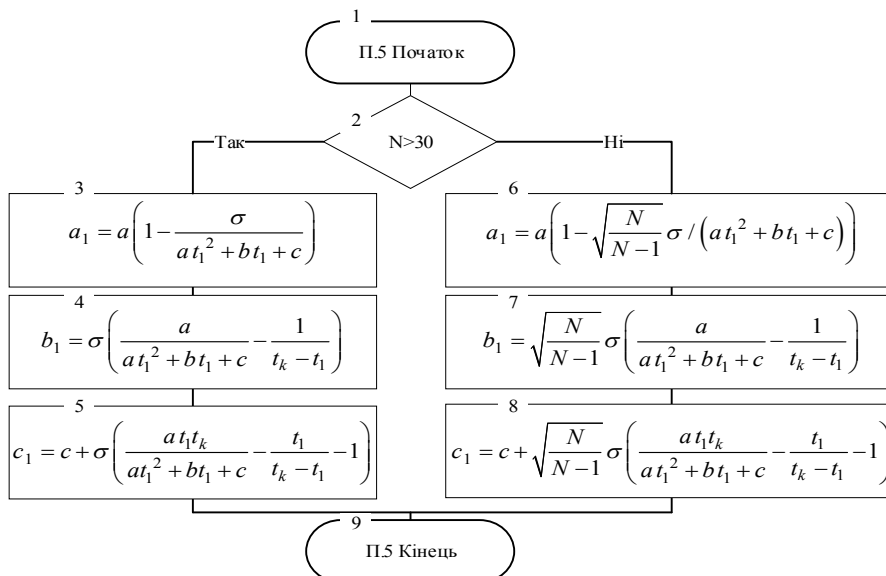


Рис. 2. Алгоритм процедури П.5 визначення коригованих коефіцієнтів апроксимації

Коефіцієнт a_1 при t^2 у рівнянні зміщеної лінії апроксимації визначається з пропорції

$$(n_1 - \sigma) / n_1 = \dot{a}_1 / a. \quad (3)$$

Далі, виходячи з припущення, що нескоригована і скоригована лінії апроксимації перетинаються в момент часу t_k , що відповідає кінцю останнього інтервалу часу, коефіцієнти b_1 і c_1 скоригованої лінії апроксимації знаходять з системи рівнянь

$$\begin{cases} a_1 t_1^2 + b_1 t_1 + c_1 = n_1 - \sigma, \\ a_1 t_k^2 + b_1 t_k + c_1 = n_k, \end{cases} \quad (4)$$

де n_k – значення апроксимуючої функції в момент часу t_k . Розв'язавши систему (4), а також, врахувавши пропорцію (3) послідовно знаходимо коефіцієнти зміщеної лінії апроксимації

$$a_1 = a(n_1 - \sigma) / n_1. \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{n_k - n_1 + \sigma}{t_k - t_1} - \frac{a(n_1 - \sigma)(t_k + t_1)}{n_1}. \quad (6)$$

$$c_1 = n_1 - \sigma + \frac{a t_1 t_k (n_1 - \sigma)}{n_1} - \frac{(n_k - n_1 + \sigma) t_1}{t_k - t_1}. \quad (7)$$

Виключаючи у рівностях (5)-(7) n_1 і n_k та провівши ряд тотожних перетворень, отримуємо коефіцієнти скоригованої лінії апроксимації поліномом другого степеня, вказані у блоках П.5.3, П.5.4 та П.5.5. При малих вибірках, коли їх об'єм N не перевищує 30 при знаходженні середнього квадратичного відхилення вносять поправку Бесселя. З урахуванням поправки Бесселя рівності (5)-(7) набудуть вигляду, вказаного у блоках П.5.6, П.5.7 та П.5.8. Число вторинних дефектів на кожному часовому інтервалі у процедурі П.6 (рис. 1) визначається як

$$n^{BH} = n_i - n_i^*, \quad i = \overline{1, k}, \quad (8)$$

де n_i – частота i -го часового інтервалу варіаційного ряду, що характеризує кількість дефектів, виявлених за цей період, n_i^* – значення скоригованої лінії апроксимації поліномом другого степеня

$$n_1 = a_1 t^2 + b_1 t + c_1.$$

Результат, обчислений за формулою (8), округлюється до цілих. Якщо $n^{BH} < 0$, то вважається, що на відповідному часовому інтервалі вторинні дефекти відсутні. Припущення, що в момент часу t_1 , який відповідає кінцю першого інтервалу часу, значення одержаної і скоригованої ліній апроксимації поліномом другого степеня відрізняється на величину середнього квадратичного відхилення числа виявлених

дефектів ґрунтується на тому, що середнє квадратичне відхилення є характеристикою міри розсіяння значень випадкової величини від вибіркового середнього.

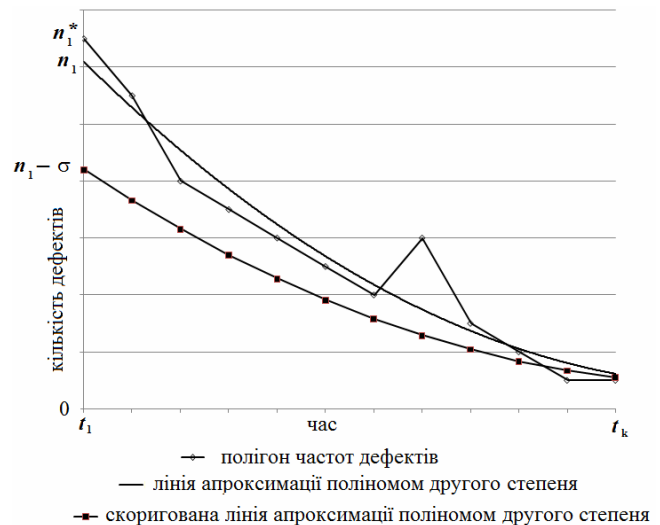


Рис. 3. Полігон частот дефектів, лінія апроксимації поліномом другого степеня та скоригована лінія апроксимації поліномом другого степеня

Виходячи з того, що на початкових етапах тестування ПЗ ймовірність внесення вторинних дефектів більша, оскільки більше число виявлених дефектів і, як наслідок, проводиться більше роботи, спрямованої на їх усунення, різниця між відповідними значеннями ліній апроксимації і скоригованої лінії апроксимації більша, а зі збільшенням t ця різниця зменшується. У момент часу t_k ці значення збігаються. Це впливає з припущення, що на останньому етапі тестування всі виявлені дефекти усунуті (рис. 3).

Висновки

Одержані коефіцієнти рівняння зміщеної лінії апроксимації поліномом другого степеня для оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів без урахування та з урахуванням поправки Бесселя. Результат отримано шляхом порівняння значень зміщеної апроксимуючої функції полігону дефектів та відповідних значень частот дефектів.

Одержані результати дозволяють проводити кількісну оцінку вторинних дефектів при використанні моделей, функції ризику яких містять параметри другого степеня.

Подальші дослідження використання апроксимуючих функцій для кількісної оцінки вторинних дефектів за статистичними даними слід спрямувати на аналіз аналітичних функцій ризику та припущень МНПЗ та можливість використання інших функцій апроксимації статистичних даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Theocharidou, M. Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach [Електронний ресурс] / M. Theocharidou, G. Giannopoulos // Scientific and Technical Research Reports. – 2015. – Режим доступу до ресурсу : <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC96623>.
- Брежнев Е.В. Риск-анализ множественных отказов в инфраструктурах [Текст] / Е. В. Брежнев // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. / М-во оборони України, Харківський ун-т Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Харків, 2011. – Вип. 5 (95). – С. 261–264.

3. Липаев В.В. Надежность и функциональная безопасность комплексов программ реального времени. – М: РАН, 2013. 176 с.
4. Поночовний Ю. Л. Методологія забезпечення гарантоздатності інформаційно-керуючих систем з використанням багатоголливих стратегій обслуговування / Ю. Л. Поночовний, В. С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. - 2020. - № 3. - С. 43–58.
5. International standard ISO/IEC FDIS 25010. System and software quality models. – 2010, 34 p.
6. International Electrotechnical Commission. (2015-02-26). IEC 60050-192. International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability. [Online]. Available: <https://webstore.iec.ch/publication/21886>.
7. Peng R., Liu J. Simulated Software Testing Process Considering Debuggers with Different Detection and Correction Capabilities. *International Journal of Performance Engineering*, Vol. 13, no. 3, 2017, 334-336
8. Гордеев А.А. Элементы методологии профилоориентированного оценивания качества программного обеспечения информационных систем” / А.А. Гордеев, В. С. Харченко // *Проблеми інформатизації та упр.: зб. наук. пр.*. – 2014. – № 3, вип. 47 – С. 24-30.
9. Гордеев А.А. Модель качества отдельного требования программного обеспечения / А.А. Гордеев // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2020. – № 2. – С. 48-58. doi: 10.32620/reks.2020.2.04.
10. CASE-оценка критических программных систем. Т. 2. Надежность [Монография] / Одарушенко О.Н., Харченко В.С., Маевский Д.А. и др. – Под ред. Харченко В.С. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, 2012. – 292 с.
11. Одарушенко О.Н. Метод оценивания надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / О.Н. Одарушенко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2012. – № 7 (59). – С. 294-300.
12. Маевський Д.А. Структурна динаміка програмних систем і прогнозування їх надійності при наявності вторинних дефектів / Д.А. Маевський // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2010. – № 3 (44). – С. 103-109.
13. Маевский Д. А. Использование теории временных рядов для выделения вторичных ошибок на этапе тестирования программного обеспечения / Д.А. Маевский, О.П. Жеков // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2011. – № 2 (16). – С. 82-85.
14. Мищенко В.О. Термодинамический подход к моделированию процесса роста надежности программных средств с учетом «вторичных дефектов» / В.О.Мищенко // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. – 2015. – Вип. 28. – С. 91-106.
15. Руденко О.А. Оцінювання кількості вторинних дефектів програмних засобів шляхом комплексування модифікованих моделей росту надійності Джелінські-Моранди і Шика-Волвертона / О.А. Руденко, О.М. Одарушенко, З.М. Руденко, О.Б. Одарушенко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2020. – Вип. 1 (59). – С. 97-100.
16. Rudenko O., Odarushchenko E., Rudenko Z., Rudenko M., “The Secondary Software Faults Number Evaluation Based on Correction of the Experimental Data Exponential Line Approximation“, *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018*, Kyiv, 2018, pp. 401-405.
17. Руденко О.А. Знаходження параметрів скоригованої лінії експоненціальної апроксимації експериментальних даних виявлених дефектів при оцінюванні кількості вторинних дефектів програмних засобів / О.А. Руденко, З.М. Руденко, Г.В. Головка, О.Б. Одарушенко // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – Випуск 6 (52). – С. 74-78.
18. Shtompel, M., Prykhodko, S., Shefer, O., Halai, V., Zakharchenko, R., & Topikha, B. (2020). Performance analysis of the bioinspired method for optimizing irregular codes with a low density of parity checks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(9 (108), 34–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.216762>
19. Yamada S., Ohba M., Osaki S. S-shaped software reliability grows modeling for software error detection // *IEEE Trans. Reliability*. - 1983. - R-32. - № 5. - P. 475-518.
20. Ohba M. Software Reliability Models // *IBM J. Res. Develop.* - 1984. - 28. - № 4. - P. 428-443.

Received (Надійшла) 11.12.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 10.02.2021

Algorithm for determining the number of secondary software faults by adjusting of the approximating coefficients of second degree polynomial

O. Rudenko, O. Shefer, Y. Ponochovniy

Abstract. The article proposes procedures that allow to determine the correction factors to approximate the curve of change of detected software faults. It is determined that when assessing the reliability of software, secondary faults are not taken into account, which are additionally introduced in the process of testing and debugging. The influence of secondary faults on the characteristic of software reliability and quality of software in general is shown. Emphasis is placed on the need to take into account secondary faults in the study of time series, in which the manifestation of such faults stand out from the whole flow of events; when simulating failures in hardware and software complexes and systems; to modify risk functions when assessing the reliability of software; in the dynamic analysis of complex software systems at different stages of their life cycle, including their debugging, modification and maintenance. It is shown that the shift of the graph of the approximating polynomial with respect to the faults frequency polygon allows to quantify the secondary faults. The choice of a polynomial to approximate the trend of defects in the case of assessing the reliability of software models with risk functions containing components of the second degree is substantiated. The main stages of successive displacement of the approximation line in the context of the algorithm for finding the correction factors are given. The use of the Bessel correction for small-scale fault frequency landfill sampling is justified. An example of estimating the number of secondary faults introduced during software debugging using a corrected trend as a second-order polynomial is given.

Keywords: second degree polynomial approximation, coefficients for correction, software quality and reliability, secondary fault, fault frequency range, software reliability assessment model.