

Applied Use of a Method for Recovering Critical Services of an Information System on a Mobile Platform under Controlled Reduction of Its Functionality

Tkachov Vitalii
Department of Electronic Computers
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vitalii.tkachov@nure.ua

Abstract. The paper considers the application of a method for recovering critical services of an information system on a mobile platform, using the onboard information system of a drone group as an example under intermittent connectivity and controlled functional degradation. It is shown that selecting recovery steps feasible within the current connectivity window makes it possible to reduce the deficit in meeting threshold QoS requirements and shorten the period of reduced functioning of critical services.

Keywords: critical service, information system on a mobile platform, drone, connectivity window, service recovery.

Прикладне використання методу відновлення критичних сервісів інформаційної системи на мобільній платформі за керованого зниження її функціональності

Ткачов Віталій Миколайович
Кафедра електронних обчислювальних машин
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vitalii.tkachov@nure.ua

Анотація. У тезах розглянуто застосування методу відновлення критичних сервісів інформаційної системи на мобільній платформі на прикладі бортової інформаційної системи групи дронів за переривчастою зв'язністю та керованого зниження функціональності. Показано, що відбір кроків відновлення, здійснених у поточному вікні зв'язності, дає змогу зменшувати дефіцит виконання порогових вимог до показників якості обслуговування та скорочувати тривалість періоду зниженого рівня функціонування критичних сервісів.

Ключові слова: критичний сервіс, інформаційна система на мобільній платформі, дрон, вікно зв'язності, відновлення сервісів.

ВСТУП

Бортову інформаційну систему групи дронів у цій роботі доцільно розглядати як інформаційну систему на мобільній платформі (ІСМП). Для ІСМП склад доступних

сервісів і порядок їх відновлення визначаються спільною дією обчислювальних, енергетичних, мережних обмежень мобільної платформи та переривчастою зв'язністю між вузлами [1-4]. Для ІСМП втрата частини ресурсу або переривання обміну даними спричиняють порушення узгодженості сервісного стану, зміну доступних профілів функціонування та появу дефіциту виконання порогових вимог до показників якості обслуговування [1], [2], [5]. За цих умов повернення критичних сервісів до працездатного стану слід розглядати як окрему задачу керування в ІСМП, де рішення визначається наявним ресурсом, параметрами поточного інтервалу доступного обміну та потребою завершити узгодження стану сервісів до завершення цього інтервалу [1-4].

В умовах реальної експлуатації групи дронів підтримання критичного набору сервісів часто досягається шляхом керованого зниження функціональності другорядних

компонентів, що дає змогу вивільнити ресурс для каналів керування, телеметрії, координації та синхронізації стану [2, 5, 6-8]. Однак вихід із такого стану потребує окремого механізму відновлення: запуск переходу без перевірки його завершеності в межах доступного інтервалу обміну призводить до незавершених узгоджувальних обмінів, зтягує повернення сервісів до допустимих профілів і збільшує накопичений дефіцит якості обслуговування [2], [5]. Саме тому для бортової інформаційної системи групи дронів доцільним є застосування методу відновлення критичних сервісів, у якому крок відновлення допускається до виконання лише за умови ресурсної здійсненності та можливості повного завершення узгодження стану в межах поточного інтервалу доступного обміну [2].

ПРИКЛАДНА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВІДНОВЛЕННЯ КРИТИЧНИХ СЕРВІСІВ У БОРТОВІЙ ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ГРУПИ ДРОНІВ

У прикладному аспекті для групи дронів до критичних сервісів доцільно віднести обмін керувальними повідомленнями, синхронізацію навігаційного стану, передавання телеметрії та координацію групового переміщення. До сервісів, функціональність яких може бути тимчасово знижена, належать передавання відеопотоку, фонове архівування, другорядна аналітика та передавання даних підвищеної деталізації. Такий поділ задає основу для керованого перерозподілу ресурсу в умовах порушення зв'язності, переважання каналів обміну або зменшення доступних обчислювальних та енергетичних можливостей мобільної платформи.

Перехід до керованого зниження функціональності дає змогу зберегти працездатність критичних сервісів, однак не розв'язує задачу їх подальшого повернення до вищих профілів функціонування. Після стабілізації ресурсу та появи чергового вікна зв'язності виникає окрема задача відновлення, у межах якої для кожного критичного сервісу необхідно визначити доцільність і здійсненність відповідного кроку підвищення профілю. У цій постановці визначальними є дві групи обмежень: достатність ресурсу на платформі та можливість завершення узгодження стану сервісу до завершення поточного вікна зв'язності.

Для групи дронів така умова має прикладний зміст, оскільки часткове виконання переходу без завершення узгодження стану не забезпечує стійкого повернення сервісу до працездатного режиму. У такому разі накопичується невиконаний обсяг службового обміну, затримується відновлення телеметрії та координації, а після короточасного поліпшення можливе повторне порушення вимог до показників якості обслуговування. Тому задача полягає у виборі такого порядку відновлення, за якого кожний дозволений крок приводить до фактичного зменшення дефіциту критичних сервісів.

Отже, прикладна постановка задачі для групи дронів полягає у формуванні послідовності кроків відновлення критичних сервісів після керованого зниження функціональності за умови, що ці кроки узгоджені з ресурсними обмеженнями платформи та параметрами поточного вікна зв'язності. Саме така постановка дає змогу перейти від загального опису відновлення до керованої процедури, орієнтованої на зменшення дефіциту виконання порогових вимог до показників якості обслуговування без накопичення незавершених узгоджувальних обмінів.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ВІДНОВЛЕННЯ КРИТИЧНИХ СЕРВІСІВ У РЕЖИМІ КЕРОВАНОГО ЗНИЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ

У дослідженні під відновленням доцільно розуміти керований процес повернення критичних сервісів до

працездатних профілів після переходу ІСМП до зниженого рівня функціональності. У такому стані частина некритичних сервісів переводиться у спрощені режими для вивільнення ресурсів платформи, тоді як критичні сервіси підтримуються на мінімально допустимому рівні працездатності. Для формалізації потреби у відновленні для кожного критичного сервісу s визначається дефіцит виконання порогової вимоги до показника якості обслуговування:

$$d_s(t) = \max\{0, Q_s^p - Q_s(t)\}, \quad (1)$$

де $Q_s(t)$ – поточне значення показника якості обслуговування сервісу; Q_s^p – порогове допустиме значення показника $Q_s(t)$.

Якщо у (1) $d_s(t) > 0$, то сервіс перебуває у дефіцитному стані та потребує відновлення. Для групи дронів це означає, що рішення про відновлення має спиратися на вимірюване відхилення критичних сервісів від допустимого рівня функціонування.

Подальше відновлення виконується послідовністю дискретних кроків, кожний з яких підвищує профіль окремого критичного сервісу. На початку кожного вікна зв'язності формується множина можливих кроків A_k . Для кожного кроку $a \in A_k$ визначаються:

- додаткова потреба в ресурсах $\Delta r(a)$ як вектор приросту споживання процесорного часу, оперативної пам'яті та енергетичного запасу, необхідного для переведення сервісу на вищий профіль функціонування;
- обсяг службового обміну $h(a)$ як сумарний обсяг даних, що мають бути передані між компонентами платформи для завершення узгодження стану сервісу після виконання кроку відновлення;
- зменшення дефіциту $\Delta d(a)$ як різниця між дефіцитом сервісу до виконання кроку та дефіцитом після його завершення.

Множина кроків відновлення, здійснених у поточному вікні зв'язності, задається так:

$$A_k^* = \{a \in A_k \mid \Delta r(a) \leq \bar{R}_k, h(a) \leq C_k\}, \quad (2)$$

де \bar{R}_k – вектор незайнятих ресурсів платформи на початку вікна зв'язності w_k ; C_k – граничний обсяг даних, який може бути переданий у межах поточного вікна зв'язності за його тривалості та пропускну здатності.

Формула (2) відображає ключову властивість методу: до виконання допускаються лише ті кроки відновлення, які є одночасно здійсненими за наявного ресурсу та можуть бути повністю завершені в межах поточного вікна зв'язності.

Із множини A_k^* у кожному вікні формується множина кроків відновлення A_k^+ , що забезпечує найбільше зменшення сумарного дефіциту критичних сервісів за поточних обмежень:

$$A_k^+ = \arg \max_{A \subseteq A_k^*} \sum_{a \in A} \Delta d(a), \quad (3)$$

за умов:

$$\sum_{a \in A} \Delta r(a) \leq \bar{R}_k, \quad \sum_{a \in A} \Delta h(a) \leq C_k.$$

Така постановка відповідає режиму керованого зниження функціональності, оскільки за відсутності здійснених кроків відновлення ІСМП може тимчасово знизити профілі некритичних сервісів для додаткового вивільнення

ресурсу, після чого відбір кроків за (2)–(3) повторюється. На практиці це означає, що в групі дронів відновлення критичних сервісів виконується лише тоді, коли відповідний перехід може бути повністю завершений без накопичення незавершених узгоджувальних обмінів.

Для оцінювання інтегрального ефекту відновлення на інтервалі функціонування доцільно використовувати накопичувальний дефіцит критичних сервісів:

$$D_{\Sigma} = \sum_{k=1}^K \sum_{s \in S_{\varepsilon}} \omega_s d_s(w_k), \quad (4)$$

де S_{ε} – множина критичних сервісів; ω_s – коефіцієнт пріоритету сервісу s , який встановлюється відповідно до ролі сервісу у виконанні групового завдання; K – кількість розглянутих вікон зв'язності.

Зменшення величини D_{Σ} (4) свідчить про скорочення тривалості та глибини періодів зниженого рівня функціонування критичних сервісів у групі дронів. Отже, застосування методу в режимі керованого зниження функціональності дає змогу відсікати перебудови конфігурації ІСМП, які формально допустимі за ресурсом, але не може бути завершена в межах поточного вікна зв'язності, та забезпечує більш упорядковане повернення критичних сервісів до працездатних профілів.

На рис. 1 наведено динаміку накопичувального дефіциту критичних сервісів у послідовності вікон зв'язності для базового режиму та запропонованого методу. Базовий режим допускає виконання відновлювальних дій без повної перевірки можливості завершення узгодження стану в межах поточного вікна зв'язності, тоді як у запропонованому методі зменшення дефіциту відбувається лише для кроків відновлення, здійснених у поточному вікні зв'язності. Це зумовлює більш упорядковану траєкторію відновлення, за якої накопичувальний дефіцит зменшується швидше та без додаткових затримок, пов'язаних із незавершеними переходами.

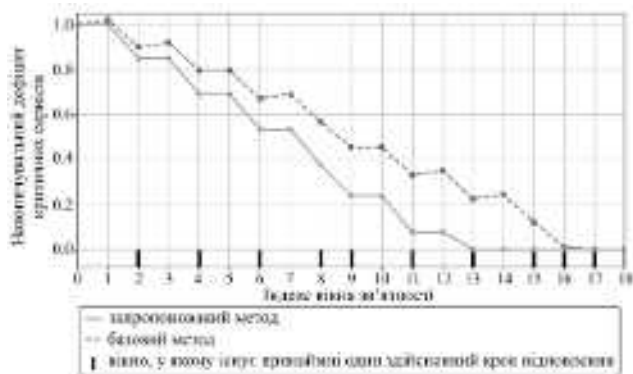


Рис. 1. Динаміка накопичувального дефіциту критичних сервісів у вікнах зв'язності для базового режиму та запропонованого методу

З графіка (рис. 1) видно, що для запропонованого методу зниження накопичувального дефіциту починається раніше та досягає нульового рівня за меншу кількість вікон зв'язності. У базовому режимі спад дефіциту є повільнішим, оскільки частина кроків відновлення виконується в умовах, за яких поточне вікно зв'язності не забезпечує повного завершення узгодження стану сервісів. Отже, наведений результат підтверджує, що відбір кроків відновлення, здійснених у поточному вікні зв'язності, є доцільним для бортової інформаційної системи групи

дронів, оскільки дає змогу скорочувати тривалість періоду зниженого рівня функціонування та зменшувати накопичувальний дефіцит критичних сервісів.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто прикладне використання методу відновлення критичних сервісів у бортовій інформаційній системі групи дронів, що функціонує за переривчастої зв'язності, обмеженого ресурсу та керованого зниження функціональності. Показано, що для ІСМП відновлення критичних сервісів доцільно реалізовувати як послідовність дискретних кроків підвищення сервісних профілів, які допускаються до виконання лише за умови достатності ресурсу та можливості завершення узгодження стану сервісів у межах поточного вікна зв'язності. Це дає змогу уникати незавершених відновлювальних переходів, зменшувати дефіцит виконання порогових вимог до показників якості обслуговування та скорочувати тривалість періоду зниженого рівня функціонування критичних сервісів. Отримані положення доцільно використовувати під час побудови механізмів відновлення сервісів у розподілених бортових інформаційних системах груп дронів та інших мобільних вузлів, для яких характерні вікна зв'язності зі змінною тривалістю та пропускну здатністю.

Дослідження проведені на базі науково-дослідної лабораторії реконфігурованих і мобільних систем кафедри електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рубан І.В. Модель міжрівневих порушень та політик відновлення інформаційної системи на мобільній платформі / І.В. Рубан, В.М. Ткачов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2025. – № 3 (88). – С. 204–221.
2. Tkachov V. Method Of Restoring Critical Information System Services On A Mobile Platform Under Conditions Of Controlled Degradation / V. Tkachov // Management Information System and Devices. – 2026. – No. 188. – P. 78–97.
3. Resilience in Edge Computing: Challenges and Concepts / Doğanalp Ergenç et al. // Foundations and Trends® in Networking. – 2025. – Vol. 14, no. 4. – P. 254–340.
4. Zhang X. Resource Management in Mobile Edge Computing: A Comprehensive Survey / X. Zhang, S. Debroy // ACM Computing Surveys. – 2023. – Vol. 55, no. 13s, Article No 291. – P. 1–37.
5. Integrating Graceful Degradation and Recovery through Requirement-driven Adaptation / S. Chu et al. // SEAMS '24: 19th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems, Lisbon AA Portugal. – New York, NY, USA, 2024. – P. 122–132.
6. Resilient Task Allocation for UAV Swarms: A Bilevel PSO-ILP Optimization Approach / Y. Zeng et al. // Drones. – 2025. – Vol. 9, no. 9, Article No 623.
7. Pysarenko A. Hexacopter-Based Cyber-Physical System for Water Sampling with Adaptive Path Planning and Multi-Drone Coordination / A. Pysarenko, O. Rolik // Information, Computing and Intelligent Systems. – 2025. – No. 6. – P. 58–74.
8. Methods and Software Tools for Reliable Operation of Flying LiFi Networks in Destruction Conditions / H. Fesenko et al. // Sensors. – 2024. – Vol. 24, no. 17, Article No 5707.