

В. В. Телегін, М. А. Кошкін, В. В. Шульга, І. Ю. Клабан

АНАЛІЗ ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ОБРОБКИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ LINUX В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОГО ПОТОКУ ДАНИХ

Анотація. Розглянуто задачу оцінювання продуктивності систем обробки радіолокаційної інформації, побудованих на програмній платформі з ядром Linux. Показано, що обробка радіолокаційної інформації є потоково-орієнтованою задачею з обмеженнями за часом, у якій функціонально відмінні етапи обробки створюють навантаження на різні апаратні компоненти, а відомі дослідження продуктивності Linux-платформ виконані для синтетичних навантажень. Обґрунтовано методику аналізу навантаження апаратних компонентів при незмінній конфігурації платформи та керованій інтенсивності вхідного потоку, визначено перелік досліджуваних чинників, показників і критеріїв виявлення вузького місця.

Ключові слова: радіолокаційна інформація; операційна система Linux; продуктивність; апаратні ресурси; ASTERIX.

Abstract. The paper addresses the problem of evaluating the performance of radar data processing systems built on a Linux-kernel software platform. Radar data processing is shown to be a stream-oriented task with timing constraints, in which functionally distinct processing stages load different hardware components, whereas known studies of Linux platform performance were carried out for synthetic workloads. A methodology is substantiated for analysing the load on hardware components under a fixed platform configuration and a controlled input stream intensity; the set of factors, indicators and bottleneck identification criteria is defined.

Keywords: radar data; Linux operating system; performance; hardware resources; ASTERIX.

Вступ

Автоматизовані системи управління підрозділами протиповітряної оборони функціонують в умовах безперервного надходження радіолокаційної інформації (РЛІ) від джерел, що працюють у реальному часі. Застосування у складі таких систем програмних платформ на базі ядра Linux зумовлене можливістю аудиту вихідного коду, відсутністю ліцензійних обмежень на тиражування та контролем над складом і термінами оновлення програмного забезпечення. Водночас придатність платформи визначається не лише її функціональними можливостями, а й здатністю обробляти потік РЛІ у темпі його надходження.

Обробка РЛІ належить до потоково-орієнтованих задач з обмеженнями за часом: темп надходження повідомлень задається періодом огляду джерела, а сумарна затримка обробки повинна залишатися меншою за інтервал оновлення даних. Порушення цієї умови спричиняє накопичення черги необроблених повідомлень, зростання затримки відображення обстановки та втрати повідомлень.

Тракт обробки охоплює чотири функціонально відмінні етапи: первинну обробку, що полягає у виявленні відміток і формуванні цільових звітів; вторинну обробку, у межах якої виконується зав'язка та супровід трас за даними одного джерела; третинну обробку, що передбачає об'єднання даних кількох джерел у єдину картину обстановки; відображення обстановки на робочому місці оператора. Кожен етап створює навантаження переважно на різні апаратні компоненти, тому продуктивність системи визначається співвідношенням рівнів їхнього завантаження.

Відомі дослідження продуктивності Linux-платформ не охоплюють цієї задачі. У роботі [1] виконано порівняльне оцінювання дистрибутивів Linux за показниками процесора, оперативної пам'яті, графічної підсистеми та накопичувача, проте навантаження формувалося синтетичними тестовими засобами, не пов'язаними з потоковою обробкою даних. У роботі [2] досліджено вплив файлових систем Linux на продуктивність контейнеризованих середовищ і обґрунтовано протокол забезпечення відтворюваності вимірювань, однак предметом дослідження є дискова підсистема. У роботі [3] узагальнено методи оптимізації мережних операційних систем і запропоновано багатоканальну модель спостереження за їх станом, орієнтовану на серверну інфраструктуру. Таким чином, потребує подальшого дослідження комплексне оцінювання взаємозв'язку між інтенсивністю вхідного потоку радіолокаційної інформації, навантаженням апаратних компонентів і пропускну здатністю програмної платформи на базі Linux із використанням повідомлень ASTERIX.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні методики аналізу навантаження апаратних

компонентів платформи на базі операційної системи з ядром Linux при обробці РЛП в умовах інтенсивного потоку даних.

Результати дослідження

До переліку чинників, що визначають продуктивність системи обробки РЛП, віднесено чотири апаратні компоненти, кожен з яких відповідає за окрему функцію тракту обробки. Їхній перелік, функціональне призначення та показники, за якими оцінюється завантаження, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Чинники, що визначають продуктивність системи обробки РЛП

Компонент	Функція у тракті обробки РЛП	Показники, які варто врахувати
Мережева карта	Приймання потоку повідомлень від джерел РЛП	Пропускна здатність, швидкість приймання пакетів, помилки й втрати, завантаження інтерфейсу
Центральний процесор	Декодування повідомлень, первинна, вторинна і третинна обробка	Завантаження за ядрами, використання системного та користувацького часу, час обробки повідомлень, довжина черги
Оперативна пам'ять	Буферизація потоку, зберігання таблиць трас	Використана й доступна пам'ять, використання swap, ознаки дефіциту пам'яті
Графічна підсистема	Формування та відображення картини обстановки	Завантаження GPU, використання відеопам'яті, час формування та відображення кадру

Запропонована методика передбачає фіксовану конфігурацію платформи: склад апаратних засобів і налаштування операційної системи залишаються незмінними протягом усієї серії експериментів, а керованим параметром є інтенсивність вхідного потоку РЛП. Це дозволяє віднести зміну показників завантаження саме до зростання потоку, а не до відмінностей у конфігурації.

Для формування тестового потоку використовується генератор повідомлень ASTERIX категорій 048 і 034, що дає змогу моделювати надходження цільових звітів і службових повідомлень монорадіолокаційного джерела. Ступінь відповідності тестового потоку реальним умовам визначається за характеристиками його інтенсивності, структури та часових закономірностей надходження повідомлень.

Реєстрація показників завантаження виконується системою моніторингу Zabbix [6], яка забезпечує періодичний збір метрик з контрольованого вузла, їх збереження у вигляді часових рядів і аналіз динаміки. Застосування системи моніторингу замість разових вимірювань дозволяє фіксувати момент настання насичення компонента.

Порядок проведення експерименту передбачає серію вимірювань при послідовному збільшенні інтенсивності вхідного потоку. На кожному ступені витримується інтервал, достатній для виходу системи на стаціонарний режим, після чого показники усереднюються за серією ітерацій. Перед кожним вимірюванням відтворюються ідентичні початкові умови; необхідність такого протоколу для забезпечення відтворюваності обґрунтована в [2, 7].

Вузьким місцем системи вважається апаратний або програмно-апаратний компонент, обмеження якого за певної інтенсивності вхідного потоку призводить до зниження приросту пропускної здатності, стійкого зростання черги необроблених повідомлень або збільшення затримки обробки. Визначення конкретного вузького місця здійснюється на підставі сукупності показників завантаження ресурсів і часових характеристик обробки.

Гранична інтенсивність обробки потоку за заданих вимог до продуктивності приймається інтенсивність, за якої виникає стійке зростання черги необроблених повідомлень або втрати на мережевому інтерфейсі. Придатність платформи оцінюється порівнянням визначеної межі з очікуваною інтенсивністю потоку від джерел РЛП.

Обмеженням методики є те, що система моніторингу реєструє завантаження апаратних компонентів, але не вимірює затримку обробки окремого повідомлення, тому часові характеристики тракту потребують додаткових засобів інструментування програмного забезпечення.

Висновки

Сформульовано задачу аналізу навантаження апаратних компонентів платформи на базі операційної системи з ядром Linux при обробці РЛП та показано, що відомі дослідження продуктивності Linux-платформ її не охоплюють, оскільки виконані для синтетичних

навантажень.

Обґрунтовано методику дослідження, що передбачає фіксовану конфігурацію платформи, кероване зростання інтенсивності вхідного потоку у форматі ASTERIX категорій 048 і 034, реєстрацію показників завантаження засобами системи моніторингу та усереднення результатів за серією ітерацій при ідентичних початкових умовах. Визначено перелік досліджуваних чинників, показники їхнього завантаження та критерії виявлення вузького місця і межі масштабування.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на проведення вимірювань за обґрунтованою методикою та на доповнення її засобами інструментування програмного забезпечення для вимірювання затримки обробки повідомлення.

Список використаних джерел:

1. Boras M., Balen J., Vdovjak K. Performance Evaluation of Linux Operating Systems. International Conference on Smart Systems and Technologies (SST 2020). Osijek, Croatia, 2020. P. 115–120. DOI: 10.1109/SST49455.2020.9264055. Ткаченко М. М. Інформаційна технологія автоматизованого тестування впливу файлових систем Linux на продуктивність контейнеризованих середовищ : кваліфікаційна робота магістра. Суми : Сумський державний університет, 2025. 155 с.
2. Голубенко О. І., Лемешко А. В., Антоненко А. В., Ляшук М. А. Сучасні методи оптимізації мережних операційних систем. IT Synergy. 2025. Вип. 1;2(8;9). С. 141–153. DOI: 10.53920/ITS-2025-1;2-11.
3. EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange. ASTERIX Part 4. Category 048. Monoradar Target Reports. Edition 1.32. EUROCONTROL, 2024.
4. EUROCONTROL Specification for Surveillance Data Exchange. ASTERIX Part 2b. Category 34. Monoradar Service Messages. Edition 1.29. EUROCONTROL, 2021. Zabbix Documentation : веб-сайт. URL: <https://www.zabbix.com/documentation/current/en> (дата звернення: 24.10.2026).
5. Gregg B. Systems Performance: Enterprise and the Cloud. 2nd ed. Addison-Wesley, 2020.

Телегін Владислав Васильович – курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: lirmedium13467913@gmail.com.

Кошкін Максим Анатолійович – курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: makk4571@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2498-1016>.

Шульга Владислав Васильович – старший викладач Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: v.shulha@m.hnups.mil.gov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8981-3214>.

Клабан Ілля Юрійович – слухач штатний Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: illya4244@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8774-9730>.

Vladyslav Vasyliovych Telehin – cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: lirmedium13467913@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9546-7625>

Maksym Anatoliiovych Koshkin – cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: makk4571@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2498-1016>.

Vladyslav Vasyliovych Shulha – Senior Lecturer at Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: v.shulha@m.hnups.mil.gov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8981-3214>

Ilya Yuriiovych Klaban – Full-time student at Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: illya4244@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8774-9730>.