

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Станко Петро Олександрович



УДК 629.735.051:004.7 (043.3)

**МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ДИСЦИПЛІНИ
ОБСЛУГОВУВАННЯ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ
РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник Заслужений працівник освіти України,
доктор технічних наук, професор
Зіатдінов Юрій Кашафович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри комп'ютерних інформаційних
технологій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Опанасенко Володимир Миколайович,
Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України,
провідний науковий співробітник;

доктор технічних наук, професор
Яровий Андрій Анатолійович,
Вінницький національний технічний
університет МОН України,
завідувач кафедри комп'ютерних наук.

Захист відбудеться «27» квітня 2021 р. о 12⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.820.04 при Державному університеті інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного університету інфраструктури та технологій за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 19.

Автореферат розісланий «26» березня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради К 26.820.04



О.А. Герцій

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Створення сучасної інфраструктури передачі мультимедійної інформації (голос, дані, відео) є однією з найважливіших складових концепції сучасної цифрової економіки. Особливо актуально рішення цієї проблеми для країн з розвинутою промисловою, транспортною та телекомунікаційною інфраструктурою, до числа яких належить Україна

В сучасній комп'ютерній мережі крупного промислового підприємства з множиною філій і регіональних відділень використовуються операційні системи реального часу (ОС РЧ), канали передачі з різними фізичними принципами, різною швидкістю передачі, устаткування з великим розкидом технічних і експлуатаційних характеристик. Специфічними особливостями завдань обміну даними, що здійснюється через комп'ютерні та телекомунікаційні мережі, є вимога реалізації в реальному часі і, безумовно, забезпечення цілісності і конфіденційності даних, які передаються для керування розгалуженими виробничими процесами.

Такі системи особливо чутливі до ризиків затримки або втрати даних.

Головне підприємство, як правило, досить добре укомплектовано сучасними високошвидкісними комп'ютерними системами, а обмін даними здійснюється через мережі з відповідною продуктивністю, то мережі доступу регіональних відділень, дрібних філій і особливо термінальні вузли є повільними та недостатньо досконалими.

Використання апробованих підходів в управлінні якістю розробки і впровадження крупних виробничих програмних систем, узгоджених по ключовим параметрам з мережними комп'ютерними технологіями обміну даними, значно підвищує передбаченість проектів, знижує фінансові і ресурсні витрати, а головне – ризики порушення ритму роботи підприємств.

При впровадженні більш досконалих методів звернень до пам'яті, опитування елементів розподілених операційних систем та поточного формування каналів обміну даними вкрай небажано погіршувати зручність та ускладнювати процес використання електронних засобів промислового виробництва.

Вдосконалення апаратно-програмних засобів швидкого доступу, опитування та керування ОС РЧ, безпечного обміну даними у корпоративних мережах з використанням комбінованої системи виявлення та розпізнавання збоїв, фрагментації та розподіленої передачі даних у слабо захищених і зашумлених мережах, є актуальною задачею.

Зв'язок з науковими програмами, планами і темами. Тематика дисертаційної роботи та одержані результати безпосередньо пов'язані з «Основними науковими напрямками та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2019–2023 роки», виконана в межах наукового напрямку «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» визначеного пріоритетним у переліку актуальних проблем Міністерством освіти і науки України, концепції «Програми інформатизації

НАН України на 2020–2024 роки за основними її напрямками». Результати роботи відображені у звітах з науково-дослідних робіт, які виконувались у Національному авіаційному університеті, а саме НДР «Розробка, дослідження та впровадження методів і засобів контролю та управління якістю програмних продуктів» (тема № 2/28-248, 28.01.2013, шифр роботи ДІ 207-13, державний реєстр № 0113U000258, 2013–2014 рр.), НДР «Дослідження характеристик трафіку та параметрів комутаційного обладнання на основі аналізу обчислювальних мереж» (№ 78/09.01.03, 2008–2011 рр.), НДР «Метод та засіб управління якістю програмної системи на етапах життєвого циклу» (№ 18/10.02.05, 2011-2016 рр.), НДР «Метод та засіб проектування архітектури програмних систем із врахуванням вимог якості» (№ 75/09.01.03, 2016–2020 рр.), НДР «Методи і засоби забезпечення якості та цілісності програмних продуктів в гнучких технологіях проектування і розробки» (№ 20-2020/09.01.03, 2020–2023 рр.).

Роль автора у вказаній науково-дослідній роботі, в якій дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в розробці захищеної обробки подій у розподілених операційних системах комп'ютерних мереж з різними фізичними каналами передачі, аналізі існуючих методів оцінки і засобів забезпечення надійності і ефективності операційних систем реального часу, які використовуються у спеціалізованих комп'ютерних мережах промислових підприємств, а також установ та організацій критичного застосування, методів опрацювання інформації, аналізу та розробці мережних операційних систем жорсткого реального часу.

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є розробка апаратно-програмних методів оптимізації дисциплін обслуговування операційних систем реального часу, захищеної обробки подій у розподілених операційних системах комп'ютерних мереж з різними фізичними каналами передачі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Розглянути специфічні особливості створення, впровадження та експлуатації програмного забезпечення з підвищеною стійкістю до збоїв та затримок даних у процесі його функціонування;
2. Провести порівняльний аналіз методів опитування ОС РЧ, призначених для роботи інформаційно-обчислювальних систем та мереж виробничого призначення з гетерогенною структурою;
3. Розробити математичні моделі та методи порівняльного оцінювання якості технологій ОС РЧ м'якого та жорсткого реального часу з підвищеною стійкістю до збоїв та затримок даних;
4. Розробити комплексний метод тестування програмного забезпечення (ПЗ), виявлення аномалій у ключових параметрах ПЗ з використанням детерміністських та імовірнісних методів;
5. Розробити метод оптимізації дисципліни опитування ОС РЧ та розподілу даних через зашумлені мережі з великим розкидом пропускних спроможностей.

Об'єкт дослідження – процес опитування розподілених операційних систем реального часу з обміном даними через мережі з різними фізичними каналами передачі.

Предмет дослідження – математичні моделі та методи поточної оптимізації дисциплін обслуговування операційних систем комп'ютерів інформаційно-обчислювальної та керуючої системи критичного застосування для промислових підприємств.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні методів теорії оптимізації, теорії систем, теорії імовірностей та математичної статистики, системного аналізу та автоматизованого проектування.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше розроблено метод виявлення аномалій у роботі операційної системи реального часу з урахуванням раніше накопичених даних як апіорних відомостей у задачі перевірки статистичних гіпотез, що дозволяє із прийнятними похибками першого та другого роду виявляти нові аномальні явища у роботі ОС РЧ.

2. Вдосконалено метод оптимізації дисципліни опитування ОС РЧ та розподілу даних через зашумлені мережі з великим розкидом пропускних спроможностей. При застосуванні методу на 7% – 10% знижуються відносні втрати запитів на переривання та, відповідно, часові витрати.

3. Отримав подальший розвиток метод порівняльного оцінювання ключових параметрів ПЗ із урахуванням стійкості ПЗ до збоїв та затримок у роботі, завдяки чому можна уточнити вимоги до порівняльних характеристик ПЗ та їх відносної важливості

Практичне значення отриманих результатів

Теоретичні результати і висновки доведені до конкретних алгоритмів і обчислювальних програм. Результати теоретичних досліджень характеристик мережі доведені до конкретних аналітичних виразів. По цих виразах побудовані відповідні графіки, які зручно використовувати при аналізі характеристик комп'ютерних мереж різного масштабу і призначення.

1. За результатами теоретичних досліджень з'явилася можливість створення нової структури операційної системи реального часу з підвищеною стійкістю процесів обміну даними завдяки розподіленій передачі інформаційних пакетів. Задача розподілу та збору пакетів вирішується за допомогою стандартних протоколів транспортного або навіть мережного рівнів.

2. Результати досліджень методів комплексного аналізу та виявлення проблем ПЗ доведені до виразів у замкненій формі, використовуючи які, можна побудувати практичні засоби виявлення у апаратній або програмній реалізації.

3. Розроблені математичні моделі та результати розрахунків можуть після нескладних модифікацій бути використані на стадії проектування операційних систем м'якого та жорсткого реального часу для комп'ютеризованих диспетчерських систем різного масштабу та призначення (визначення критичних параметрів, підтримка функціонування мережі тощо).

Практичні результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Національного авіаційного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно. У роботах, написаних у співавторстві, автору належать: в [3] – розробка набору ключових параметрів ефективності з різними методами призначення пріоритетів трафіка; в [4] – виведено вирази для ентропійних характеристик різновидів трафіку; в [5] – запропоновано методику аналізу характеристик якості мережного програмного забезпечення.

Апробація результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на 4 наукових конференціях, серед яких: Міжнародні науково-технічні конференції «Комп’ютерні системи та мережні технології «CSNT» (м. Київ, Україна, 2009 р., 2011–2013 рр.); Міжнародні науково-технічні конференції IEEE «Computer Science & Information Technologies (CSIT) (м. Львів, Україна, 2013–2015 рр.); Міжнародні науково-практичні конференції студентів та молодих учених «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, Україна, 2012–2017 рр.); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2014» (м. Севастополь (АР Крим), Україна, 2014 р.) та ін.

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано у 8 друківаних наукових працях, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України, а також у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 4 тези доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації – 146 сторінок. Основний зміст викладено на 133 сторінках, який містить 17 рисунків та 8 таблиць. Список використаних джерел становить 85 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено проблему, що підлягає вирішенню, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету дослідження, визначено коло задач, що вирішуються, вказано на наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, наведено дані про їх апробацію та впровадження.

У **першому розділі** здійснено аналіз сучасного стану проблеми проектування, впровадження та застосування ОС РЧ, перспектив реалізації єдиного інформаційного простору на будь-якому об’єкті, контрольованому за допомогою комп’ютерної мережі.

Області застосування та специфічні особливості мережного програмного забезпечення полягають у наступному.

Однією з найбільш ефективних архітектур для побудови операційних систем реального часу вважається архітектура клієнт – сервер. Основним принципом такої архітектури є винесення сервісів ОС у вигляді серверів на рівень користувача, а мікроядро виконує функції диспетчера повідомлень

між клієнтськими користувача програмами і серверами - системними сервісами. Така архітектура дає масу плюсів з точки зору вимог до ОСРВ і вбудовуваним системам. Серед цих переваг можна відзначити наступні.

1. Підвищується надійність ОС, тому що кожен сервіс є, по суті, самостійним додатком, і його легше налагодити і відстежити помилки.

2. Така система краще масштабується, оскільки непотрібні сервіси можуть бути виключені з системи без шкоди її працездатності.

3. Підвищується відмовостійкість системи, тому що «Завис» сервіс може бути перезапущений без перезавантаження системи.

У даному розділі розглянуті ключові параметри та загальний функціонал ефективності ОС РЧ, встановлено послідовність етапів оптимізації, обрано основні параметри, що оптимізуються, зокрема:

- затримка передачі τ ;
- пропускна здатність C_p ;
- втрати пакетів при передачі даних L_p ;
- рівень безпеки та захисту даних при передачі по мережі D_{sp} ;
- якість мережного сервісу S_{Net} ;
- швидкість і надійність обміну файлами по протоколам *TCP/IP*, *UDP* тощо.

Розглянуто гіпотетичну мережу стандарту *QNX*; для розрахунків використовувалася програма множинного кореляційного аналізу, модифікована для даної задачі.

Результати кореляційного аналізу служать ключовим індикатором моніторингу та регулювання поточних даних і мережного сервісу. Це необхідно для забезпечення безпечної передачі інформації по мережі, прогнозування і запобігання перевантажень контрольованого мережного фрагмента. Таким чином, поточний моніторинг і управління рівнем безпеки в мережі, які є невід'ємною частиною завдання загального управління якістю сервісу, можна успішно здійснювати статистичними методами, зокрема, методом кореляційно-регресійного аналізу.

Проаналізовано загальний стан проблеми управління якістю сервісу ОС РЧ. За результатами проведеного аналізу поставлені основні завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі побудовано узагальнену модель та методи моніторингу програмного забезпечення, розглянуто 6 аспектів якості: функціональність, надійність, практичність, ефективність, здатність до супроводження та перенесення за стандартом ISO 9126. Проведений ретельний порівняльний аналіз методів моніторингу ОС загального призначення та ОС РЧ для виробничого програмного забезпечення, досліджені їх достоїнства та недоліки, обмеження кожного методу: Test-to-pass та test-to-fail; onTAP Boundary Scan Test; Microsoft Developer Network – Автоматизоване тестування, яке застосовується для тестування Web-застосунків; Структурне (статичне) тестування. Встановлено, що найбільш слабким місцем в плані надійності і захисту залишається операційна система, особливо коли розмір мережі стає надто великим.

Інтенсивність потоку службової інформації зростає квадратично (як добуток кількості вузлів на абсолютну величину топологічних змін). Зроблено висновок, що для тестування виробничого ПЗ потрібна система з декількох спеціально підібраних тестів.

Досліджені методи виявлення аномалій ПЗ, вивчені обмеження та намічені шляхи їх подолання.

Таким чином, розроблено новий варіант політики й методи управління дисциплінами обслуговування в операційних системах реального часу, а також розроблено комбінований алгоритм планування використання ресурсів виробничих комп'ютерних систем:

Дисципліна обслуговування з розділенням часу – альтернатива пакетній обробці.

Основна вимога до систем реального часу (СРЧ) – планування завдань за наявності часових обмежень, завдяки чому забезпечується виконання процесів за заздалегідь визначений інтервал часу.

Управління розподілом ресурсів – ефективне використання обчислювальних потужностей.

Статичні й динамічні алгоритми планування в СРЧ. Статичні алгоритми призначають кожному завданню фіксоване значення пріоритету, в динамічних алгоритмах пріоритет може змінюватися на етапі виконання завдань.

Досліджений комплекс можливих видів алгоритмів планування:

- по терміновості (EDF);
- по резерву часу (LLF);
- на підґрунті частотно-монотонного аналізу (RMA)..

Докладно досліджені причини зниження якості програмного забезпечення:

– величезний розмір ОС. Ядро Linux має понад 2,5 млн. рядків коду, а ядро різних модифікацій Windows, у декілька разів (як мінімум, в два рази) більше.

– погано забезпечена ізоляція помилок. Сучасна ОС містить сотні або навіть тисячі процедур, об'єднаних один з одним в одну бінарну програму, що працює в режимі ядра. Кожен з мільйонів рядків коду ядра може переписати основні структури даних, які використовують не пов'язані з цим кодом компоненти, що приводить до збою системи, з'ясувати причини якого вкрай складно.

– зростання числа уразливостей ОС РЧ в цілому та виробничого ПЗ зокрема.

– людський фактор.

Проведено комп'ютерні розрахунки характеристик та атрибутів якості ПЗ.

Висока надійність мережі та швидкість передавання даних забезпечуються завдяки толерантності до затримок. Ця задача є не тривіальною внаслідок її неоднозначності та суперечливості критеріїв оптимальності, але її принципово можна розв'язати методами багатокритеріальної оптимізації, наприклад, нелінійної згортки критеріїв (рис. 1–4).

Характеристики і атрибути якості програмного
забезпечення по ISO 9126

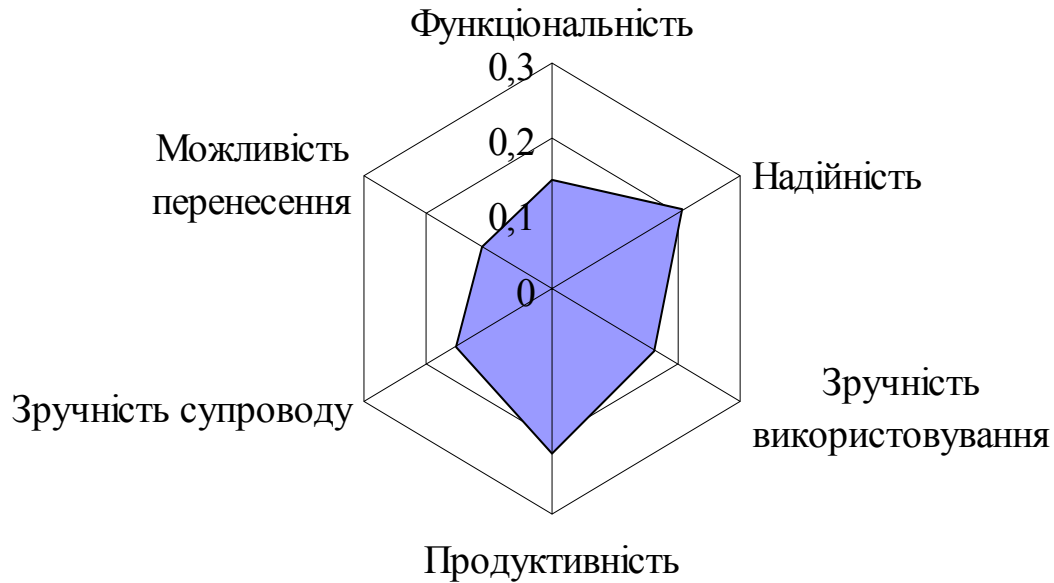


Рисунок 1. Структура атрибутів якості ПЗ загального призначення

Набори метрик для оцінки кожного атрибуту - стандарт
ISO 9126:2001

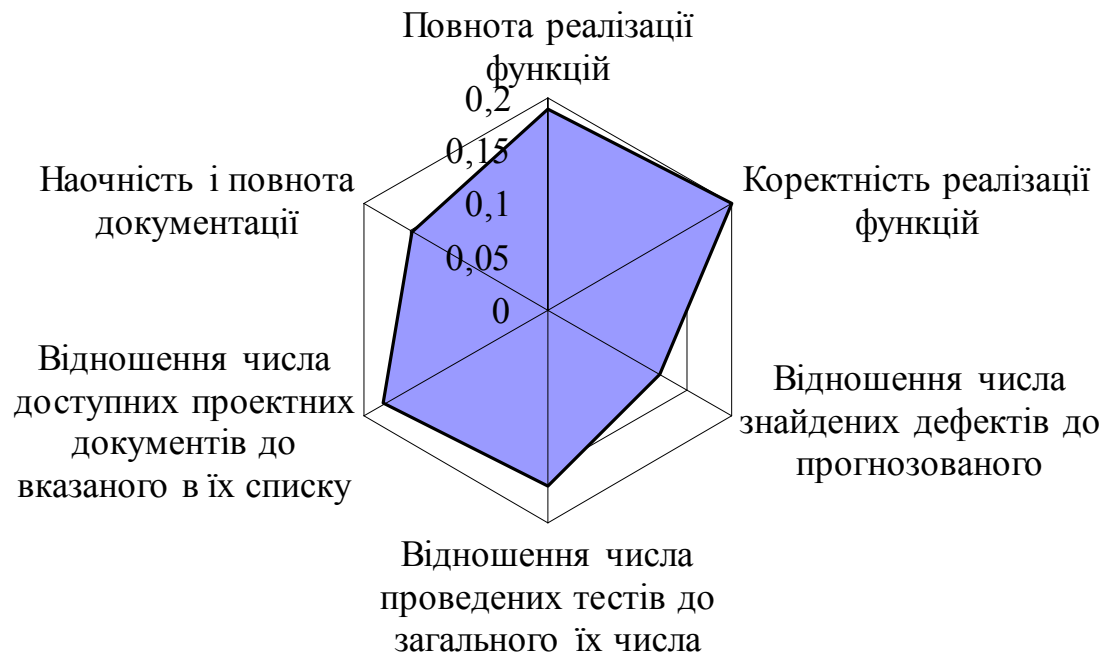


Рисунок 2. Набори метрик ПЗ загального призначення

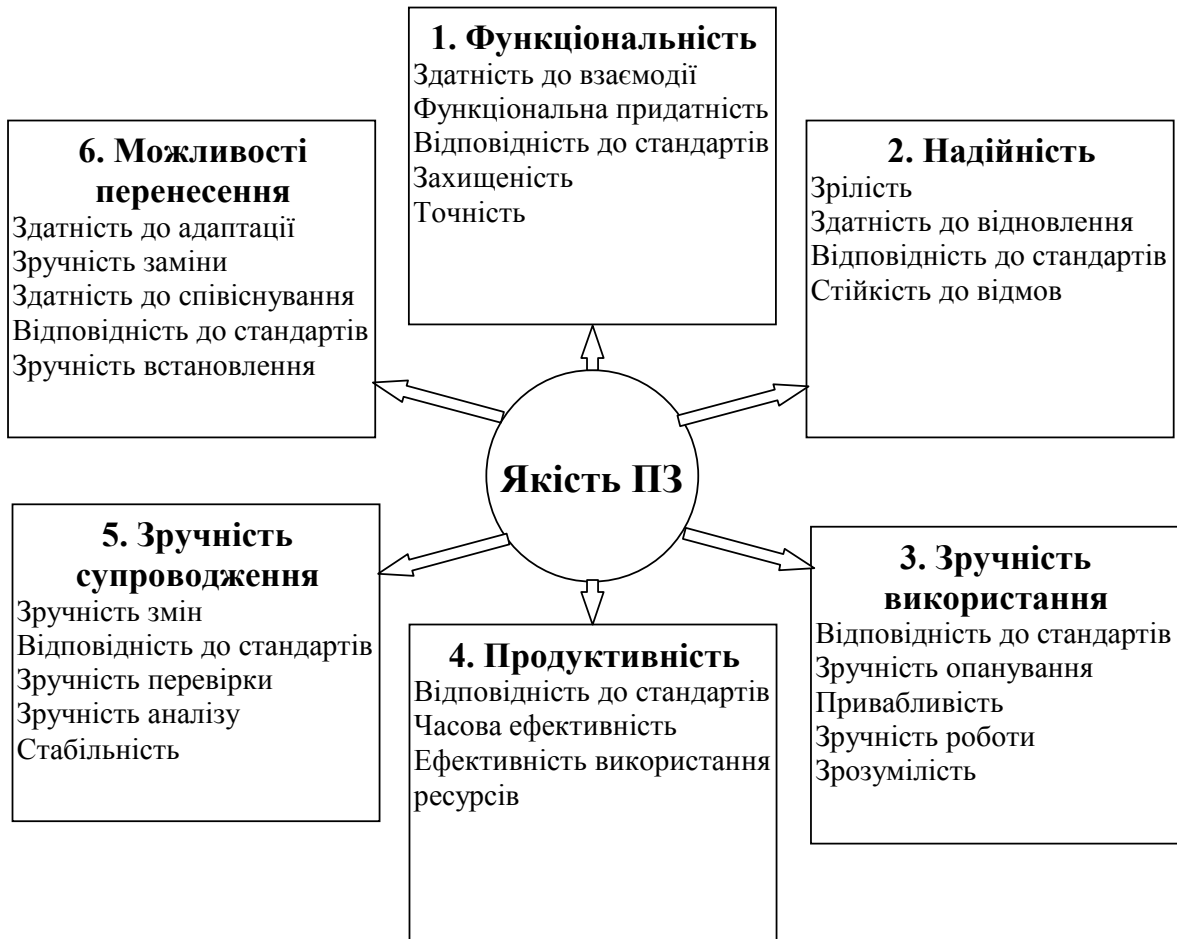


Рисунок 3. Вимоги до виробничого ПЗ

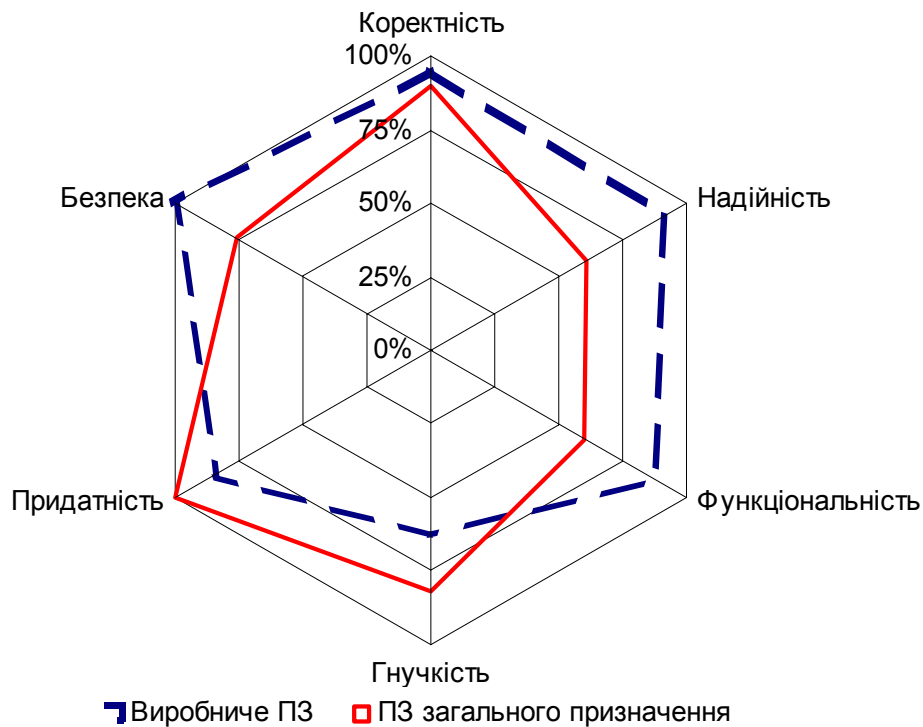


Рисунок 4. Характеристики якості виробничого програмного забезпечення

Як показали наші дослідження, у мережах з ієрархічною інфраструктурою нелінійну згортку критеріїв можна звести до лінійної згортки – різновиду методу аналізу ієрархій Сааті.

Третій розділ присвячений статистико-лексичному підходу до виміру характеристик ВПЗ – розробці модифікованих метрик Холстеда. Розроблено оцінки елементів ВПЗ:

n_1 – кількість різних операторів програми;

n_2 – кількість різних операндів програми;

\bar{N}_1 – загальна кількість операторів програми;

\bar{N}_2 – загальна кількість операндів програми;

символом \bar{X} позначається математичне сподівання величини X .

Статистико-лексичні метрики:

словник програми (в умовних одиницях): $n = n_1 + n_2$;

– середня довжина реалізації (в умовних одиницях) $\bar{N} = \bar{N}_1 + \bar{N}_2$;

– довжина програми (в умовних одиницях) $N = (n_1 \times \log_2 n_1) + (n_2 \times \log_2 n_2)$;

– середній об'єм програми у бітах

$\bar{V} = (\bar{N}_1 + \bar{N}_2) \times \log_2 (n_1 + n_2)$; – потенційний об'єм програми $V^* = (n_2^* + 2) \times$

$\log_2 (n_2^* + 2)$; \bar{B} – середнє число очікуваних помилок в програмі:

$\bar{B} = L \times (\bar{E} / \bar{E}_0)$,

де \bar{E} – оцінка числа необхідних елементарних рішень при написанні програми;

\bar{E}_0 – середнє число елементарних відмінностей між можливими помилками програмування. Поставлено та розв'язано завдання управління надійністю та захищеністю ОС, яке полягає у створенні **монолітної структури ядра ОС** (в тому числі ОС РЧ).

Переваги даного підходу:

– захист ядра від помилок у драйверах;

– здатність автоматичного відновлення у випадку збою в драйвері.

Недоліки:

– велика кількість оболонок пишеться уручну, і ці оболонки можуть містити помилки;

– неможливо заборонити драйверам записувати дані в будь-яке місце пам'яті.

Використання концепції віртуальної машини

Переваги:

– хороша ізоляція помилок

– відокремлення віртуальних машин від головної машини

Недоліки:

– необхідність багатоетапної верифікації без гарантій відсутності помилок у самих верифікаторах;

– підвищення надійності досягається за рахунок значного ускладнення системи;

Мультисерверний підхід

Переваги:

– можливість роботи кожного драйвера і компоненту ОС в окремому процесі;

– можливість взаємодіяти за допомогою механізму interprocess communications (IPC) мікроядра.

Недоліки:

– ризик збоїв системи із-за фізичних відмов серверів.

Використання спеціальної мови програмування

Переваги:

– забезпечується безпека типів, єдиний адресний простір і формальні контракти, які строго обмежують можливості кожного модуля.

Недоліки:

– потрібна повна перебудова системи управління надійністю.

Концентрація всіх зусиль тільки на оптимізації структур ядра ОС (мікроядра або монолітного ядра) не дає остаточного розв'язання протиріч між надійністю та продуктивністю.

Висновок: підхід до розв'язання проблеми має бути комплексним. Досліджено найбільш небезпечні мережні аномалії, які впливають на роботу мережного ПЗ, зокрема, ОС РЧ. На рис. 5 зображено класифікацію мережних аномалій виробничого ПЗ, Наведені результати використовуються для порівняльного аналізу.

Систематизовані параметри коректного та аномального мережного трафіку.

Вектор коректних сигнатур

$$\mathbf{A}^T = \{a_1, a_2, \dots, a_K\}.$$

Вектор зареєстрованих сигнатур аномалій

$$\mathbf{M} = \{m_1, m_2, \dots, m_K\}.$$

Сукупність N статистичних показників (вектор Y) програмного забезпечення:

$$\mathbf{Y}^T = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}, \quad y_i = \psi_i[c_i(t)]$$

за умов стаціонарності Y на інтервалі спостереження $y_i \approx \psi(c_i)$.

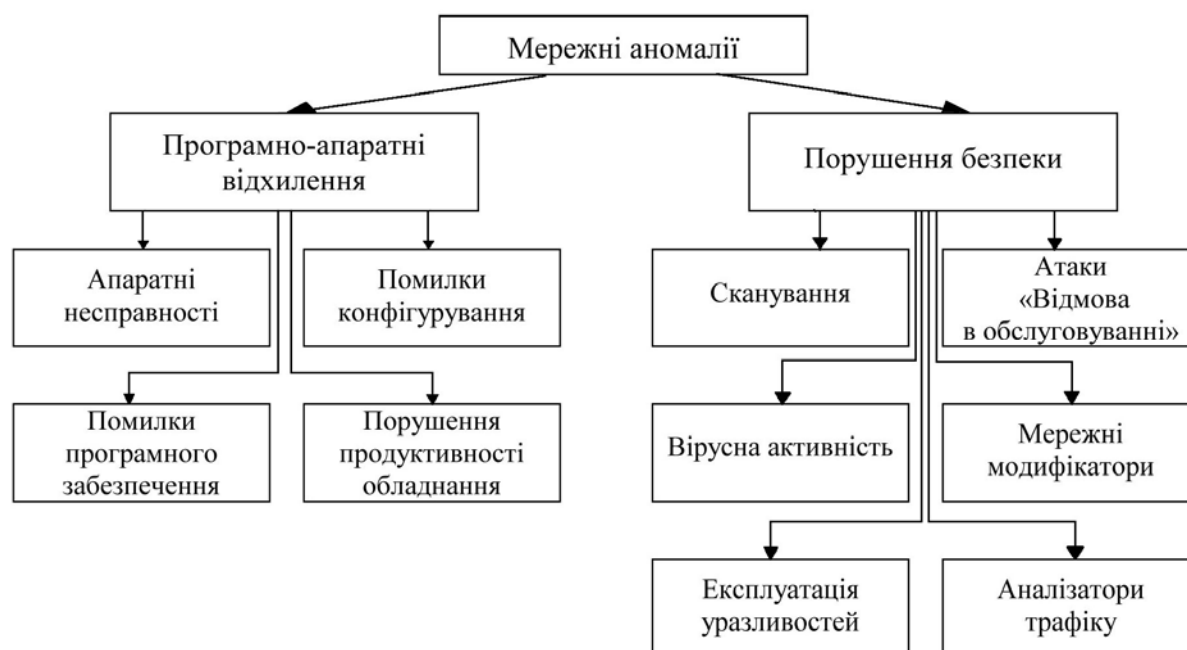


Рисунок 5. Класифікація мережних аномалій

До показників ПЗ відносяться імовірності похибок першого и другого роду та моменти розподілу, зокрема, математичні сподівання й дисперсії:

- числа вхідних та вихідних ІР-пакетів в одиницю часу;
- числа вхідних та вихідних ТСР-пакетів в одиницю часу;
- числа вхідних та вихідних пакетів ОС РЧ в одиницю часу;
- розміру пакетів;
- часу отримання пакетів;
- часу відправлення пакетів;
- довжин сеансів зв'язку в мережі тощо.

Вектор нев'язок коректних сигнатур та сигнатур аномалій:

$$\mathbf{B} = |\mathbf{M} - \mathbf{A}| = \{|m_1 - a_1|, |m_2 - a_2|, \dots, |m_k - a_k|\}$$

Кореляційна матриця ключових показників ефективності ПЗ

$$\mathbf{R}_Y = \mathbf{Y}\mathbf{Y}^T = \Psi(\mathbf{C})\Psi(\mathbf{C}^T)$$

У четвертому розділі розроблені метод аналізу впливу мережних аномалій на надійність та захищеність ОС. Підґрунтям цієї розробки послужили результати досліджень статистичних оцінок ключових показників ефективності ПЗ.

Для розв'язання цього завдання застосовано метод покрокової множинної регресії. Рівняння регресії має наступний вигляд:

$$Y_k = a_{0k} + a_{1k}X_1 + a_{2k}X_1^2 \dots + a_{mk}X_1^m + \varepsilon,$$

$$S_k = \sum_{k=1}^N (Y_k - b_{0k} - b_{1k}X_{k1} - \dots - b_{mk}X_{km})^2,$$

$$S_k \rightarrow \min_{b_{km}}, k, m = \overline{1, N},$$

$$\left. \begin{aligned} \hat{Y}_1 &= \beta_{01} + \beta_{11}X_{11} + \dots + \beta_{m1}X_{1m} \\ \hat{Y}_2 &= \beta_{02} + \beta_{12}X_{21} + \dots + \beta_{m2}X_{2m} \\ &\dots \\ \hat{Y}_k &= \beta_{0k} + \beta_{1k}X_{k1} + \dots + \beta_{mk}X_{km} \\ &\dots \\ \hat{Y}_N &= \beta_{0N} + \beta_{1N}X_{N1} + \dots + \beta_{mN}X_{Nm} \end{aligned} \right\}.$$

Матриця коефіцієнтів кореляції показників

Параметр	Коефіцієнти кореляції									
c_{ti}	1,0									
c_r	0,76	1,0								
c_{ll}	0,52	0,47	1,0							
c_{sr}	0,77	0,54	0,39	1,0						
c_{per}	0,34	0,28	0,55	0,77	1,0					
c_{lp}	0,72	0,91	0,22	0,78	0,46	1,0				
c_{sz}	0,38	0,88	0,75	0,72	0,63	0,56	1,0			
c_M	0,21	0,19	0,27	0,57	0,41	0,40	0,21	1,0		
c_{ne}	0,88	0,91	0,92	0,77	0,66	0,75	0,82	0,46	1,0	
	c_{ti}	c_r	c_{ll}	c_{sr}	c_{per}	c_{lp}	c_{sz}	c_M	c_{ne}	

Статистичні метрики мережного трафіку виражені через диференціальну ентропію. В якості найменш переважного розподілу взято гаусовський розподіл як той, що має максимальну ентропію серед усіх статистичних розподілів на інтервалі існування випадкової величини від $-\infty$ до ∞ .

Найменш переважний розподіл

$$W(v_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{vi}} \exp\left[-\frac{(v_i - m_{vi})^2}{2\sigma_{vi}^2}\right].$$

Диференціальна ентропія

$$H(\hat{v}_i, v_i) = -|\sigma_{vi} - \sigma_{\hat{v}_i}| \times \ln(|\sigma_{vi} - \sigma_{\hat{v}_i}| \sqrt{2\pi e}).$$

Розроблено рекурентний метод виявлення аномалій, з використанням якого апостеріорні ймовірності переходу системи на поточному кроці із одного стану до іншого служать у якості апріорних на наступному кроці аналізу. Завдяки цьому апостеріорний ризик при аналізі даних спостереження знижується. Достовірність результатів виявлення аномалій підвищується.

Також розроблено методи динамічного опитування елементів операційної системи з різною глибиною переривань $n = 1, 2, 3$.

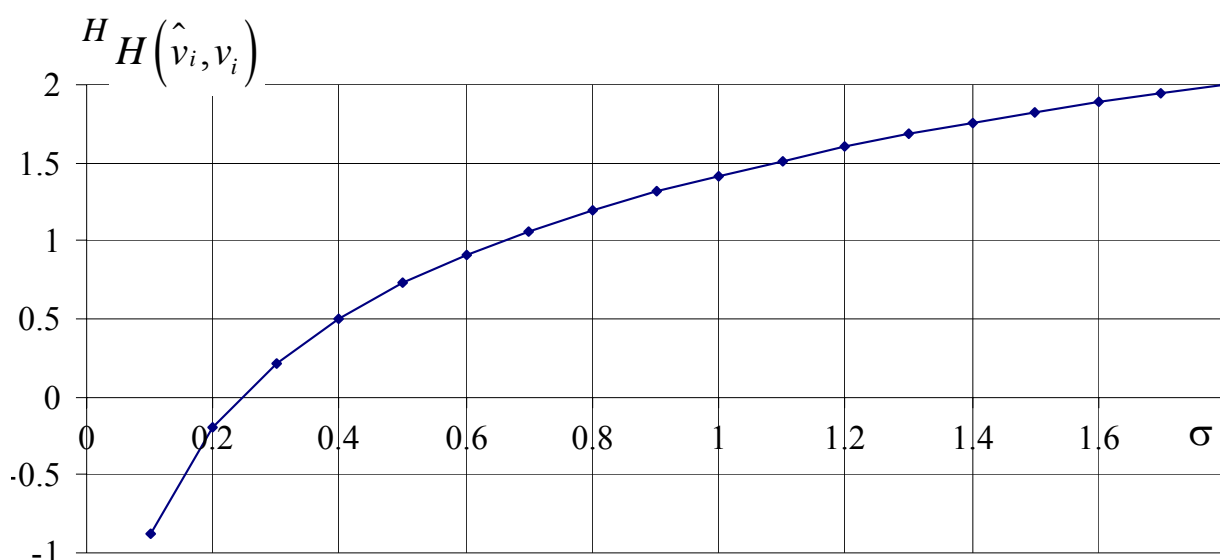


Рисунок 6. Залежність ентропії гаусівського (нормального) розподілу від середньоквадратичного відхилення σ . Глибина переривання збігається з числом рівнів пріоритетів, які розпізнаються системою переривань.

Зі збільшенням номера запиту переривання збільшується його пріоритет.

Час реакції, час запам'ятовування стану поточної програми, час відновлення стану поточної програми не враховуються.

Виведено умови дотримання критичного терміну обслуговування:

$$\left(\sum_{i=1}^N C_i + N \delta t_{dfc} \right) \leq T_{\Sigma}, \quad U = C_1/T_1 + \dots + C_N/T_N \leq U_N^*.$$

Досліджені дисципліни обслуговування з перериваннями, розроблено метод та алгоритм частотно-монотонного аналізу з призначенням пріоритетів як монотонної функції темпу надходження заявок (періодичного) процесу.

На рис. 7 зображена алгоритмічна схема частотно-монотонного аналізу.

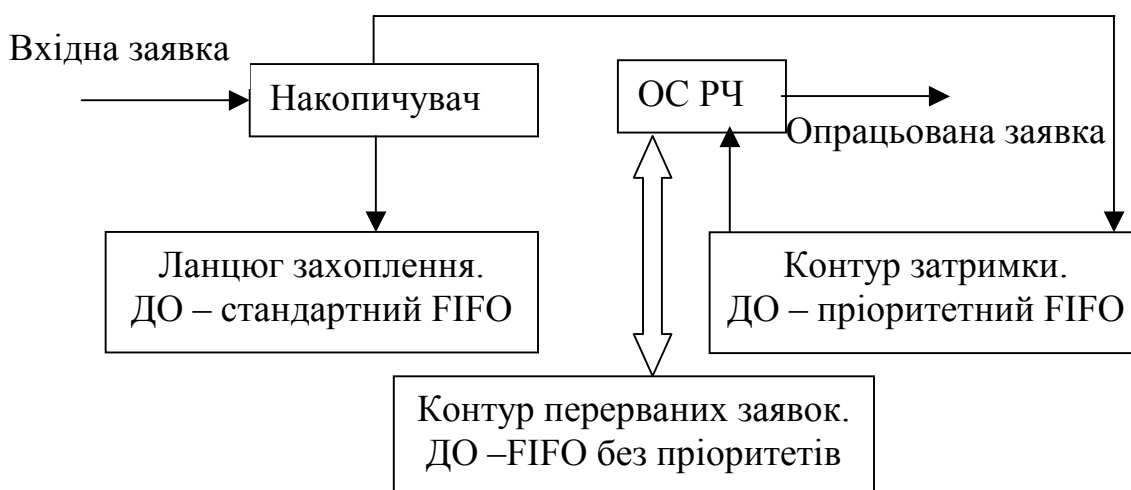


Рисунок 7. Алгоритмічна схема частотно-монотонного аналізу

Сформована послідовність верхніх границь використання центрального процесора для монотонно зростаючого числа задач, що плануються: $U_1^* = 1,0; U_2^* = 0,828; U_3^* = 0,779; U_4^* = 0,756; \dots; U_\infty^* = \ln 2 = 0,693$.

Для ОС РЧ з пріоритетами розроблено метод оптимізації дисципліни обслуговування. Сформульовано задачу оптимізації дисципліни обслуговування по критерію мінімум зваженої суми часів очікування. За умов

$$\sum_{p=1}^P \rho_p \tau_p = \begin{cases} \frac{\rho \tau_0}{1-\rho}, & \rho < 1, \\ \infty, & \rho \geq 1. \end{cases} \quad (1)$$

Зважена сума часів очікування лишається постійною.

Середній час очікування для ОС РЧ з обслуговуванням в порядку пріоритету, що задається пріоритетною функцією, є мінімальним.

$$\tau_p = \tau_0 + \sum_{i=p}^P \bar{x}_i \lambda_i \tau_i + \sum_{i=p+1}^P \bar{x}_i \lambda_i \tau_p, \quad \tau_p = \frac{\tau_0 + \sum_{i=p}^P \rho_i \tau_i}{1 - \sum_{i=p+1}^P \rho_i}. \quad (2)$$

З виконанням умов (1 – 2) задача оптимізації дисципліни обслуговування по критерію мінімуму зваженої суми часів очікування має наступний вигляд:

$$\Psi_{en} \left(\vec{\mathbf{U}}, \vec{\mathbf{Q}}, \vec{\mathbf{W}} \right) = \sum_{i=1}^{N_U} \alpha_i u_i + \sum_{j=1}^{N_Q} \beta_j q_j + \sum_{k=1}^{N_W} \gamma_k w_k \rightarrow \max, \\ \begin{matrix} u_i = u_{i \text{ opt}} \\ q_j = q_{j \text{ opt}} \\ w_k = w_{k \text{ opt}} \end{matrix} \\ i = \overline{1, N_U}, j = \overline{1, N_Q}, k = \overline{1, N_W}; \quad N_U \neq N_Q \neq N_W.$$

де $\vec{\mathbf{U}}$ – вектор атрибутів ПЗ;

$\vec{\mathbf{Q}}$ – вектор параметрів якості ПЗ;

$\vec{\mathbf{W}}$ – вектор експлуатаційних характеристик ПЗ;

$\mathfrak{R}_i \left(\vec{\mathbf{U}}, \vec{\mathbf{Q}}, \vec{\mathbf{W}} \right) \leq \mathfrak{R}_{i \text{ max}}, i = \overline{1, N_c}$ – вектор обмежень граничних параметрів ПЗ.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача підвищення ефективності безпроводних комп'ютерних мереж у сенсі вдосконалення апаратно-програмних засобів швидкого доступу, опитування та керування операційними системами реального часу (ОС РЧ), безпечного обміну даними у корпоративних мережах з використанням комбінованої системи виявлення та розпізнавання збоїв, фрагментації та розподіленої передачі даних у слабо захищених і зашумлених мережах. Зокрема отримані такі наукові результати:

1. Вперше розроблено метод виявлення аномалій у роботі операційної системи реального часу з урахуванням раніше накопичених даних як апіорних відомостей у задачі перевірки статистичних гіпотез, що дозволяє із прийнятними похибками першого та другого роду виявляти нові аномальні явища у роботі ОС РЧ.

2. Вдосконалено метод оптимізації дисципліни опитування ОС РЧ та розподілу даних через зашумлені мережі з великим розкидом пропускних спроможностей. При застосуванні методу на 7 % – 10 % знижуються відносні втрати запитів на переривання та, відповідно, часові витрати.

3. Отримав подальший розвиток метод порівняльного оцінювання ключових параметрів ПЗ із урахуванням стійкості ПЗ до збоїв та затримок у роботі, завдяки чому можна уточнити вимоги до порівняльних характеристик ПЗ та їх відносної важливості.

4. За результатами теоретичних досліджень з'явилася можливість створення нової структури операційної системи реального часу з підвищеною стійкістю процесів обміну даними завдяки розподіленій передачі інформаційних пакетів. Задача розподілу та збору пакетів вирішується за допомогою стандартних протоколів транспортного або навіть мережного рівні.

5. Результати досліджень методів комплексного аналізу та виявлення проблем ПЗ доведені до виразів у замкненій формі, використовуючи які, можна побудувати практичні засоби виявлення у апаратній або програмній реалізації.

6. Розроблені математичні моделі та результати розрахунків можуть після нескладних модифікацій бути використані на стадії проектування операційних систем м'якого та жорсткого реального часу для комп'ютеризованих диспетчерських систем різного масштабу та призначення (визначення критичних параметрів, підтримка функціонування мережі тощо). **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Станко П. А. Методы оптимизации дисциплины обслуживания в операционных системах реального времени. Наукові записки УНДІЗ. – 2012. – № 3(23). – С. 75–80.

2. Станко П. А. Методы и технологии организации коллективной разработки программного обеспечения. Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – № 3(37). – С. 50–58.

3. Ziatdinov J. K. Estimation software quality of the operating real-time systems with using key performance indicators priorities. // Jury K. Ziatdinov, Peter A. Stanko - Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) #11, 2016. – P. 11–16. – Входит в Scopus; входит в Web of Science.

4. Moshenskyi A. Algorithms for searching congestions on the basis of the analysis of entropic characteristics of network traffic. // Moshenskyi A., Stanko P., Toroshanko A., Yakymchuk N. – Magyar Tudományos Journal (Budapest, Hungary) № 49 (2021), ISSN 1748-7110. – P. 52–57.

5. Станко П. А. Сравнительные характеристики качества сетевого программного обеспечения // Станко П. А., Зиятдинов А. Ю. – 10-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2014», 12–17 мая 2014 г., Севастополь, Украина. – 1 с.

6. Stanko P. Optimisation and prioritisation of key performance indicators of the real-time operating systems // Computer Science & Information Technologies, IEEE. Ukraine section (CSIT'2015), 14–17 September 2015, Lviv, Ukraine. – 3 p.

7. Stanko P. Matrix of key performance indicators of the operating real-time systems // Computer Science & Information Technologies (CSIT'2013), 14–16 October 2013, Lviv, Ukraine. – 4 p.

8. Станко П. А. Оптимизация дисциплины обслуживания в операционных системах реального времени – Науково-технічна конференція НАУ «Комп'ютерні системи та мережні технології» (CSNT – 12). Київ, НАУ, 2012. – 1 с.

АНОТАЦІЯ

Станко П. О. Методи оптимізації дисципліни обслуговування в операційних системах реального часу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук по спеціальності 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти». – Державний університет інфраструктури та технологій, 2021.

Розглядається інформаційно-керуюча та обчислювальна мережа крупного виробничого підприємства з множиною територіально розподілених філій. Дисертаційна робота присвячена створенню апаратно-програмних методів оптимізації дисциплін обслуговування операційних систем реального часу, захищеної обробки подій у розподілених операційних системах комп'ютерних мереж з різними фізичними каналами передачі. Комп'ютерна мережа як невід'ємна частина сучасного роботизованого підприємства грає найважливішу роль в керуванні процесом виробництва в цілому, узгодження часових параметрів окремих його ланок, синхронізації виробничих, логістичних та інших завдань. Відповідно, програмне забезпечення (ПЗ) виробничого підприємства має свої специфічні особливості, не притаманні ПЗ загального призначення. У роботі розглянуті методи аналізу й моніторингу ключового елемента виробничого ПЗ – операційної системи реального часу. Особливу увагу приділено операційним системам жорсткого реального часу. За результатами опрацювання великого обсягу статистичного матеріалу ПЗ загального призначення та виробничого ПЗ виділено один з ключових параметрів функціонування виробничого ПЗ – толерантність до затримок звернень до пам'яті. Встановлено, що толерантність до затримок звернень до пам'яті обчислювального пристрою є визначальною характеристикою систем жорсткого реального часу. Для отримання кількісних характеристик виробничого ПЗ з неконтрольованими аномаліями програмних продуктів розроблено статистико-лексичний підхід до виміру характеристик виробничого програмного забезпечення –

модифіковані метрики Холстеда з впровадженими стохастичностями. Розроблено метод оцінювання модифікованих метрик та отримання ефективних та незміщених оцінок. У дисертаційній роботі розвинуті нові підходи до управління надійністю та захищеністю ОС: створення монолітної структури ядра ОС (в тому числі ОС РЧ); використання концепцій мультисервісності та віртуальної машини; використання спеціальних мов програмування, толерантних до несанкціонованого втручання. Встановлено, що концентрація всіх зусиль тільки на оптимізації структур ядра ОС (мікроядра або монолітного ядра) не дає остаточного розв'язання протиріч між надійністю та продуктивністю. Тільки комплексний підхід до розв'язання проблеми даватиме бажаний результат. Класифіковані мережні аномалії за ступенем їх небезпеки та негативного впливу на функціонування комп'ютеризованого та роботизованого виробництва. Виділені статистичні характеристики аномалій та розроблені методи їх виявлення та нейтралізації. Розроблений оптимальний метод динамічного опитування ОС РЧ, яка обробляє процеси з різними степенями переривання. Проаналізовані їх часові характеристики та сформульовані умови дотримання критичного терміну обслуговування. Розроблений метод оптимізації дисципліни обслуговування з перериваннями із застосуванням методу частотно-монотонного аналізу як найбільш ефективного методу аналізу та синтезу оптимальних дисципліни обслуговування ОС РЧ з пріоритетами.

Сукупність розроблених методів дає можливість покращити часові характеристики, толерантність до затримок, надійність та безпеку виробничого програмного забезпечення та його ключового елементу – операційної системи реального часу.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, виробниче програмне забезпечення, множинна кореляція та покрокова регресія, метрики Холстеда, операційна система реального часу, ключові показники ефективності.

АННОТАЦІЯ

Станко П. А. Методы оптимизации дисциплины обслуживания в операционных системах реального времени. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Компьютерные системы и компоненты». – Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, 2021.

Рассматривается информационно-управляющая и вычислительная сеть крупного производственного предприятия с множеством территориально распределенных филиалов. Диссертация посвящена созданию аппаратно-программных методов оптимизации дисциплин обслуживания операционных систем реального времени, защищенной обработки событий в распределенных операционных системах компьютерных сетей с различными физическими каналами передачи. Компьютерная сеть как неотъемлемая часть современного роботизированного предприятия играет решающую роль в управлении производственным процессом в целом, координации

временных параметров его отдельных звеньев, синхронизации производственных, логистических и других задач. Соответственно, программное обеспечение (ПО) производственного предприятия имеет свои особенности, которые не присущи программному обеспечению общего назначения. В работе рассматриваются методы анализа и мониторинга ключевого элемента производственного программного обеспечения – операционной системы реального времени. Особое внимание уделяется операционным системам жесткого реального времени. По результатам обработки большого количества статистического материала ПО общего назначения и производственного ПО выделен один из ключевых параметров работы производственного ПО – толерантность к задержкам обращений к памяти. Установлено, что толерантность к задержкам обращений к памяти вычислительного устройства является определяющей характеристикой систем жесткого реального времени. Для получения количественных характеристик производственного ПО с неконтролируемыми аномалиями программных продуктов был разработан статистико-лексический подход к измерению характеристик производственного программного обеспечения – модифицированные метрики Холстеда с внедренными стохастичностями. Разработан метод оценки модифицированных метрик и получения эффективных и несмещенных оценок. В диссертационной работе предложены новые подходы к управлению надежностью и безопасностью ОС: создание монолитной структуры ядра ОС (включая ОС РВ); использование концепций мультисервисности и виртуальной машины; использование специальных языков программирования, толерантных к несанкционированному вмешательству. Установлено, что концентрация всех усилий только на оптимизации структур ядра ОС (микроядра или монолитного ядра) не дает окончательного решения противоречий между надежностью и производительностью. Только комплексный подход к решению проблемы дает желаемый результат. Классифицированные сетевые аномалии по степени их опасности и негативному воздействию на функционирование компьютеризированного и роботизированного производства. Определены статистические характеристики аномалий и разработаны методы их выявления и нейтрализации. Разработан оптимальный метод динамического опроса ОС РВ, который обрабатывает процессы с различными степенями прерывания. Проанализированы их временные характеристики и сформулированы условия выдерживания критического времени обслуживания. Разработан метод оптимизации дисциплины обслуживания с прерываниями с использованием метода частотно-монотонного анализа как наиболее эффективного метода анализа и синтеза оптимальных дисциплин обслуживания ОС РВ с приоритетами.

Совокупность разработанных методов дает возможность улучшить временные характеристики, толерантность к задержкам, надежность и безопасность производственного программного обеспечения и его ключевого элемента – операционной системы реального времени.

Ключевые слова: компьютерная сеть, производственное программное обеспечение, множественная корреляция и пошаговая регрессия, метрики Холстеда, операционная система реального времени, ключевые показатели эффективности.

ABSTRACT

Stanko P. O. Methods for optimizing the discipline of service in real-time operating systems. – Qualifying scientific work on the manuscript.

Thesis for the engineering science candidate degree in specialty 05.13.05 – "Computer systems and components" – State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, 2021.

The information and control and calculating network of a large production enterprise with a set of territorially distributed branches is considered. The dissertation is devoted to the creation of hardware and software methods for optimising the service disciplines of real-time operating systems, secure event processing in distributed operating systems of computer networks with different physical transmission media. The computer network as an integral part of a modern robotic enterprise plays a crucial role in managing the production process in general, coordinating the time parameters of its autonomous parts, synchronization of production, logistics and other tasks. Accordingly, the software of the manufacturing enterprise has its own specific features that are not inherent in general purpose software. The methods of analysis and monitoring of a key element of production software – real-time operating system are considered in the work. Particular attention is paid to hard real-time operating systems. According to the results of processing a large amount of statistical data of general-purpose software and production software, one of the key parameters of the production software production is tolerance to memory access delays. It is established that the tolerance to the access delays to the buffer memory of the computing device is a crucial characteristic of the rough real-time systems. To obtain quantitative characteristics of production software with uncontrolled anomalies of software products, a combined statistical and lexical approach to measuring the characteristics of production software has been developed – modified Halsted metrics with embedded stochastics. A method for estimating modified metrics and obtaining effective and unbiased estimates has been developed. In the dissertation work new approaches to OS reliability and security management are developed: creation of monolithic structure of OS kernel (including RF OS); use of the concepts of multi-service and virtual machine; use of special programming languages tolerant to unauthorized intrusions. It is established that the concentration of all efforts only on the optimisation of the structures of the OS kernel (micro kernel or monolithic kernel) does not give a general dissolving to the contradictions between reliability and performance. Only a comprehensive approach to solving the problem will give the desired result. Network anomalies are classified according to the degree of their danger and negative impact on the functioning of computerized and robotic production. Statistical characteristics of anomalies are allocated and methods of their detection and neutralization are

developed. The optimal method of dynamic polling of the RF operating system, which processes with different degrees of interruption, has been developed. Their time characteristics are analysed and the conditions of observance of the critical service life are formulated. A method for optimising the discipline of intermittent service discipline with the use of the method of frequency-monotone analysis as the most effective method of analysis and synthesis of optimal service disciplines of the RF OS with priorities has been developed.

The set of developed methods makes it possible to improve time characteristics, tolerance to delays, reliability and security of production software and its key element - the real-time operating system.

Keywords: computer network, production software, multiple correlation and stepwise regression, Halsted's metrics, real-time operating system, key performance indicators.

Підп. до друку 25.03.2021. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25.
Тираж 100 пр. Замовлення № 46-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ – 58, проспект Любомира Гузара, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002