

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

**Моспанов Дмитро Віталійович**

УДК 004.925.5

**ОПТИМІЗАЦІЯ WEB-СЕРВЕРІВ НА БАЗІ RASPBERRY PI**

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

Автореферат  
бакалаврської роботи  
на здобуття кваліфікації бакалавра з комп'ютерної інженерії

Миколаїв – 2020

Робота виконана у Чорноморському національному університеті ім. Петра Могили.

**Керівник:** **Бурлаченко Іван Сергійович,**  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
старший викладач кафедри  
комп'ютерної інженерії

**Рецензент:** канд. техн. наук  
**Сіденко Євген Вікторович,**  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
доцент б. в. з. кафедри інтелектуальних  
інформаційних систем

**Консультант:** **Алексєєва Анна Олександрівна,**  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
старший викладач кафедри екології  
Медичного інституту

Захист відбудеться « 25 » червня 2020 р. о 10<sup>00</sup> на засіданні  
Державної екзаменаційної комісії в ЧНУ ім. Петра Могили, ауд. 2-504.

З бакалаврською роботою можна ознайомитись на сайті ЧНУ ім. Петра Могили за посиланням <http://chmnu.edu.ua>.

Автореферат оприлюднений « 19 » червня 2020 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми. Актуальність:** Web сервер - це сама перша ланка в роботі будь-якого Web сайту. Він приймає запит від клієнта, формує відповідь и відправляє его назад клієнтові. Коли кількість таких запитів зростає, швидкість роботи Web-сервера буде падати.

**Метою** роботи є підвищення частоти обробки запитів при високому навантаженні web-серверу на базі одноплатних мікрокомп'ютерів.

**Об'єктом** дослідження є процес одночасного дистанційного керування пристроями підчас турніру з робототехніки.

**Предметом** дослідження є апаратно-програмний модуль обслуговування передачі даних для великої кількості користувачів

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- Проаналізувати існуючі категорії web-серверів;
- Дослідити апаратну платформу одноплатних мікрокомп'ютерів для розгортання web-серверів;
- Провести тестування web-серверу на навантаження;
- Оптимізувати web-сервер під високе навантаження підчас з робототехніки.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої системи для широкого кола професійно-орієнтованих заходів популяризації робо техніки.

**Апробація результатів** бакалаврської роботи відбулася в рамках XIV Міжнародної конференції «Ольвійський форум-2020: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі». Секція «Технічні науки».

**Публікації.** За результатами бакалаврської роботи створено публікацію у збірнику матеріалів Міжнародної конференції.

**Структура та обсяг роботи.** Бакалаврська робота складається з анотації на 2 сторінках, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 17 найменувань, 2 додатків на 59 сторінках. Основна частина роботи становить 76 сторінок, серед яких 25 рисунка та 20 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми бакалаврської роботи – оптимізація веб-серверів загального призначення, який працює на розповсюджених операційних системах для обслуговування турнірів з робототехніки. Веб-сервер приймає запити від віддалених клієнтських комп'ютерів і повертає відповідний відповідь. Ця базова функціональність дозволяє веб-серверам обмінюватися інформацією і доставляти її по локальних мережах (LAN), таким як корпоративні інтрамережі, і глобальних мереж (WAN), таким як Інтернет.

Веб-сервер може доставляти інформацію користувачам у кількох формах, таких як статичні веб-сторінки, закодовані в HTML; через обмін файлами у вигляді завантажень і вивантажень; і текстові документи, файли зображень і багато іншого. Веб-сервери працюють через безліч стандартних мов і протоколів. HTML використовується для створення таких елементів, як текст, кнопки, розміщення зображень, пряму взаємодію / поведінку і гіперпосилання. Протокол передачі гіпертексту (HTTP) - це основний протокол зв'язку, який використовується для обміну інформацією між веб-серверами і користувачами. HTTPS - HTTP через протокол SSL (Secure Sockets Layer) - використовує безпеку транспортного рівня або SSL для шифрування зв'язку для додаткового захисту даних. Протокол передачі файлів (FTP) або його безпечний варіант, FTPS, може передавати файли.

У **першому розділі** бакалаврської роботи «**Типи веб-серверів**» проведено огляд найпопулярніших веб серверів та їх переваг. Для Виконання

бакалаврської роботи можна використовувати будь-який веб сервер. Я обираю nginx, тому що він має такі переваги:

- шифрування, стиснення, підтримка багатьох сайтів за однією IP-адресу та інші можливості, доступні в більшості веб-серверів;
- міжсистемних, малий розмір, простота конфігурації, масштабованість;
- використання переваги від асинхронної системи введення-виведення, що на практиці означає економію ресурсів системи і вигідно позначається в разі великих навантажень
- вбудована стійкість до багатьох видів DoS і DDos атак.

Nginx використовує потоки замість породження процесів, що призводить до меншого споживання пам'яті та постійному графіку пам'яті, незалежно від того, скільки користувачів відвідує ваш сайт.

Apache, через свого процесу, породжуваного кожним користувачем, який відвідує ваш сайт, призводить до різкого збільшення пам'яті або стрибка.

Графік для порівняння їх роботи приведено на рис. 1.:

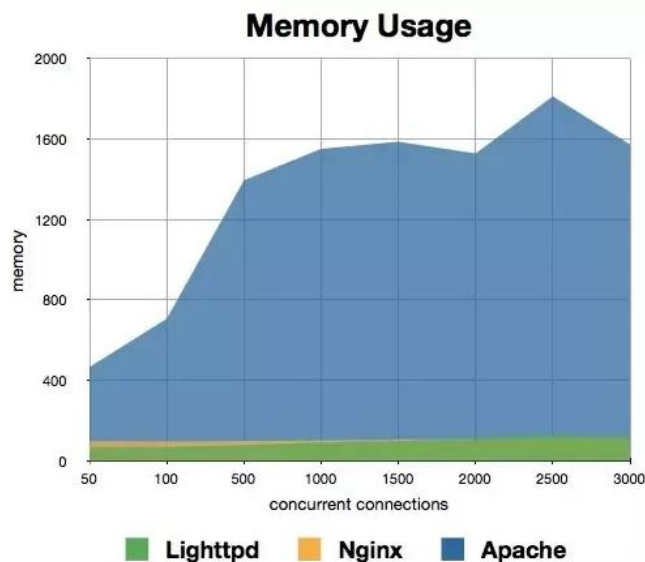


Рисунок 1. – Споживання пам'яті web-серверами в залежності від кількості користувацьких з'єднань

У другому розділі бакалаврської роботи «Кращі одноплатні комп'ютери» описано процес вибору апаратної частини створюваного

апаратно-програмного комплексу та проаналізовано їх характеристики. Для подальшого виконання бакалаврської роботи було обрано «Raspberry Pi 3».

Переваги «Raspberry Pi 3»:

1. **Доступність.** Доступність є одним з найбільш важливих параметрів, який слід враховувати, перш ніж приймати рішення про використання того чи іншого готового модуля (або плати) в складі власної розробки. У загальному випадку на розробку пристрою зазвичай йде від 18 до 24 місяців. Далі життєвий цикл продукту переходить в фазу активного продажу, що триває 3-4 роки. В кінці цього періоду ви почнете думати про перехід на новий модуль або плату. Таким чином, життєвий цикл використовуваного одноплатного комп'ютера повинен становити не менше 7 років.

Згідно з декларацією про гарантовану тривалості життєвого циклу Raspberry Pi, виробництво модуля версії CM3 + триватиме принаймні, до січня 2026 року. Таким чином, за станом на 2019 рік у проектувальників залишається в запасі більше 7 років для розробки нового продукту і його підтримки протягом активної фази продажів.

2. **Компактний форм-фактор.** Конструктивно модуль Raspberry Pi CM3 + являє собою компактну друковану плату розміром всього 67,6 мм × 31 мм × 4,7 мм зі стандартним крайовим роз'ємом SODIMM. Raspberry Pi CM3 + дозволяє розробникам створювати пристрої з мінімальними габаритами. Домогтися аналогічного результату зі звичайними платами Raspberry Pi неможливо. Крім того, традиційні плати Raspberry Pi мають фіксований функціонал і конфігурацію - ви нічого в них не можете змінити.

3. **eMMC.** Модулі Raspberry Pi CM3 + поставляються з вбудованою eMMC-пам'яттю (флеш-пам'ять eMMC 8 ГБ / 16 ГБ / 32 ГБ), яка є більш надійним місцем для розміщення операційної системи в порівнянні з SD-картою. Справа в тому, що мікросхема eMMC розпаяна на самому модулі, а не підключена за допомогою слота або шлейфа, в результаті чого практично повністю виключаються проблеми з вібрацією. Існує версія модуля, в якій

вбудована eMMC-пам'ять відсутня, однак такі модулі не рекомендується використовувати в комерційних або промислових додатках.

**4. Температурний діапазон (-25 ... 85 ° C).** Як пояснюється на веб-сайті Raspberry Pi, діапазон робочих температур модуля визначається мінімальної і максимальною робочою температурою компонентів, що використовуються в складі модуля. У мікросхем eMMC і LPDDR2 діапазон робочих температур виявляється найвужчим: -25 ... + 80 ° C. Тому власний діапазон робочих температур для Raspberry Pi версій CM3 + і CM3 + Lite також становить -25 ... + 80 ° C. Однак варто розуміти, що цей діапазон характеризує не температуру навколишнього середовища, а температуру розігріву кристалів мікросхем. З цієї причини користувачі повинні враховувати тепло, що виділяється самим модулем, і стежити за тим, щоб мікросхеми не нагрівається вище +80 ° C.

**5. Порти введення-виведення і комунікаційні інтерфейси.** Незважаючи на компактні габарити, модулі Raspberry Pi CM3 + мають безліч ліній введення-виведення і комунікаційних інтерфейсів, які дозволяють вирішувати різні завдання при створенні комерційних або промислових застосувань:

- 48x GPIO
- 2x I2C, 2x SPI, 2x UART, 1x USB2 HOST / OTG
- 2x SD / SDIO
- 1x HDMI 1.3a
- 1x DPI (паралельний інтерфейс для RGB-дисплеїв)
- 1x NAND інтерфейс (SMI)
- 1x 4-лінійний інтерфейс з камерою CSI (Camera Interface) (до 1 Гб / с на лінію)
- 1x 2-лінійний інтерфейс з камерою CSI (Camera Interface) (до 1 Гб / с на лінію)
- 1x 4-лінійний інтерфейс з камерою DSI (Display Interface) (до 1 Гб / с на лінію)
- 1x 2-лінійний інтерфейс з камерою DSI (Display Interface) (до 1 Гб / с на лінію)

лінію)

Зверніть увагу, що не всі інтерфейси доступні одночасно, деякі з них мультиплексовані і поділяють спільні висновки на крайовому роз'ємі. При роботі з модулями Raspberry Pi CM3 + необхідно враховувати і інші обмеження. Перш ніж приступити до проектування з використанням модулів Raspberry Pi CM3 +, слід ретельно вивчити офіційну документацію.



Рисунок 2. – Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3 Model B + - одноплатний комп'ютер від Raspberry Pi Foundation, який працює на базі оновленого 4х-ядерного 64-бітного SoC Broadcom BCM2837B0 і збільшеною тактовою частотою 1.4GHz. Бездротовий модуль також отримав оновлення: Wi-Fi став дводіпазонним стандарту IEEE 802.11ac, а Bluetooth - 4.2 BLE. "Малинка" володіє Gigabit Ethernet, що працює через USB 2.0 шину, що забезпечить швидкість передачі даних до 300Mbps. Також була вдосконалена PXE завантаження, яка тепер включена за замовчуванням, і додана можливість PoE харчування (в тому числі від 48V через плату розширення PoE HAT).

Таблиця 1

Процесор	GPU	ОЗУ	Ринкова вартість



Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz	Dual Core Video Core IV® Multimedia Co- Processor	1GB LPDDR2 SDRAM	49\$
--	--	---------------------	------

Таблиця 1. Технічні характеристики Raspberry Pi 3 Model B +

BCM2837B0 володіє вдосконаленим контролем харчування, як для кращої продуктивності, так і для економії енергії. При робочій температурі до 70 ° C - все ядра працюють на максимальній частоті 1.4GHz для максимальної продуктивності, при зростанні температури вище 70 ° C частота ядер знижується до 1.2GHz. Це не дасть чіпу досягти критичних температур, зберігши при цьому прийнятний рівень продуктивності.

Зверніть увагу, що Raspberry Pi 3B + споживає більше енергії, ніж його попередник. Рекомендуємо вибирати якісний блок живлення для повноцінної стабільної роботи. Відмінним рішенням стане блок живлення 5V 3A або рідний 5V 2.5A.

У третьому розділі бакалаврської роботи «Розроблення web-сервісу для організації турнірних змагань» Описані етапи виконання налаштувань Nginx для роботи з PHP застосунком. Встановлені та налаштовані всі необхідні компоненти Nginx для роботи з PHP за стосунком для турніру з робототехніки. Nginx має витримувати навантаження PHP серверу для відображення динамічного контенту. Навантажувальне тестування було реалізовано за допомогою Artillery та інтегровано з системами CI / CD. Є можливість роботи з Docker. Розроблене програмне забезпечення має узагальнену архітектуру, яку зображено на рис. 3.

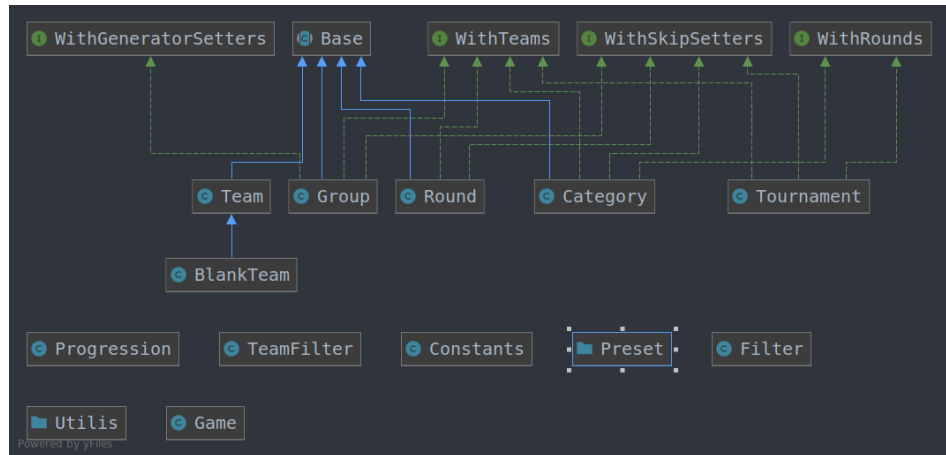


Рис.3 – Узагальнена архітектура ПЗ для організації турніра

Також було проведено навантажувальне тестування серверної частини. Функціональність Artillery дозволяє:

1. Тестувати будь API або бекенда : Artillery дозволяє тестувати HTTP, Socket.io, WebSockets і AWS Kinesis з коробки.
2. Емулювати складну поведінку користувача за допомогою сценаріїв. Задати складну поведінку користувача Ви зможете за допомогою декількох кроків, умов і коду Javascript.
3. Просто налаштувати і використовувати : сценарії Artillery написані на YAML, що робить Ваші тестові сценарії легкими для читання, написання та супроводу.
4. Відображати докладні показники продуктивності : час відгуку / затримки, кількість запитів в секунду, пропускну здатність. Всі метрики доступні у вигляді текстового або структурованого JSON, і Artillery може відправити їх в зовнішню систему моніторингу, таку як Datadog, Librato або Influx.
5. Легко використовувати повторно створені сценарії
6. Artillery Community Edition / Artillery Pro - Для Вас це Free & open source/ Але є версія і для комерційних організацій.

Результати навантажувального тестування зображено на рис.4.

```

Scenarios launched: 180
Scenarios completed: 165
Requests completed: 333
Concurrent users: 15
RPS sent: 36.94
Request latency:
  min: 137.5
  max: 625.9
  median: 532.1
  p95: 600.7
  p99: 616.2
Scenario duration:
  min: 664.8
  max: 880.2
  median: 720.2
  p95: 773.8
  p99: 834.5
Codes:
  200: 165
  302: 168

```

Рис.3.5 – Результат навантажувального тестування серверної частини за допомогою Artillery

Додатки містять лістинги коду для організації турнірних змагань Raspberry Pi 3 B + та розширену діаграму класів застунку на РНР.

У спеціальній частині «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» Проаналізовано умови праці фахівців з ІТ–технологій у приміщенні ТОВ «CoreTeKa». Було виконано опис виробничого приміщення, робочих місць та обладнання. Було розроблено план зі шляхами евакуації та порядок дій персоналу CoreTeKa у надзвичайній ситуації пов’язаній з пожежею.

## ВИСНОВКИ

Розроблене ПЗ для мікрокомп'ютерів розширює практичні можливості користувачів роботехнічних турнірів. З їх допомогою можна перетворити мікрокомп'ютер у вузол керування множиною роботами та завдяки спеціальній оптимізації.

У даній роботі були розглянуті основні компоненти Nginx. Були розглянуті різні події операційної системи Raspbian і розгорнуто web сервер.

При розробці застосунку були отримані цінні знання в області створення серверних застосунків, а також необхідні в подальшій професійній діяльності навички роботи і самостійного вивчення теоретичного матеріалу.

Розроблений додаток внаслідок його тестування є повноцінним програмним продуктом для операційної системи Raspbian, при тестуванні помилок не виявлено, все працює коректно.

Таким чином, завдання, поставлені на початку дипломної роботи, були виконані, а саме:

- Проаналізовано існуючі категорії web-серверів;
- Досліджено апаратну платформу одноплатних мікрокомп'ютерів для розгортання web-серверів;
- Проведено тестування web-серверу на навантаження;
- Оптимізовано web-сервер під високе навантаження під час з робототехніки.

Були використані такі технології як phpMyAdmin. Час завантаження файлів на сервер - при початковому проектуванні проекту був проведений замір часу відправки запитів на сервер і середній час завантаження файлів склало  $\sim 0.4 - 0.5$  секунди. Після оптимізації налаштування бібліотеки Nginx, був проведений повторний замір і результати стали набагато краще. Середній час відправки запитів на сервер склало  $\sim 0.2 - 0.3$  секунди. Приріст

швидкості практично 2 рази. Також середній час запису команд в базу даних = ~ 0,5 - 0,8 секунд.

Також для програми були задіяні патерни в РНР застосунку для оптимальної і швидкої роботи програми.

Також розроблено питання з охорони праці. Проаналізовано умови праці в лабораторії кафедри ЧНУ ім. Петра Могили, в якому відбувалося тестування програмно-апаратного комплексу. За для покращення умов праці в приміщенні, було запропоновано встановити лампи більшої потужності.

## **СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ**

1. Бурлаченко І.С., Аркушенко Я. О., Бабін К.А., Моспанов Д. В. Особливості web rtc для розроблення мобільних застосунків з функцією аудіо-дзвінків. XIV Міжнародна конференція «Ольвійський форум-2020: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі». Секція «Технічні науки». 2020.

## АНОТАЦІЯ

**Моспанов Д. В.** Оптимізація WEB-серверів на базі Raspberry Pi. – Кваліфікаційна робота бакалавра зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2020.

Бакалаврська робота присвячена розробці апаратно-програмного модулю для обслуговування передачі даних для великої кількості користувачів. Розглянуто наявні в наш час одноплатні мікрокомп'ютери. Практичне значення результатів дослідження та розроблення у можливості використання розробленої системи для широкого кола професійно-орієнтованих заходів популяризації робототехніки.

Пояснювальна записка бакалаврської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та двох додатків. У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження та розроблення бакалаврської роботи. У першому розділі досліджуються основні web-сервери, які можна використати для виконання бакалаврської роботи. У другому розділі наведені дані про найпопулярніші одноплатні мікрокомп'ютери та їх переваги. У третьому розділі наведені дані про програмну частину комплексу та результати тестування ПЗ. Четвертий розділ присвячений охороні праці на підприємстві, де проводилось тестування комплексу. У висновках наведено аналіз виконаної роботи та отриманих результатів дослідження та розроблення.

У додатку А наведено архітектуру розробленого ПЗ. У додатку Б наведено програмний код, що використовувався в проекті. В цілому, бакалаврська робота без додатків містить 76 сторінок, 25 рисунків, 20 таблиць, 17 джерел посилання.

Ключові слова: оптимізація web-серверу, nginx, raspberry pi, одноплатні мікрокомп'ютери.

## ABSTRACT

**D. Mospanov.** Optimization of web servers based on Raspberry Pi. – Bachelor's thesis in specialty 123 Computer Engineering. – Petro Mohyla Black Sea National University, 2020.

The bachelor's thesis is devoted to the hardware module development for data transmission services for a large number of users. The current single-board microcomputers are considered. The practical significance of the results of research and development in the possibility of using the developed system for a wide range of professionally-oriented areas to promote the robotics. The bachelor's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions and two appendices. The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development of the bachelor's thesis. The first section explores the web servers usage. The second section provides information about the most popular single-board microcomputers and their benefits. The third section presents data on the software part of the software for hardware module and the results of software testing. The fourth section is devoted to labor protection at the enterprise where the hardware module was tested. The conclusions provide an analysis of the bachelor's thesis performed and the results of research and development.

Appendix A shows the architecture of the developed software. Appendix B shows the program code used in the bachelor's project. In total, the bachelor's thesis without appendices contains 76 pages, 25 figures, 20 tables, 17 reference sources.

Keywords: web server optimization, nginx, raspberry pi, single board microcomputers.