

# ПРОГРАМНА СИСТЕМА ПОТОКОВОГО РАДІОМОВЛЕННЯ НА ПЛАТФОРМІ RASPBERRY PI З ПІДТРИМКОЮ КЕРУВАННЯ КОНТЕНТОМ ТА ЗБОРУ СТАТИСТИКИ

Бойко Т. М.

*Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, м. Київ*

## ВСТУП

Цифрова трансформація медіасередовища зумовила суттєві зміни в підходах до створення, поширення та керування аудіоконтентом. Якщо традиційне радіомовлення тривалий час базувалося переважно на апаратно-орієнтованих рішеннях і фіксованій інфраструктурі, то сучасні системи дедалі частіше реалізуються як програмно керовані платформи, інтегровані з IP-мережами та хмарними сервісами. У цьому контексті особливої уваги набувають системи потокового аудіомовлення, що забезпечують передавання контенту в реальному часі, дистанційне керування, персоналізацію плейлистів та автоматизоване ведення статистики використання аудіоматеріалів.

**Актуальність і постановка проблеми.** Актуальність дослідження зумовлена кількома чинниками. По-перше, зростає потреба у доступних і гнучких програмно-апаратних рішеннях, придатних для розгортання в невеликих комерційних, освітніх та сервісних об'єктах. По-друге, для України особливого значення набуває можливість інтеграції службових повідомлень, зокрема сигналів повітряної тривоги та інших інформаційних вставок, у загальний потік мовлення. По-третє, у сфері легального використання музичного контенту виникає потреба у прозорому обліку відтворень для подальшого нарахування винагороди правовласникам відповідно до вимог чинного законодавства [1; 2].

**Мета дослідження.** Метою дослідження є розроблення та аналіз програмної системи потокового радіомовлення на платформі Raspberry Pi, яка забезпечує передавання аудіопотоку в комп'ютерних мережах, централізоване керування контентом, інтеграцію службових повідомлень та автоматизований збір статистики відтворення музичних творів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед сучасних технічних платформ для побудови компактних інформаційних систем важливе місце посідає Raspberry Pi. У наукових публікаціях Raspberry Pi розглядається як доступна одноплатна обчислювальна платформа, придатна для побудови мережевих і мультимедійних сервісів [3]. Дослідження демонструють, що пристрої такого класу можуть використовуватися не лише в освітніх або експериментальних цілях, а й у прикладних системах, де важливими є компактність, енергоефективність та безперервна робота [4]. Крім того, результати досліджень потокового мультимедійного передавання на Raspberry Pi підтверджують можливість

реалізації рішень із прийнятною затримкою навіть в умовах обмежених апаратних ресурсів [5]. У ширшому контексті відкриті електронні платформи розглядаються як основа для побудови інтелектуальних цифрових сервісів і гнучких edge-рішень [6].

Разом із тим аналіз наявних публікацій показує, що більшість робіт або зосереджені на загальних перевагах Raspberry Pi як універсальної платформи, або описують окремі сценарії використання, не приділяючи достатньої уваги архітектурі саме програмної системи радіомовлення, питанням обліку відтворень, логіці формування контенту та інтеграції зовнішніх службових повідомлень. Отже, проблема розроблення компактної програмної системи потокового радіомовлення з функціями керування контентом, автоматичного перемикавання потоків і фіксації статистики залишається актуальною.

**Короткий опис дослідження, його методів і засобів.** У роботі розглянуто побудову системи, орієнтованої на функціонування як edge-вузол локального або розподіленого мультимедійного мовлення. На відміну від підходів, де основна увага приділяється лише апаратній складовій, у дослідженні акцент зміщено на архітектуру програмної системи, що працює поверх одноплатної платформи та реалізує логіку обробки, керування і передавання аудіоданих.

Методологічно дослідження ґрунтується на поєднанні аналізу наукових джерел, порівняння програмних рішень для організації потокового мовлення, проектування архітектури системи, моделювання інформаційної структури даних та експериментального тестування прототипу. На етапі аналітичного опрацювання розглянуто клієнт-серверну модель IP-радіомовлення, типові підходи до використання серверів потокового мовлення, а також принципи роботи з аудіопотоками в реальному часі. Як серверний компонент для організації трансляції доцільно використовувати рішення класу Icecast, яке підтримує безперервне передавання потоку, роботу з декількома точками монтування та інтеграцію із зовнішніми джерелами аудіо [7].

Проектована система передбачає наявність кількох логічно пов'язаних модулів. Перший модуль відповідає за підготовку та подавання аудіопотоку на сервер мовлення. Другий модуль виконує функції керування контентом: формує послідовність композицій, вставляє рекламні та службові блоки, обробляє розклад трансляції. Третій модуль забезпечує інтеграцію зовнішніх повідомлень, тобто короткочасне переривання основного мовлення та передавання спеціального аудіосигналу з подальшим поверненням до основного потоку. Четвертий модуль реалізує збір статистики: фіксацію фактів відтворення, часу запуску треку, тривалості програвання, джерела контенту та параметрів конкретного сценарію мовлення. Програмну реалізацію основного модуля плеєра виконано мовою C++ із використанням допоміжних сценаріїв на

Python для автоматизації службових задач; для зберігання метаданих треків, плейлистів, журналу подій відтворення та налаштувань пристроїв застосовано реляційну базу даних. На рисунку 1 подано узагальнену архітектуру розробленої системи. Вона відображає взаємодію модулів формування контенту, потокового мовлення, інтеграції службових повідомлень та підсистеми збору статистики.

### Архітектура програмної системи потокового радіомовлення на платформі Raspberry Pi

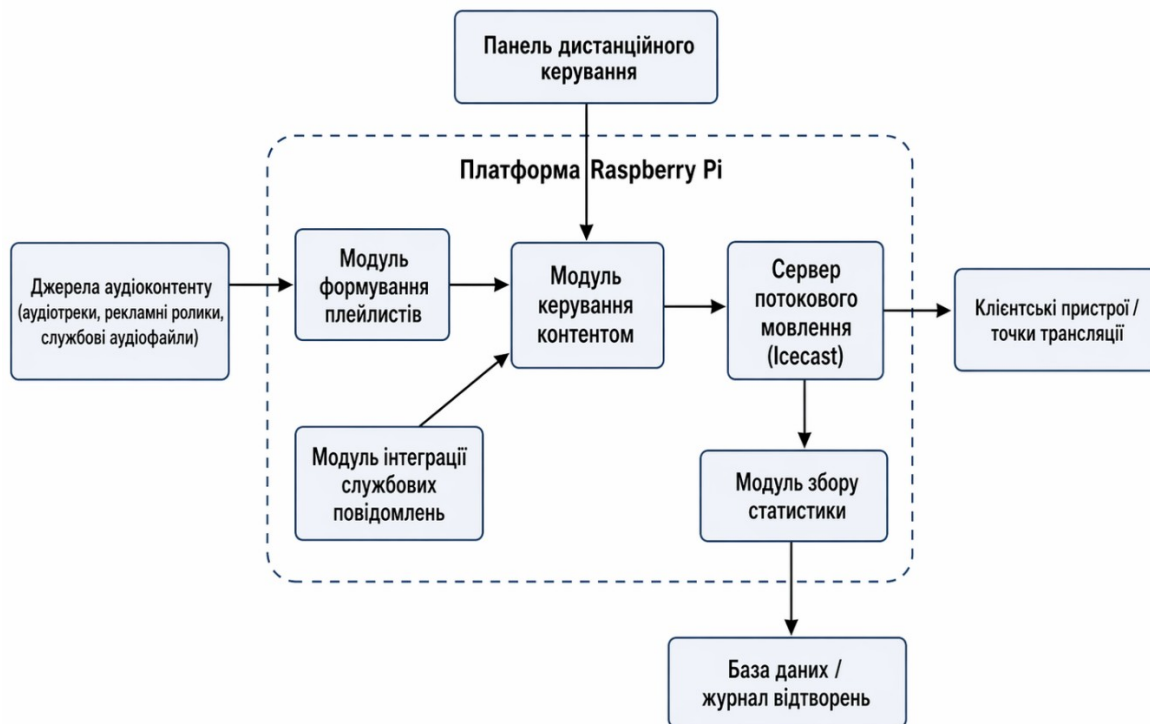


Рис. 1. Архітектура програмної системи потокового радіомовлення на платформі Raspberry Pi

Для системи такого типу важливим є не лише передавання потоку, а й організація структури даних. Тому окрема увага приділяється розробці інформаційної моделі. У ній можна виділити щонайменше такі основні сутності: трек, плейлист, клієнт/майданчик трансляції, рекламний блок, службове повідомлення, подія відтворення. Наявність таблиці або журналу подій відтворення створює основу для подальшого аналітичного опрацювання даних: підрахунку кількості програвань, визначення часових проміжків найбільш інтенсивного використання контенту, формування звітів щодо фактичного використання музичних творів.

Архітектурно система розглядається як поєднання edge-пристрою та програмних сервісів, що взаємодіють між собою через внутрішні інтерфейси. Raspberry Pi у такій моделі використовується не просто як носій операційної системи, а як вузол розгортання спеціалізованої програмної логіки. Такий підхід відповідає сучасним принципам edge

computing, де обробка частини даних і керування сервісом здійснюються максимально близько до точки використання контенту [6]. Це дає змогу зменшити залежність від зовнішньої інфраструктури, забезпечити вищу автономність та покращити керованість трансляції.

З огляду на прикладну спрямованість роботи, у межах дослідження також враховано вимоги українського правового поля. Закон України «Про медіа» визначає загальні засади функціонування медіасистем, а Закон України «Про авторське право і суміжні права» — правові основи використання музичних творів і пов'язаного з ними обліку [1; 2]. В умовах воєнного стану важливою є також можливість інтеграції механізмів інформування населення, що корелює із завданнями цивільного захисту [8]. Саме тому функція переривання мовлення службовими повідомленнями розглядається не як другорядне доповнення, а як окремий функціональний сценарій системи.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.**

У результаті проведеного дослідження сформовано концепцію програмної системи потокового радіомовлення, орієнтованої на використання в умовах обмежених апаратних ресурсів та потреби в гнучкому керуванні контентом. Система має модульну структуру, що спрощує її масштабування та супровід. Така структура дозволяє виокремити окремі функціональні блоки без надмірної залежності один від одного: модуль передавання потоку, модуль планування контенту, модуль службових вставок і модуль статистичного журналювання.

Одним із ключових результатів є формалізація алгоритму керування контентом. На відміну від лінійного відтворення статичного списку композицій, запропонований підхід враховує необхідність динамічної зміни сценарію мовлення. Це означає, що в загальний потік можуть вбудовуватися рекламні фрагменти, інформаційні вставки, службові сигнали або індивідуалізовані блоки для конкретного майданчика трансляції. Такий підхід є важливим для практичного використання в торговельних закладах, офісних приміщеннях, навчальних установах та інших об'єктах, де контент має відповідати часовому графіку, формату закладу або вимогам замовника.

Ще одним вагомим результатом є проектування підсистеми збору статистики відтворення. На відміну від спрощених рішень, де відтворення не фіксуються або зберігаються лише в системних логах, у запропонованій моделі статистика розглядається як самостійний інформаційний ресурс. Фіксація подій відтворення дозволяє отримати дані про фактичне використання музичних треків, рекламних блоків чи службових вставок. Це відкриває можливість формування звітів, які можуть застосовуватися як для внутрішнього моніторингу, так і для підтвердження легального використання музичного контенту.

Окремої уваги заслуговує підсистема інтеграції службових повідомлень. У межах дослідження її розглянуто як механізм пріоритетного перехоплення основного потоку. Логіка роботи полягає в тому, що за наявності зовнішнього тригера або запланованої події система тимчасово призупиняє звичайне мовлення, виконує відтворення службового повідомлення, а після завершення повертається до основного сценарію. Така функціональність є особливо важливою в українських умовах, де інформаційне середовище має бути здатним оперативно реагувати на сигнали безпеки та суспільно важливі події.

У технологічному аспекті результати дослідження підтверджують, що Raspberry Pi може ефективно виконувати роль вузла розгортання для системи такого класу. Перевагами платформи є доступна вартість, невелике енергоспоживання, стабільна робота в режимі тривалого функціонування та підтримка відкритого програмного забезпечення [3; 4]. Водночас проведений аналіз підкреслює важливість оптимізації програмної частини: за умов обмежених обчислювальних ресурсів необхідно зменшувати надлишкові фонові процеси, раціонально організовувати журналювання та уникати необґрунтовано складної логіки обробки даних.

Практично значущим результатом є також уточнення напрямів використання системи. Вона може застосовуватися як локальний вузол фонового аудіомовлення, як частина мережі синхронізованих точок трансляції або як автономний майданчик для окремого клієнта. Гнучкість у формуванні плейлистів і наявність статистичної підсистеми роблять таке рішення релевантним не лише для технічної реалізації мовлення, а й для управління контентом як ресурсом.

### **ВИСНОВКИ.**

У ході дослідження обґрунтовано доцільність розроблення програмної системи потокового радіомовлення на платформі Raspberry Pi як доступного та функціонального edge-рішення для передавання аудіоданих у комп'ютерних мережах. Показано, що сучасний підхід до організації цифрового мовлення має ґрунтуватися не лише на серверному передаванні потоку, а й на реалізації програмної логіки керування контентом, статистичного обліку та інтеграції зовнішніх повідомлень.

Науково-практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонована модель поєднує кілька важливих для сучасних систем функцій: потокову трансляцію, автоматизоване формування контенту, підтримку службових вставок і фіксацію подій відтворення. Така інтеграція створює передумови для побудови керованих, масштабованих і правомірних систем використання аудіоконтенту.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням повноцінної інформаційної моделі бази даних, удосконаленням алгоритмів автоматичного перемикання потоків, розширенням засобів віддаленого

адміністрування та побудовою веб-інтерфейсу для централізованого керування мережею вузлів мовлення.

### ДЖЕРЕЛА

1. Про медіа: Закон України від 13.12.2022 № 2849-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2849-20>
2. Про авторське право і суміжні права : Закон України від 01.12.2022 № 2811-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2811-20>
3. Johnston S. J., Cox S. J. The Raspberry Pi: A Technology Disrupter, and the Enabler of Dreams. *Electronics*. 2017. Vol. 6, No. 3. Article 51. DOI: 10.3390/electronics6030051.
4. Jolles J. W., Boogert N. J., Sridhar V. H., Couzin I. D., Manica A. Broad-scale Applications of the Raspberry Pi: A Review and Guide for Biologists. *Methods in Ecology and Evolution*. 2021. Vol. 12, No. 9. P. 1562–1579. DOI: 10.1111/2041-210X.13652.
5. Jennehag U., Forsstrom S., Fiordigigli F. V. Low Delay Video Streaming on the Internet of Things Using Raspberry Pi. *Electronics*. 2016. Vol. 5, No. 3. Article 60. DOI: 10.3390/electronics5030060.
6. Costa D. G., Duran-Faundez C. Open-Source Electronics Platforms as Enabling Technologies for Smart Cities: Recent Developments and Perspectives. *Electronics*. 2018. Vol. 7, No. 12. Article 404. DOI: 10.3390/electronics7120404.
7. Icecast documentation. URL: <https://icecast.org/docs/>
8. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17>
9. Rathbone B. Raspberry Pi Internet Radio Constructors Manual: A Comprehensive Guide to Building Internet Radios Using the Raspberry Pi and MPD (Music Player Daemon). Version 7.4. Bob Rathbone Computer Consultancy, 2023.