УДК 004.8:004.3:621.39

РОЗРОБКА МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ IOT-СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ ТА ПРЕДИКТИВНОЇ БЕЗПЕКИ

Попік С. В.
Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, Одеса
9480540@stud.op.edu.ua

Анотація. *У роботі представлено результати проєктування та розробки мультимодальної IoT-системи клімат-контролю та предиктивної безпеки. Досліджено архітектуру апаратного забезпечення на базі мікроконтролерів ESP32 та STM32, а також інтеграцію сценаріїв автоматизації Make.com. Розглянуто впровадження великих мовних моделей (Gemini API) для забезпечення інтелектуального предиктивного моніторингу та агрегації звітів у середовище Obsidian.*

Ключові слова: *IoT; клімат-контроль; предиктивна безпека; мікроконтролери; розумний дім; LLM; Make.com.*

Вступна частина. У сучасному світі інтелектуальні системи управління мікрокліматом та безпекою приміщень (IoT-системи, або системи класу «розумний дім») стають критично важливою складовою як житлової, так і промислової інфраструктури. Зростання вимог до енергоефективності, загального комфорту та запобігання надзвичайним подіям зумовлює необхідність побудови комплексних рішень, що здатні вчасно виявляти приховані загрози. Більшість існуючих на ринку комерційних рішень покладаються на закриті хмарні платформи та жорсткі порогові сценарії обробки сигналів. Це створює затримки передачі даних, робить сервіс вразливим до мережевих збоїв та обмежує адаптивність логіки запобігання аваріям (Харченко & Морозова, 2020). Актуальним є створення гібридних систем, які поєднують надійне багаторівневе апаратне керування реального часу з гнучкими сервісами оркестрації потоків даних та інструментами штучного інтелекту для розширеного предиктивного аналізу.

Мета роботи – спроєктувати та дослідити прототип мультимодальної IoT-системи клімат-контролю та предиктивної безпеки, яка базується на синергії мікроконтролерів ESP32 і STM32, візуальних сценаріїв оркестрації даних Make.com та інтеграції великих мовних моделей (Gemini API) для раннього виявлення аномальних трендів і формування аналітичних звітів.

Основна частина. Архітектура розробленої системи побудована на багаторівневому принципі обробки інформації та розподілу функціональних завдань:

Апаратний рівень та розподіл обчислень. Сенсорна та керівна підсистема реалізована на двох комплементарних мікроконтролерах. Для безперервного апаратного опитування сенсорних ліній і прямого низькорівневого захисту застосовано 32-бітний контролер STM32, що функціонує як надійний співпроцесор реального часу (Smith, 2022). Комунікаційним координатором виступає ESP32, який акумулює телеметрію, забезпечує мережеву взаємодію через Wi-Fi та передає пакети на наступні рівні системи.

Сенсорний вузол і схемотехніка. Комплекс датчиків включає сенсори температури, вологості (DHT22/BME280), газоаналізатори горючих і токсичних газів (серія MQ), а також оптичні й термічні датчики полум'я. Проєктування та оптимізація трасування друкованих плат проводилися у системі EasyEDA, а схемотехнічне моделювання й верифікація захисних кіл —

у Proteus (Monk, 2017). Для захисту чутливих сенсорів та стабілізації напруги використано лінійні регулятори з низьким рівнем шумів, а для безпечної комутації силових навантажень — оптопари.

Програмна інфраструктура та контейнеризація. Мікропрограмне забезпечення розроблено на C/C++ у середовищі VS Code. Локальні допоміжні модулі агрегації даних реалізовано мовою Python 3.11 та загорнуто у контейнери Docker для швидкого й ізольованого розгортання на сервері (Miell & Sayers, 2019).

Оркестрація потоків та сценарії автоматизації. Маршрутизація даних, первинна фільтрація телеметрії та ініціація керуючих дій виконуються через візуальні сценарії Make.com (Make Automation Platform, 2023). Отримуючи дані від ESP32 через Webhook, Make.com направляє параметри за налаштованими фільтрами, активує релейні модулі вентиляції та за заданою періодичністю агрегує масиви спостережень для предиктивного аналізу.

Предиктивна модель безпеки та генерація знань. Замість статичного контролю порогів, часові ряди передаються через REST API до Gemini API (Achiam et al., 2023). Велика мовна модель виконує контекстний аналіз факторів (наприклад, повільне зростання температури в електрошафі разом із падінням вологості), оцінюючи ризик аварії ще до спрацювання сповіщувача. Сформовані звіти автоматично експортуються до бази знань Obsidian (Obsidian Knowledge Base, 2024).

Висновки. Запропонована комбінація розподіленого апаратного ядра (ESP32 + STM32), сценаріїв Make.com та LLM Gemini API забезпечує підвищення відмовостійкості системи клімат-контролю та дозволяє перейти від пасивного сповіщення про аварії до їх предиктивного попередження. Експериментальне стендове тестування підтвердило надійність передачі даних і високу чутливість алгоритмів інтелектуальної детекції аномалій.

Використання інструментів ШІ. ШІ Gemini 1.5 Pro (Google) використовувався з метою пошуку інформації та дослідження сервісів для виконання певних задач для розробки ПЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Achiam, J., Adler, S., Agarwal, S., Ahmad, L., Akkaya, I., Aleman, F. L., & Zoph, B. (2023*). GPT-4 technical report.* arXiv preprint arXiv:2303.08774. https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774

[2] Make. (2023). *Make visual automation platform documentation.* https://www.make.com/

[3] Miell, I., & Sayers, A. H. (2019). *Docker in practice* (2nd ed.). Manning Publications.

[4] Monk, S. (2017). *Practical electronics for inventors* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

[5] Obsidian. (2024). *Obsidian help and core architecture guide*. https://help.obsidian.md/

[6] Smith, A. D. (2022). *Embedded systems architecture: Explore architectural concepts* (2nd ed.). Packt Publishing.

[7] Харченко, В., & Морозова, О. (2020). *Інтернет речей: технології, протоколи, застосування.* Наукова думка.

Popik Stanislav

DEVELOPMENT OF A MULTIMODAL IOT CLIMATE CONTROL AND PREDICTIVE SAFETY SYSTEM

Abstract*. The paper presents the design and development of an advanced multimodal IoT climate control and predictive safety system. The hardware architecture based on ESP32 and STM32 microcontrollers is explored, alongside the integration of local automation tools via Docker and Make.com. The implementation of large language models (Gemini API) for intelligent predictive monitoring and report aggregation into the Obsidian environment is discussed.*

Keywords: *IoT; climate control; predictive safety; microcontrollers; smart home; LLM; Make.com.*