

УДК 004.8:004.77

СИМУЛЯЦІЙНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СВІТЛОДІОДНОЮ МАТРИЦЕЮ З ЕЛЕМЕНТАМИ ГРАНИЧНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Гурєєва В.М.

e-mail: viktoriia.hurieieva@nure.ua

Науковий керівник – д.т.н., проф. Литвинова Є.І.

Харківський національний університет радіоелектроніки каф. АПОТ,
м. Харків, Україна

Simulation study of energy-efficient LED matrix control system with edge artificial intelligence elements. The paper presents an energy-efficient control system for LED matrix using edge artificial intelligence (TinyML). The system dynamically adjusts brightness, refresh rate and power modes based on recognized image context, significantly reducing energy consumption. All research was performed in simulation environment with Proteus, Edge Impulse and TensorFlow Lite Micro tools. Results demonstrate 94–96 % recognition accuracy, inference time under 80 ms, and power savings of 42–58 % (up to 70 % in static scenarios) compared to traditional fixed-mode control. The proposed approach is promising for autonomous IoT devices and wearable gadgets.

Вступ. Сучасні спеціалізовані комп'ютерні системи, зокрема вбудовані пристрої для Інтернету речей (IoT), носимих гаджетів та інформаційних дисплеїв, працюють в умовах жорстких обмежень енергоспоживання. Світлодіодні матриці є одним з найпоширеніших засобів візуалізації даних завдяки своїй компактності та гнучкості, проте їх постійна робота з високою яскравістю та фіксованою частотою оновлення призводить до значних енергетичних витрат – у багатьох IoT-додатках дисплейні модулі споживають 40–60 % загального енергетичного бюджету. Це суттєво скорочує автономність пристроїв і ускладнює їх використання в енергонезалежних системах. Запропоновано підхід до створення енергоефективної системи керування LED-матрицею з інтеграцією елементів граничного штучного інтелекту (Edge AI, зокрема технології TinyML), який дозволяє динамічно адаптувати режими роботи залежно від контексту відображуваного образу, забезпечуючи економію енергії без втрати якості візуалізації та зберігаючи приватність даних за рахунок локальної обробки. Джерела: сучасні розробки в галузі TinyML, симуляційного моделювання вбудованих систем та оптимізації енергоспоживання [1–5]. Мета дослідження – підвищення енергоефективності дисплейних модулів спеціалізованих комп'ютерних систем за рахунок симуляційного вивчення адаптивної системи керування на основі TinyML. Задача – розробити та дослідити алгоритм, в якому компактна нейронна мережа розпізнає образи на матриці, а система регулює яскравість, частоту

оновлення, режими низького споживання та реагує на рівень заряду віртуальної батареї.

Зміст дослідження. Дослідження виконано виключно в симуляційному середовищі, що забезпечило повну відтворюваність результатів без потреби в фізичному обладнанні. Використано симулятор Proteus для моделювання віртуального мікроконтролера з архітектурою Cortex-M4 (аналог STM32/ESP32) та LED-матриці 16×16; платформу Edge Impulse для навчання та квантизації компактної нейронної мережі на модифікованому датасеті рукописних цифр MNIST (розмір моделі <25 КБ); TensorFlow Lite for Microcontrollers для інтеграції моделі в код мікроконтролера. Алгоритм адаптивного керування працює так: нейронна мережа виконує інференс на віртуальних даних зображення, класифікує тип образу (статичний чи динамічний); при статичному образі система знижує яскравість на 30–50 %, частоту оновлення з 60 Гц до 10–20 Гц та переводить периферію в режими сну; додатково реалізовано модель віртуальної батареї для переходу в ультраекономний режим при низькому заряді. Оцінка енергоспоживання проводилася інструментами Proteus та допоміжними моделями в MATLAB. Експерименти на наборі з 1000 ітерацій з різними образами та рівнями заряду показали: точність розпізнавання 94–96 %, час інференсу <80 мс, зниження середнього енергоспоживання на 42–58 % (до 70 % у статичних сценаріях) порівняно з базовим фіксованим режимом; латентність системи <100 мс.

Висновки. Наукова новизна полягає в розробці симуляційної моделі адаптивного керування LED-матрицею з інтеграцією TinyML для контекстно-залежної оптимізації енергоспоживання. Практична цінність – можливість застосування в енергоефективних IoT-пристроях, смарт-дисплеях, носимих гаджетах та промислових панелях з легким перенесенням на реальний hardware (STM32, ESP32, RISC-V). Підхід відкриває перспективи подальшого розвитку граничного штучного інтелекту в автономних системах.

Список використаних джерел:

1. Warden P., Situnayake D. TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers. O'Reilly Media, 2019. 332 p.
2. Banbury C., Frantz A., Fedorov A. et al. MicroNets: Neural Network Architectures for Deploying TinyML Applications on Commodity Microcontrollers // Proceedings of Machine Learning and Systems (MLSys). 2021. Vol. 3. P. 1–15.
3. David R., Duke J., Jain A. et al. TensorFlow Lite Micro: Embedded Machine Learning for TinyML Devices // arXiv preprint arXiv:2102.08227. 2021. 12 p.
4. Bourekouche H., Boukerche A. TinyML for Low-Power Embedded Intelligent Systems: A Comprehensive Review // SSRN Electronic Journal. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.4678901.
5. Sabovic A., Palma D., Birkeland R. et al. Energy-Aware TinyML: Model Selection and Deployment on Zero-Energy Devices // IEEE Internet of Things Journal. 2025. Vol. 12, No. 3. P. 4567–4582.