

УДК 004.052.4

**МОДЕЛЬ КОНТЕКСТНО-ЗАЛЕЖНОЇ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМИ
КОРЕКЦІЇ ПОМИЛОК ДЛЯ ЕНЕРГООБМЕЖЕНИХ
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

Сергієнко В.І.

e-mail: vladyslav.serhiienko@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н, доц. Філіппенко І.В.

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

This work addresses data integrity in distributed systems like IoT and Edge Computing, where static error correction methods are inefficient in variable environments. This paper proposes an FPGA-oriented adaptive model that dynamically switches coding modes, from Bypass and Hamming to LDPC, based on channel state, battery levels, and QoS. Controlled by a finite state machine with hysteresis, the system uses clock gating to reduce power consumption. Analytical results confirm that this approach ensures reliability while extending node autonomy, offering a vital strategy for the next generation of resilient, self-organizing sensor networks.

Сучасний розвиток концепцій Інтернету речей (IoT) та Індустрії 4.0 ставить перед розробниками складні завдання щодо забезпечення надійності передачі даних. Велика кількість автономних вузлів функціонує в умовах нестабільного електромагнітного фону та обмежених енергетичних ресурсів. Традиційні підходи до завадостійкого кодування (FEC), що базуються на парадигмі «найгіршого випадку» (worst-case design), виявляються неефективними. Дослідження в галузі енергоефективних сенсорних мереж та систем NB-IoT підтверджують, що використання статичних методів за сприятливих умов каналу призводить до нераціонального споживання заряду батареї та зниження пропускну здатності [1, 2].

Метою даної роботи є розробка апаратно-орієнтованої моделі адаптивної системи корекції помилок, яка б динамічно підлаштовувала параметри кодування під поточний стан середовища та внутрішній ресурс пристрою.

Запропонована модель базується на інтеграції трьох функціональних доменів: блоку моніторингу, блоку вибору режиму та адаптивного кодера (рис. 1). На відміну від класичних систем, де рішення приймає лише приймач, запропонована модель реалізує гібридний підхід з локальним моніторингом на стороні передавача, що мінімізує затримки зворотного зв'язку.

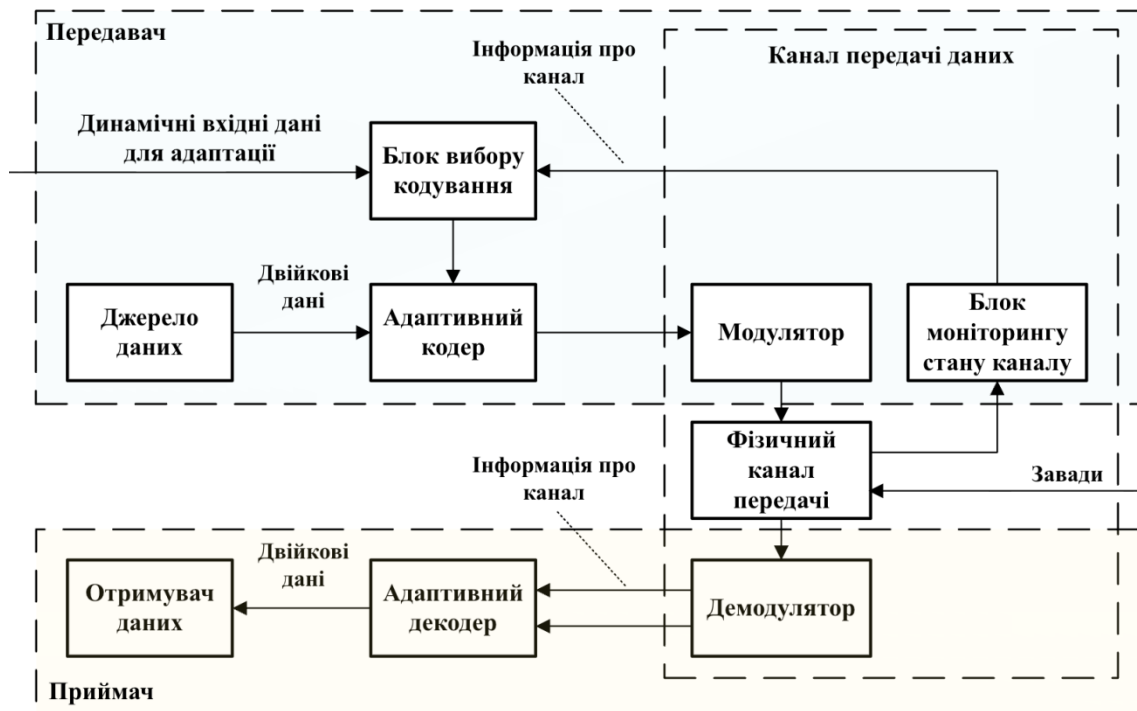


Рис. 1 – Узагальнена структура адаптивної системи

Функціонування запропонованої адаптивної системи реалізується через перехід між станами скінченного керуючого автомата (FSM), де кожен стан відповідає одній з трьох базових стратегій (режимів). Вибір режиму визначається комбінацією вхідних параметрів: оцінкою стану каналу (SNR або еквівалентні метрики) та системними обмеженнями (рівень заряду батареї, політики QoS, вимоги до затримки). Для уникнення частих непотрібних перемикань (ефекту "ring-pong") у порогові значення введено гістерезис – різні пороги для переходу вгору та вниз.

Енергозберігаючий режим активується при високому співвідношенні сигнал/шум ($SNR > 10\text{dB}$). Використовується режим «прозорості» або прості коди Геммінга.

Захищений режим вмикається при погіршенні каналу ($SNR < 5\text{dB}$). Система активує потужні LDPC-коди [3]. Це збільшує обчислювальні витрати, але запобігає масовим запитам на повторну передачу (ARQ), які споживають набагато більше енергії радіомодуля.

Критичний режим активується при критичному розряді батареї ($< 10\%$). Пріоритетом стає виживання вузла. Система переходить на прості коди повторення або мінімальне кодування, щоб максимально продовжити час автономної роботи.

Важливою перевагою запропонованого підходу є можливість використання адаптивних комбінованих схем кодування, що дозволяють заощаджувати значну частину енергії вузла в кластеризованих мережах [4]. Апаратна реалізація на базі ПЛІС (FPGA) дозволяє здійснювати реконфігурацію обчислювальних блоків у реальному часі без затримок,

характерних для програмних рішень. Застосування низькорівневої техніки Clock Gating дозволяє «заморожувати» неактивні блоки LDPC-кодера та декодера, що радикально знижує динамічне енергоспоживання цифрового ядра в енергозберігаючому режимі.

Висновки. Запропонована модель дозволяє досягти оптимального балансу між надійністю, швидкістю та енергоефективністю. Інтеграція параметрів каналу, стану батареї та вимог QoS у єдиний контур управління є необхідним кроком для створення автономних інтелектуальних мереж майбутнього.

Список використаних джерел:

1. Alhmiedat T. An Adaptive Energy-Efficient Data Collection System for ZigBee Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2015. Vol. 11, no. 12.
2. Migabo E., Djouani K., Kurien A. An Energy-Efficient and Adaptive Channel Coding Approach for Narrowband Internet of Things (NB-IoT) Systems. *Sensors*. 2020. Vol. 20, no. 12.
3. Gallager R. Low-density parity-check codes. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1962. Vol. 8, no. 1. P. 21–28.
4. Daanoun I., Baghdad A. ACC-LDPC and ACC-RS/LDPC Schemes for Reliable and Energy-Efficient Multi-hop Wireless Sensor Network. *International Journal of Wireless Information Networks*. 2023.