

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

Wydział Automatyki, Elektroniki  
i Informatyki

STRESZCZENIE

mgr inż. Jakub Hyla

Efektywne kodowanie korekcyjne dla systemów  
transmisji w Internecie rzeczy

Promotor

dr hab. inż. Wojciech Sułek, prof. PŚ

Gliwice, 2024



# 1 Streszczenie

Rola Internetu rzeczy (IoT) w obecnym życiu społecznym i gospodarczym jest niezwykle istotna i prawdopodobnie będzie nadal wzrastać w przyszłości. Badania nad protokołami transmisji, włączając w to kodowanie korekcyjne, mają duże znaczenie dla efektywnego funkcjonowania Internetu rzeczy. Urządzenia IoT operują w różnorodnych warunkach środowiskowych i komunikują się przez różne typy sieci, korzystając z różnych protokołów, w szczególności w łączach do węzłów końcowych sieci, np. typu WSN (ang. *Wireless Sensor Network*). Efektywne protokoły transmisji, wraz z mechanizmami korekcji błędów, są niezbędne dla zapewnienia niezawodnej komunikacji, minimalizacji opóźnień oraz optymalizacji zużycia energii.

Prace badawcze przeprowadzone w ramach rozprawy skupiały się na analizie oraz ocenie wydajności zaawansowanego kodowania korekcyjnego, w szczególności kilku wariantów kodowania LDPC (Low-Density Parity-Check), w kontekście ich zastosowania w protokołach komunikacyjnych dedykowanych dla systemów Internetu rzeczy. Kodowanie LDPC, ze względu na swoje możliwości korekcyjne, jest uznawane za jedną z najbardziej efektywnych znanych i stosowanych metod. Badania obejmowały strukturę i parametry tych kodów, metody konstrukcji, kodowania, i implementacji w układach stanowiących bazę typowych systemów wbudowanych urządzeń IoT.

W ramach prac badawczych opracowano efektywne energetycznie rozwiązania algorytmów kodowania i dekodowania LDPC, zoptymalizowane pod kątem implementacji w mikrokontrolerach. Istotnym aspektem było uwzględnienie ograniczonych zasobów obliczeniowych i pamięciowych charakterystycznych dla sprzętu w urządzeniach, zwłaszcza tych związanych z Internetem rzeczy. Uzyskane wyniki wskazują, że kody LDPC, typowo stosowane w zaawansowanych systemach z implementacją sprzętową w dedykowanych układach cyfrowych, mogą znaleźć zastosowanie także w urządzeniach o silnie ograniczonych zasobach, szczególnie przy transmisji w kierunku w górę (ang. *uplink*). Mogą przynieść istotne korzyści w zakresie efektywności energetycznej oraz skuteczności korekcji błędów, w porównaniu z tradycyjnymi kodami blokowymi.

Następnie starano się wskazać możliwości dodatkowego zwiększenia efektywności energetycznej poprzez zaproponowanie i implementację adaptacyjnego schematu kodowania. Analizowano zastosowanie adaptacyjnych strategii kodowania

dla kodów QC-LDPC. Obiecującym kierunkiem wydały się kody typu Raptor (ang. RL – *Raptor Like*). Badania obejmowały rozwój architektury systemu z elastyczną konstrukcją kodów RL QC-LDPC oraz implementację w urządzeniu IoT. Eksperymenty oceniły wydajność transmisji z urządzenia IoT do bramki, ze szczególnym uwzględnieniem efektywności energetycznej adaptacyjnego kodowania, z redundancją przyrostową. Wykazano, że krótkie bloki QC-RL-LDPC mogą osiągnąć wyższą efektywność energetyczną niż kody LDPC o stałej długości.

Kolejne prace badawcze ukierunkowano na zastosowania kodów niebinarnych (NB). Przeprowadzono analizę potencjalnego wykorzystania kodów NB-LDPC, wykonano implementacje koderów, zaproponowano oryginalne metody dekodowania kodów typu Raptor oraz opracowano algorytm tworzenia macierzy kontrolnych kodów NB QC-RL-LDPC. Podkreślono istotność wydajności implementacji algorytmu kodowania, sugerując, że skuteczne wdrożenie kodów niebinarnych może przynieść dodatkowe korzyści, a koder może być efektywnie zaimplementowany w układzie mikrokontrolera. Wnioski z przeprowadzonych badań wskazują na obiecujące perspektywy zastosowania kodów NB-LDPC, zarówno pod względem efektywności energetycznej, jak i ogólnej wydajności systemów komunikacyjnych. W ramach eksperymentów porównano zależności czasowe dla różnych kodów nad ciałami Galois (GF), co pozwoliło ocenić wpływ wyboru kodu na potencjalne zużycie energii. Określono możliwości korekcyjne i pokazano, że opracowane kody, wraz z algorytmem dekodowania, dają lepsze możliwości niż binarne kody standardu 5G, a jednocześnie jest możliwa efektywna implementacja kodera, która może być skutecznie wykorzystana w transmisji w łączy w górę.