

УДК 621.391

Зуб Р.І.¹, Климаков О.Є.¹, Зеленцова І.Я.²

¹студ. гр. КНТ-515м НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

РЕЗЕРВУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ КОДЕРІВ У ЗАШУМЛЕНИХ КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ

Згорткові коди широко використовуються в цифрових комунікаціях для забезпечення надійної передачі даних через зашумлені канали. Коди цього класу набули актуальності завдяки своїй ефективній реалізації та хорошій продуктивності при відносно низькій складності декодування в порівнянні з блочними кодами, особливо в каналах з випадковими помилками.

Згорткові коди знайшли широке застосування у сценаріях, де критично важлива надійна передача даних по зашумленим каналам. На відміну від блокових кодів, які кодують фіксовані блоки вхідних даних незалежно, згорткові коди використовують пам'ять для генерації вихідних бітів. Кожен вихідний біт (кодовий символ) є результатом згортки (лінійної комбінації

mod2) поточного вхідного біта та певної кількості попередніх вхідних бітів [1].

У дослідженні було розглянуто підхід до підвищення надійності передачі пакетів даних у зашумлених і критично важливих каналах. Для передачі пакетів інформації в зашумлених каналах, в якості базового рішення, обрано згортковий кодер і відповідний декодер Вітербі. Для підвищення надійності/резильєнтності критично важливого каналу пропонується подвійне резервування - три згорткові кодери із різною глибиною кодування. Для аналізу достовірності інформації на боці декодера використовується схема мажоритара. З метою мікромініатюризації імплементація схем пропонується на сучасних високотехнологічних мікросхемах FPGA.

Резервування є ефективним і розповсюдженим заходом з підвищення надійної та безвідмовної роботи різноманітних систем і пристроїв. При цьому має бути обґрунтована економічна доцільність використання додаткових резервних елементів, а також врахований фактор впливу резерву на такі характеристики резервованої системи, як її вага, габарити, енергоспоживання.

Для реалізації резервованої схеми кодування інформації в зашумлених мережах критичного призначення доцільно використати ПЛІС, оскільки вона забезпечує паралельну обробку даних, високу швидкість, детермінований час роботи та можливість гнучко змінювати структуру схеми без повної заміни апаратної бази. Крім того, ПЛІС зручно застосовувати для резервування, оскільки на ній можна реалізувати основний і резервні канали кодування та оперативно перемикатися між ними залежно від стану каналу або апаратного модуля.

В дослідженні розроблено та експериментально проаналізовано характеристики трьох схем згорткових кодерів, а саме з параметрами (3-1-3), (2-1-4) та (2-1-5). Як основний, доцільно обрати кодер 2-1-5, оскільки він має найбільшу глибину пам'яті серед розглянутих варіантів, і тому забезпечує вищу завадостійкість кодування, що є пріоритетним для критичних мереж із високим рівнем зашумлення. Кодери 3-1-3 і 2-1-4 доцільно використовувати як резервні, оскільки вони мають простішу структуру, меншу апаратну складність і можуть бути задіяні у випадках, коли потрібно зменшити затримку, спростити реалізацію або забезпечити працездатність системи при відмові основного каналу кодування. Такий підхід дозволяє поєднати високу надійність роботи з гнучкістю апаратної реалізації.

Швидкість кодування та глибина кодування мають прямий вплив на складність проектування згорткового кодеру. Чим більша швидкість кодування, тим менше надлишкових бітів утворює кодер, але тим вимогливішою стає схема до точності побудови таблиць переходів і вихідних

комбінацій, що підвищує трудомісткість і ймовірність помилок під час ручного розрахунку.

Глибина кодування також суттєво впливає на складність: чим вона більша, тим більше станів потрібно описати, перевірити та реалізувати в логіці, а отже зростає кількість можливих помилок у таблицях істинності, переходах і VHDL-описі. Водночас зі збільшенням глибини зростають і апаратні витрати, оскільки потрібна більша кількість тригерів, ширший регістр зсуву та складніша комбінаційна логіка. Тому кодери з меншою глибиною простіші в реалізації, але менш ефективні за завадостійкістю, а кодери з більшою глибиною дають кращий захист інформації ціною більшої складності схеми.

Для реалізації трьох кодерів розглядаються три типи ПЛІС з різним співвідношенням ціна/продуктивність. Для економної реалізації розглянуто CPLD MAX V 5M40ZE64C4N, яка цілком достатня для синтезу трьох кодерів 3-1-3, 2-1-4, 2-1-5 з резервуванням. При можливому розширенні функціоналу (додавання декодера Вітербі, множинне кодування, DSP-блоки) рекомендується FPGA Cyclone IV EP4CE6F17C8N через більший ресурс логічних елементів. Схема без оптимізації поліномів займає аналогічні апаратні ресурси, оскільки основний обсяг витрат припадає на регістри зсуву та тригери пам'яті, а не на комбінаційну логіку XOR. Quartus II на етапі синтезу автоматично оптимізує логічні вирази поліномів, тому ручне спрощення дає мінімальний ефект при даній архітектурі кодерів.

Подальшою задачею є розробка відповідних схем декодерів та використання мажоритару на боці приймача пакетів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sidorenko V. R., Li W., Günlü O., Kramer G. Skew Convolutional Codes. MDPI Entropy. 2020. 22(12):1364. DOI:10.3390/e22121364.