Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет

РТПСАС 2020 RTPSAS

Міжнародна науково-технічна конференція

РАДІОТЕХНІЧНІ ПОЛЯ, СИГНАЛИ, АПАРАТИ ТА СИСТЕМИ

Матеріали конференції
16 – 22 листопада 2020
Київ, Україна

International
Scientific and Technical Conference

RADIOENGINEERING FIELDS, SIGNALS, DEVICES AND SYSTEMS

Conference Proceeding
November 16– 22, 2020
Kyiv, Ukraine

Київ — 2020

АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ LDPC-КОДІВ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТЕХНОЛОГІІ 5G

Пятін І.С., к.т.н. доцент; Бойко Ю.М. д.т.н. професор
Хмельницький національний університет, Хмельницький, України

Коди LDPC визначаються за допомогою розріджених матриць перевірки на парність. Структуровані коди LDPC будуються на основі протографа або алгебраїчних методів [1]. Конструкція протографа полягає в тому, щоб скопіювати базовий граф (BG) Z разів, а потім з'єднати ці копії, переставляючи ребра окремих копій. Параметр Z називається коефіцієнтом розширення або розміром підйому.

Перевагами структурованих квазіциклічних кодів (QC-LDPC): простота реалізації декодера, низькі вимоги до пам'яті для зберігання перевірочних матриць і хороші показники корекції помилок. В даний час QC-LDPC коди широко використовуються в стандартах цифрового мовлення - DVB-S2/T2/C2, в стандартах систем зв'язку і комунікацій - WiMax, WLAN, тощо. Для бездротових систем зв'язку QC-LDPC коди перспективні, оскільки полегшують апаратурну реалізацію перевірочних матриць і тим самим дозволяють легко регулювати довжину коду і швидкість кодування.

Коди QC-LDPC були прийняті в якості схеми канального кодування для каналу даних 5G eMBB. LDPC коди визначаються їх перевірочними матрицями. Перевірочна матриця задається масивом циркулянтів (перестановочних матриць).

Матриця H перевірки на парність QC-LDPC коду складається з масиву циркулянтних матриць перестановок і нульових матриць однакового розміру, наприклад,

$$H = \begin{bmatrix} Q(p_{0,0}) & Q(p_{0,1}) & \cdots & Q(p_{0,n_b-1}) \\ Q(p_{1,0}) & Q(p_{1,1}) & \cdots & Q(p_{1,n_b-1}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Q(p_{m_b-1,0}) & Q(p_{m_b-1,1}) & \cdots & Q(p_{m_b-1,n_b-1}) \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

Структура матриці H приведена на рис. 1. Матриця H має взаємно однозначне відображення з наступною матрицею:

$$P = \begin{bmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & \cdots & p_{0,n_b-1} \\ p_{1,0} & p_{1,1} & \cdots & p_{1,n_b-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m_b-1,0} & p_{m_b-1,1} & \cdots & p_{m_b-1,n_b-1} \end{bmatrix}$$

де P - експонентна матриця, кожен запис в P називається значенням зсуву. Для адаптації різної довжини інформації, для однієї експонентної матриці рекомендується декілька розмірів підйому.

Циркулянт є квадратною матрицю ($b \times b$), в якій кожний наступний рядок є циклічним зсувом вправо попереднього рядка. LDPC код визначається матрицею розміром $n \times m$ де n довжина коду і m число перевіроч-них бітів в коді [2]

Канальне кодування є однією з ключових технологій, і повинно підтримувати, більшу щільність користувачів, кращу взаємодію з користувачем, широкий діапазон кодових швидкостей, довжин кодів і форматів модуляції. 3GPP пропонує, щоб довжина коду eMBB знаходилась в межах від 100 до 8000 біт, а кодова швидкість - від 1/5 до 8/9. Залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними видами модуляції, кодовими швидкостями і транспортними блоками приведена на рис. 2, 3 та 4.

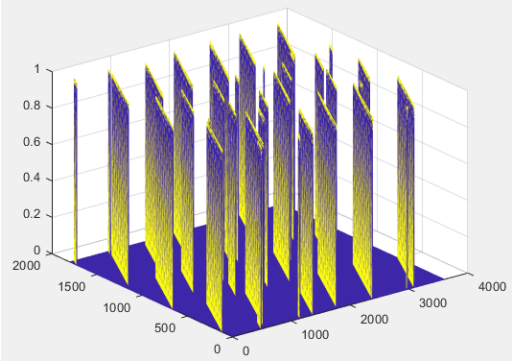

Рисунок 1. Структура матриці *H* перевірки на парність коду QC-LDPC

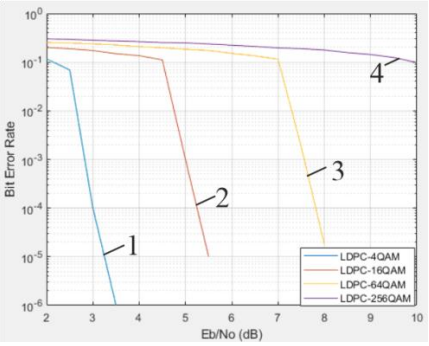

Рисунок 2. Графік завадостійкості для коду LDPC і модуляцією: 1 – 4QAM; 2 – 16QAM; 3 – 64QAM; 4 – 256QAM

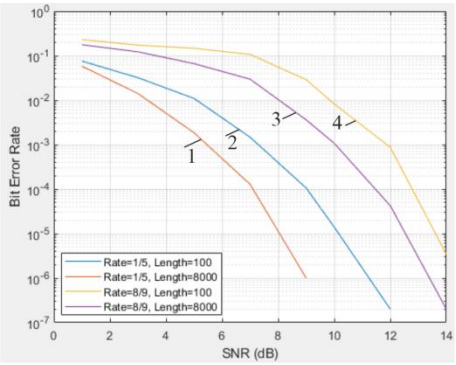

Рисунок 3. Графік завадостійкості для коду LDPC для різного значення кодової швидкості і довжини транспортного блоку: 1 – Rate=1/5, length=8000; 2 – Rate=1/5, length=100; 3 – Rate=8/9, length=8000; 4 – Rate=8/9, length=100

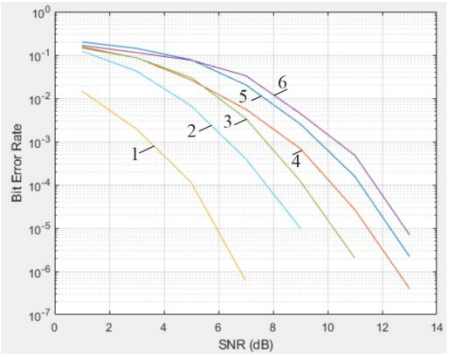

Рисунок 4. Графік завадостійкості для коду LDPC для різної довжини транспортного блоку: 1 – Rate=0,15, length=5000; 2 – Rate=0,4, length=9000; 3 – Rate=0,6, length=6000; 4 – Rate=0,5, length=1000; 5 – Rate=0,7, length=290; 6 – Rate=0,9, length=500

Зокрема, на рис. 3 приведені експериментальні залежності кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з максимально і мінімально підтримуваними значеннями кодової швидкості і довжини транспортного блоку.

На рис. 4 представлено залежність кількості бітових помилок від відношення сигнал-шум для коду LDPC з різними значеннями кодової швидкості і довжини транспортного блоку, що відповідають BG1 і BG2.

Результати дослідження дозволяють встановити, що найбільшу енергетичну ефективність мають коди великої довжини та низької швидкості. Найменшу енергетичну ефективність мають коди малої довжини та високої швидкості. Для кодової швидкості 1/5 перехід від найбільшої до найменшої довжини кодової послідовності знижує енергетичну ефективність на 2 дБ. Для кодової швидкості 8/9 перехід від найбільшої до найменшої довжини кодової послідовності знижує енергетичну ефективність на 1 дБ. BG2 забезпечую більш високу енергетичну ефективність, ніж BG1. BG1 забезпечує більш високу швидкість передачі інформації (велика довжина транспортного блоку і висока швидкість), що призводить до зменшення енергетичної ефективності.

Перелік посилань

1. Li H. Algebra-Assisted Construction of Quasi-Cyclic LDPC Codes for 5G New Radio / H. Li, B. Bai, X. Mu, J. Zhang, H. Xu // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 50229-50244.

2. Пятін І.С. Дослідження енергетичної ефективності канального кодування даних користувача кодами LDPC для систем зв'язку 5G / І.С. Пятін, Ю.М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2020. - №3. - С.170-181.

Анотація

Розглянуті особливості квазіциклічних кодів QC-LDPC, що використовуються для даних користувача транспортного каналу широкосмугового мобільного зв'язку 5G. Проаналізовані особливості побудови кодів, їх перевірочних і експонентних матриць. Досліджена енергетична ефективність LDPC кодів при зміні кодової швидкості, довжини транспортного блоку. Дана характеристика принципів побудови кодів QC-LDPC з декількома розмірами підйому, що дозволяє регулювати довжину коду і швидкість кодування.

Ключові слова: коди LDPC, протограф, канальне кодування, модуляція

Abstract

The features of quasicyclic QC-LDPC codes used for user data of the 5G broadband transport channel are considered. Peculiarities of code construction, their verification and exponential matrices are analyzed. The energy efficiency of LDPC codes at change of code rate, length of the transport block is investigated. This characteristic of the principles of QC-LDPC code construction with several lifting sizes, which allows you to adjust the code length and encoding rate.

Keywords: LDPC codes, protograph, channel coding, modulation