

## СХЕМА КОДОВАНОЇ КООПЕРАЦІЇ

**Афанасьєва Л. О., Кравчук С.О., Шевченко І.І., Рисцова К.І.**  
*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*  
*Компанія «Інфопульс Україна»*  
*E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com*

### **Coded cooperation scheme**

Cooperative diversity - a method based on the combined use of multiple antennas to increase bandwidth for a given set of frequency bands. This paper provides an overview of the coded cooperation scheme. Coded cooperation separates the code words of each mobile device and transmits portions of each codeword through independent channels.

Існує великий інтерес до розробки різних кооперативних стратегій для підвищення надійності каналу безпроводового зв'язку за допомогою просторового рознесення [1-4]. Основні протоколи amplify-and-forward (AF), decode-and-forward (DF) прості в реалізації, базуються на повторюваності [5-6], але не ефективні щодо використання ширини смуги. Тому, метою роботи є дослідження схеми кодової кооперації (coded cooperation- CC) для покращення спектральної ефективності.

В схемі кодової кооперації, кооперація сигналів здійснюється на рівні підсистеми кодування каналів. Допоміжний вузол ретрансляції (ДВР) посиляє інкрементну надмірність, яка при об'єднанні в цільовому приймачі (ЦП) з кодовим словом, відправленим джерелом сигналу (ДС), приводить до кодового слова з більшою надмірністю.

Надмірність в кодовому слові використовується в ЦП для збільшення можливостей відновлення вихідної інформації, якщо помилки були введені під час процесу передачі. У схемі CC кодове слово передається в двох частинах, кожне з яких використовує інший шлях або канал. На рис. 1 представлено один цикл передачі інформації для схеми з кодовою кооперацією. Основні етапи процесу послідовно позначені круговими номерами. Цикл починається з блоку інформаційних символів  $N_1$ , який вводиться в CRC-енкодер на ДС (етап 1). Результуючий сигнал CRC-енкодера потім вводиться на FEC-енкодер (етап 2), що приводить до кодового слова з  $N_1$  символів, тобто зі швидкістю  $R_1 = N_1 / N_1$ . Це кодове слово потім передається ЦП та також підслуховується допоміжним вузлом, обраним для кооперативної ретрансляції з ДС (етап 3). Після отримання передачі джерела допоміжний вузол ретрансляції (ДВР) декодує коди FEC і CRC (крок 4). Якщо CRC не виявив помилки в декодованому повідомленні (етап 5), то отримані інформаційні символи  $N_1$  в ДВР знову подаються в CRC-енкодер. Потім вихідний сигнал CRC-енкодера обробляється через FEC-

енкодер, що приводить до кодового слова символів  $N > N_1$  (етап 6), тобто швидкість кодування каналу в ДВР дорівнює  $R = N / N_1 < R_1$ .

Загальний результат обробки у вузлі ретрансляції являє собою кодове слово, згенероване тим же способом, що й кодове слово, передане джерелом сигналу, але містять  $N_2 = N - N_1$  додаткових символу парності, які відділені від решти символів (етап 7). Під час другої фази процесу комунікації додаткові  $N_2$ -символи відправляються вузлом ретрансляції до цільового приймача (етап 8). У ЦП символи  $N_2$  від ДВР об'єднуються з символами  $N_1$  з ДВР для відновлення кодового слова з  $N$  символами і швидкістю  $R$  (етап 9). Потім це кодове слово декодується (етап 10), та вихідне повідомлення відновлюється, якщо FEC код зміг виправити всі помилки, введені під час зв'язку (етап 11).

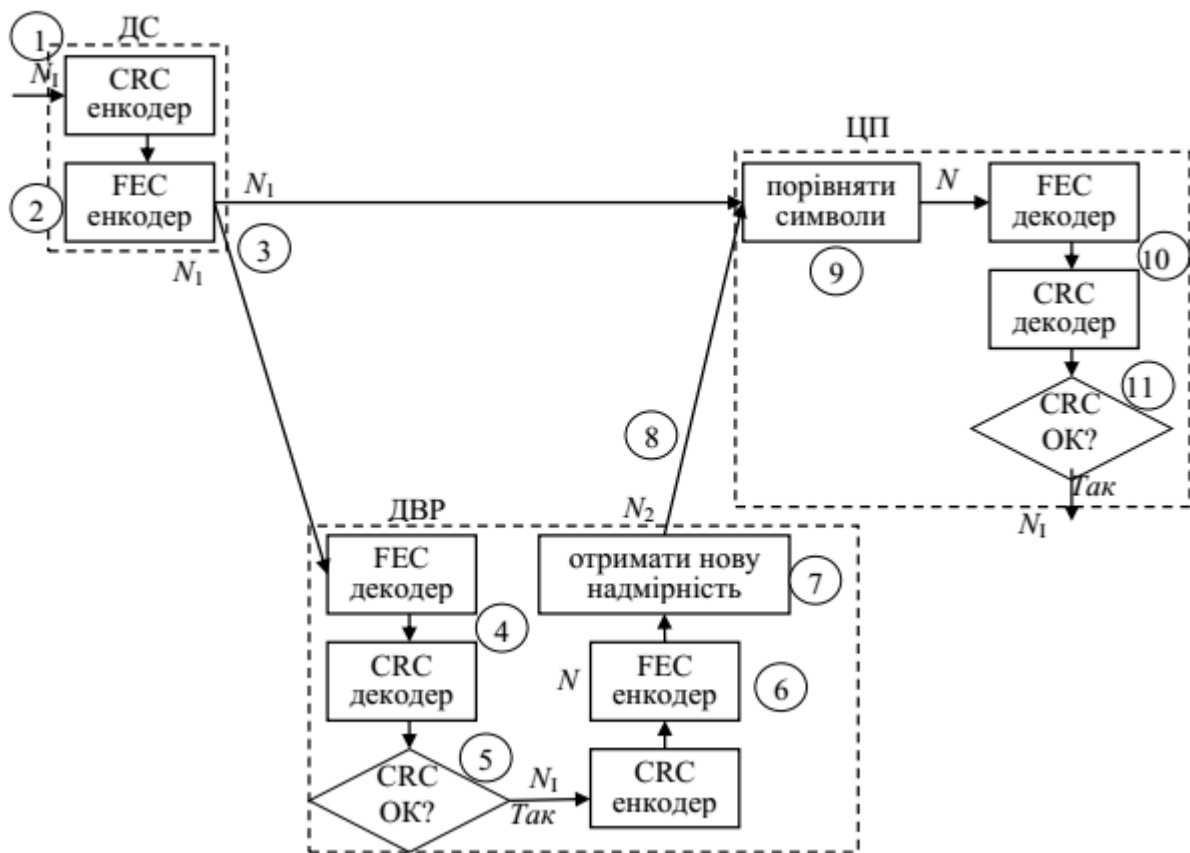


Рис. 1. Цикл передачі в схемі кодової кооперації

Весь процес також можна розглядати так, як якщо вихідний вузол також виконує каналне кодування зі швидкістю  $R$ , а передане кодове слово з символами  $N_1$  генерується шляхом пунктурування (видалення) символів  $N_2$  з кодового слова з  $N$  символами. Незалежно від того, як генеруються задіяні коди каналів, кодове слово, передане вихідним вузлом, належить слабшому коду, ніж використовуваному в ЦП. Код в цільовому приймачі посилюється від коду на ДС шляхом об'єднання символів парності  $N_2$ , отриманих від вузла-ретранслятора. Крім того, важливо відзначити, що ДВР і ДС працюють на

ортогональних каналах так, що в той же час, коли ДС передає своє кодове слово, ДВР виконує ту ж операцію зі своїми власними даними. Більш того, в той час як ДВР допомагає ДС, відправляючи символи парності  $N_2$ , ДС взаємно допомагає вузлу ретрансляції таким же чином.

Операція кодованої кооперації передбачає, що ДВР може успішно декодувати вихідне повідомлення (яке він знає після перевірки CRC). В іншому випадку, допоміжний вузол ретрансляції не може генерувати додаткові символи парності  $N_2$  для джерела, і замість цього він генерує і передає символи парності  $N_2$  зі своїх власних даних. Через це більш слабке кодове слово, передане ДС, повинне бути дійсним кодовим словом, яке може бути розшифровано, коли ДВР не посилає додаткових символів парності  $N_2$ .

Оскільки при кодованій кооперації операція ДС та ДВР повністю симетрична, будемо позначати в подальшому два взаємодіючих вузла як вузол 1 і вузол 2. Існує чотири можливих кооперативних випадки для передачі символів:

1. Обидва вузла успішно декодують каналний код (слабший) один одного.
2. Обидва вузла не можуть декодувати каналний код (слабший) один одного.
3. Вузол 1 успішно декодує каналний код від вузла 2, але вузол 2 не може декодувати каналний код від вузла 1.
4. Вузол 1 успішно декодує каналний код від вузла 2, але вузол 2 не може декодувати каналний код від вузла 1. У цьому випадку обидва вузла відправляють додаткові символи парності для вузла 2, які можуть бути об'єднані в приймачі, використовуючи, наприклад, метод MRC.

Внаслідок цієї динаміки з чотирма подіями ймовірність відмови в схемі кодованої кооперації визначається середньою ймовірністю відмов серед чотирьох подій.

### Література

1. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – Київ: Наукова думка, 2017. – 730 с.
2. Афанасьєва Л.О., Кравчук С.О., Міночкін Д.А. Ймовірність переривання зв'язку у безпроводовій системі з багатоантенною кооперативною ретрансляцією // Зб. наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2016. – Вип. № 51. – С. 19-26.
3. Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М., Кравчук С.О. Метод кооперативного рознесення // Матер. 10-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 19–22 квітня, 2016 р. – К.: Хімджест, 2016. – С. 257–259.
4. Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М., Кравчук С.О. Модель багатостільникової мережі з МІМО-кооперацією // Матер. 10-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми телекомунікацій”, 19–22 квітня, 2016 р. – К.: Хімджест, 2016. – С. 263–265.
5. Laneman J. N., Tse D., Wornell G. Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behaviour // IEEE Trans. on Information Theory. – 2004. – Vol. 50, № 12. – P. 3062–3080.
6. Hunter T., Nosratinia A. Cooperation diversity through coding // Proc. of IEEE Int. Symposium on Information Theory, July 2002. – New York, 2002. – P. 220–224.