

## БЕЗПРОВОДОВА КООПЕРАТИВНА РЕТРАНСЛЯЦІЯ З ТЕХНОЛОГІЄЮ HARQ

**Афанасьєва Л.О., Кравчук С.О., Шевченко І.І., Чуб М.М.**

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com*

### Wireless cooperative relaying with the HARQ

The paper describes a hybrid automatic request (HARQ) protocol for cooperative relaying, considering the advantage of using cooperative schemes. The proposed algorithm for selecting the relay method allows to increase the capacity and energy efficiency of the system.

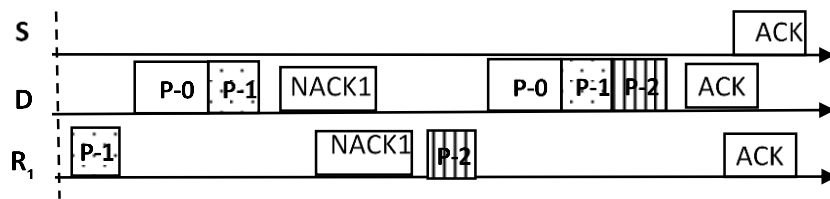
Оскільки кінцевою метою будь-якої комунікаційної системи є підвищення загальної продуктивності, стає необхідним розробити схему роботи протоколу HARQ при кооперативній передачі даних, що дозволяє збільшити пропускну здатність і енергоефективність системи [1-3].

Основна ідея кооперативного HARQ протоколу полягає в тому, щоб об'єднати кооперативний (cooperative) ARQ (C-ARQ) протокол з HARQ, щоб використовувати переваги обох схем. Схема передачі даних C-ARQ реалізовує просторове рознесення, а HARQ надає можливості виправлення помилок, що дозволяє досягти високої пропускну здатності та продуктивності безпроводової мережі [4]-[5].

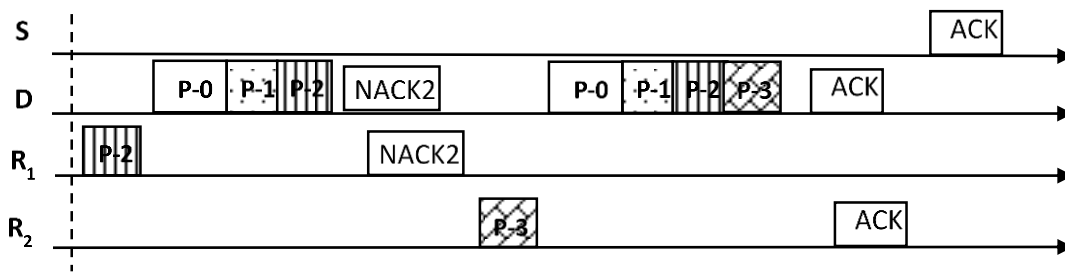
Джерело  $S$  (source) починає фазу 1, передаючи пакет  $P-0$  до цільового приймача  $D$  (destination). Ця передача, яка є ширококомовної за своєю природою, також «підслуховується» допоміжними терміналами-ретрансляторами  $R$ . На цільовому приймачі  $D$  до отриманого пакету  $P-0$  застосовується метод виявлення помилок. Кожен вузол  $R$  обчислює циклічний надлишковий код CRC (cyclic redundancy code) для перевірки помилок в підслуханому пакеті  $P-0$ . Ті термінали-ретранслятори  $R$ , які отримали пакет  $P-0$  без помилок, кодує його в  $P-1$ ,  $P-2$  ...  $P-N$  відповідно та зберігають у верхній частині свого буфера пакетів.

Якщо в отриманому на цільовому приймачі пакеті  $P-0$  немає помилок, то відправляється АСК до джерела  $S$ . Після перехоплення АСК, вузли  $R$  скидають поточні пакети з FEC кодами з верхньої частини свого буфера. Якщо ж в отриманому пакеті  $P-0$  виявлена помилка, то цільовий приймач  $D$  зберігає пакет з помилкою  $P-0$  в буфері та переходить у фазу 2 (кооперативної ретрансляції), передаючи сигнал «Затит на кооперацію» (CoopReq). Джерело  $S$  продовжує залишатися в режимі «очікування», чекаючи відповідь сигналу АСК або NACK. Доступні вузли  $R$  відповідають на CoopReq, передаючи сигнали «Готовий для кооперації» (CoopReady) на цільовий приймач  $D$ . Після передачі CoopReq  $D$  очікує час  $T_c$ , щоб всі доступні сигнали досягли  $D$  до початку фази кооперативної ретрансляції. Після закінчення часу очікування  $T_c$   $D$  зберігає всі отримані сигнали CoopReady у вигляді списку. Цей список використовується для вибору або пошуку допоміжних терміналів-ретрансляторів  $R$  у фазі

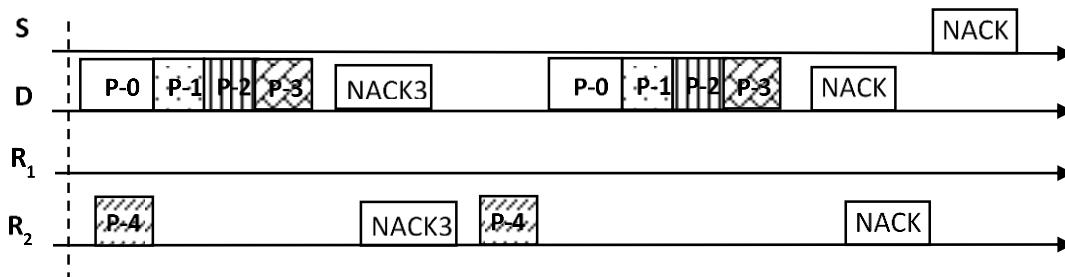
кооперативної ретрансляції. Сигнал *CoopReq* може містити кілька полів для зберігання інформації, пов'язаної з доступними вузлами  $R$ , такі як відстань  $R-D$ , що рівень енергії, рівень с/ш, що дозволить  $D$  застосувати критерій вибору для сортування списку в певному порядку.



а) кооперативна ретрансляція з одним допоміжним терміналом-ретранслятором;



б) кооперативна ретрансляція з двома допоміжними терміналами-ретрансляторами;



в) неуспішна кооперативна ретрансляція;

Рис.1. Алгоритми безпроводової кооперативної ретрансляції з технологією HARQ.

Процес встановлення зв'язку з вузлом  $R$  включає в себе передачу  $NACK-j$  на заданий вузол  $R-i$  із запитом пакету з FEC кодами  $P-j$ . Наприклад, цільовий приймач відправляє  $NACK-1$  в вузол  $R-1$ , термінал-ретранслятор  $R-1$  передає пакет  $P-1$  на  $D$ , де він зберігається та перевіряється на наявність помилок, обчислюючи CRC. Після чого, цільовий приймач  $D$  відновлює вихідні дані, комбінуючи збережені пакети  $P-0$  і  $P-1$ .

Для відстеження наявності помилок в збережених пакетах з FEC кодами на цільовому приймачі застосовується спеціальна мітка стану  $state\_tag$ , де  $state\_tag = 1$  означає, що прийнятий пакет з FEC кодами не містить помилок і не вимагає повторної передачі, а  $state\_tag = 0$  означає, що збережений пакет має деякі помилки і, отже, може знадобитися повторна передача.

Якщо відновлення пройшло успішно, ACK надсилається джерелу і фаза кооперативної ретрансляції закінчується. В іншому випадку, відправляється  $NACK-2$  на  $R-1$  для наступного пакету з FEC кодами,  $P-2$ . Отримавши  $P-2$ ,  $D$

зберігає його з відповідною міткою стану, а потім використовує в наступній спробі декодування разом з попередньо збереженими пакетами.

Розглянемо випадок, коли після двох передач ( $M = 2$ ) вихідний пакет не декодовано без помилок. Це відбувається через наступні можливі причини: тільки одного безпомилкового пакета з FEC кодами недостатньо для виправлення помилок в збереженому  $P-0$  або всі збережені пакети з FEC кодами безпомилкові, але збережений вихідний пакет  $P-0$  має велику кількість помилок.

У першому випадку  $D$  вибирає наступний в списку термінал-ретрансляції  $R-2$  для фази кооперативної передачі. Цільової приймач перевіряє мітки стану пакетів, щоб ідентифікувати всі неправильні пакети з FEC кодами й встановлює відповідне значення  $NACK$  для передачі. Наприклад, якщо потрібна повторна передача  $P-j$ , значення  $NACK$  встановлюється  $j$ . Таким чином, якщо  $R-2$  отримує  $NACK-j$ , то знаходить пакет  $P-j$  в своєму буфері та ретранслює до  $D$ . Цільовий приймач перезаписує збережений  $P-j$ , виконує виявлення помилок і відповідно оновлює мітку стану. Декодування вихідного пакета  $P-0$  виконується з використанням всіх пакетів, збережених в буфері, включаючи новий. При успішному відновленні даних, відправляється  $ACK$  до джерела та припиняється фаза кооперативної ретрансляції.

У другому випадку, коли всі пакети з FEC кодами були правильно прийняті (тобто  $state\_tag = 1$  для всіх пакетів з FEC кодами), відправляється  $NACK$  до джерела  $S$ . Після отримання  $NACK$  джерело  $S$  виходить з режиму очікування та передає нову копію  $P-0$ , яка використовується цільовим приймачем  $D$  в наступній спробі виправлення помилок.

У роботі описано системну модель для реалізації протоколу HARQ для безпроводових систем, що враховує перевагу використання кооперативних схем. Збільшення пропускну здатності системи та енергоефективності кооперативної передачі досягається за рахунок передачі допоміжними терміналами-ретрансляторами лише даних для виправлення помилок.

## Література

1. S. Kravchuk, L.Afanasieva Wireless cooperative relaying without maintaining a direct connection between the source and target receiver terminals// Information and Telecommunication Sciences, No 2, pp. 5-11, 2019 (DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22019.5-11>).
2. Афанасьєва Л.О., Кравчук С.О. Протокол адаптивної ретрансляції для кооперативних мереж// Матер. 13-ї міжнар. наук.-техн. конф. “Перспективи телекомунікацій”, 15-19 квітня 2019 р. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 192–195.
3. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2017.
4. Maaz M., Lorandel J., Mary Ph. Energy efficiency analysis of hybrid-ARQ relay-assisted schemes in LTE-based systems// EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – №22, 2016 (<https://doi.org/10.1186/s13638-016-0520-9>).
5. Maliqi F., Bassi F., Duhamel P., Limani I. Simplified analysis of HARQ cooperative networks using finite-state Markov chains // 25th European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 28 Aug.-2 Sept. 2017. –р.2006-2010 (doi:10.23919/eusipco.2017.8081561).