

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМИ ADAPTIVE DATA RATE В ПРОТОКОЛІ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ LORAWAN

Міночкін Д.А., Рибак О.О.

Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: alex96.rybak@gmail.com

STUDY OF THE ADAPTIVE DATA RATE SCHEME IN THE LORAWAN DATA TRANSFER PROTOCOL

Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) is a fast growing communications system for low power wide area networks (LPWAN) in Internet of Things (IoT) deployments. LoRaWAN is designed to optimize LPWAN for battery life, capacity, range and cost. LoRaWAN uses an Adaptive Data Rate (ADR) scheme that dynamically optimizes data rate, airtime and power consumption.

Схема Adaptive Data Rate (ADR) (адаптивна швидкість передачі даних) була розроблена для протоколу LoRaWAN, щоб мати можливість керувати параметрами передачі кінцевих вузлів для покращення доставки пакетів. Метою цієї схеми є мінімізація енергоспоживання та максимізація пропускної здатності шляхом коригування швидкості передачі даних в залежності від бюджету каналу зв'язку для кожного кінцевого вузла в мережі LoRaWAN. ADR управляє параметрами передачі, а саме: пропускною здатністю (BW), коефіцієнтом розширення (SF), потужністю передачі (TP) і швидкістю кодування (CR). Оптимізація ADR збільшує пропускну здатність мережі, так як пакети даних, що передаються з різними SF, можуть прийматися одночасно, що скорочує ефірний час. ADR - це механізм, який контролює параметри висхідної передачі повідомлень (UL) пристроїв LoRa в залежності від бюджету каналу. Функціональність ADR повинна бути включена на кінцевому вузлі, щоб її можна було використовувати. У реалізаціях LoRa, описаних в літературі, схеми ADR реалізуються і оцінюються з використанням різних підходів, таких як математичні моделі і моделювання. Основною проблемою алгоритму ADR є те, що специфікація LoRa не вказує спосіб, яким мережевий сервер (NS) повинен інструктувати кінцеві вузли щодо адаптації швидкості передачі даних [1]. Різке збільшення числа впроваджень IoT призводить до різних вимог до якості обслуговування (QoS) та підходів до реалізації, що створює проблему з точки зору надійності та придатності схем ADR.

У разі фіксованих кінцевих вузлів NS управляє ADR в залежності від історії отриманих UL пакетів, званої "ADR, керований по мережі, або Static ADR". Мережевий ADR підхід не працює для рухомих кінцевих вузлів, так як

загасання каналу відбувається в міру переміщення пристрою. Що стосується рухомих кінцевих вузлів, то ADR виконується "наосліп" на стороні кінцевого вузла, відомої як "сліпий ADR". У мережах LoRaWAN використовуються методи адаптивної модуляції з багатоканальними, багато модемними прийомо-передавачами на шлюзі для отримання безлічі повідомлень від каналів. Кожен конкретний сигнал використовує унікальний SF, з ортогональним поділом, забезпечуваним спектром. Ця техніка дає переваги в управлінні швидкістю передачі даних [2]. Схема ADR LoRaWAN динамічно адаптує параметри передачі з метою продовження терміну служби батареї і максимізації пропускної здатності. Це здійснюється шляхом зміни швидкості передачі даних і TR для кожного кінцевого вузла в мережі LoRa. ADR покращує швидкість передачі даних, ToA і енергоспоживання. У LoRaWAN зміна SF регулює швидкість передачі даних для кінцевих вузлів, оптимізуючи таким чином пропускну здатність. Проте, ADR слід використовувати з обережністю, так як на ймовірність зіткнення, яка безпосередньо впливає на пропускну здатність, впливає зміну SF [3]. Схема ADR заснована на виборі швидкості передачі даних з урахуванням минулих параметрів повідомлення кожного кінцевого вузла. Рівень MAC LoRaWAN містить чотири різні команди для ADR, які показані в таблиці 1.

Таблиця 1. Команди LoRaWAN Adaptive Data Rate (ADR).
NS: Мережевий сервер, UL: висхідний канал.

Команда	Опис
ADR	Кінцевий вузол встановлює даний біт, запитуючи у NS швидкість передачі даних
ADR = 1	NS буде контролювати швидкість передачі даних кінцевих вузлів
ADR = 0	NS не контролюватиме швидкість передачі даних кінцевих вузлів
ADRACKReq	Дозволяє кінцевим вузлам періодично отримувати підтвердження того, що NS отримує повідомлення UL
ADRACKReq = 1	NS повинен відповідати на підтвердження отримання даних
ADRACKReq = 0	Підтвердження отримання даних UL не потрібно.
LinkADReq	Передається NS для запиту кінцевого вузла на зміну параметрів передачі
LinkADRAns	Передається вузлами у відповідь на команду LinkADReq
LinkADRAns = 1	Параметри передачі успішно встановлені
LinkADRAns = 0	Команда відключається

У мережах LoRaWAN контроль ADR дозволяє підтримувати з'єднання з мережею, забезпечуючи численні швидкості передачі даних. Стан радіочастотного з'єднання визначається станом прийому пакета ACK в LoRaWAN через помилки з'єднання. Це, однак, не вказує на перевантаженість мережі, але може привести до неефективної передачі даних через тривалі затримки передачі. Оскільки перевантаженість не рахується проблемою підключення, зниження швидкості передачі даних шляхом заміни системи модуляції недоцільно. Запропонована схема ADR розпізнає рівні перевантаженості мережі шляхом прогнозованого навчання і подальшого

застосування результату для управління швидкістю передачі даних. Як характеристик для навчання в методі використовуються швидкість передачі даних, RSSI, SNR і кількість з'єднань на шлюзі. Оцінка цих характеристик забезпечує оцінку перевантаженості мережі. Коли прогнозується перевантаження, запропонований алгоритм змінює час прийому замість зниження швидкості передачі даних, коригуючи затримку замість зниження пропускної здатності. Це призводить до підвищення точності управління швидкістю передачі даних і ефективності мережі. NS виконує навчання і передає результати на кінцеві вузли для прогнозування перевантажень. Розрахунки для навчання виконуються в NS. Сильною стороною цього підходу є те, що він враховує рівень перевантаженості мережі на відміну від успадкованої схеми ADR. Недоліком цього підходу є те, що процес вимагає отримання ACK DL повідомлення для кожної передачі. Оскільки трафік DL негативно впливає на пропускну здатність UL, PDR в результаті зменшується [4]. У подальших дослідженнях можна було б розглянути вивчення розподіленого навчання кінцевих вузлів для прогнозування затримок можуть бути застосовані й інші методи оптимізації.

Висновок. У специфікації LoRaWAN не вказано, як мережевий сервер повинен інструктувати кінцеві вузли щодо адаптації швидкості передачі даних. Це призвело до пропуску в реалізації ADR, оскільки схеми адаптації даних не досліджувались детально. Тому схеми ADR все ще актуальні для дослідження та моделювання. З огляду на сильні і слабкі сторони існуючих схем ADR, це прокладає шлях до розробки більш ефективних і дієвих алгоритмів. Дослідження показало, що хоча параметри передачі є стандартними, методи і міркування ADR щодо поліпшення продуктивності мережі незліченні. Були виявлені нові шляхи по оптимізації ADR. Незважаючи на те, що існуючі рішення досягли багатообіцяючої продуктивності, вони не є оптимальними, тому необхідно продовжити дослідження оптимізації ADR.

Література

1. Raza, U.; Kulkarni, P.; Sooriyabandara, M. Low power wide area networks: An overview. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2017, 19, 855–873.
2. Alliance, L. LoRaWAN 1.0. 3 Specification; LoRa-Alliance: Boston, MA, USA, 2018; Volume 1, pp. 1–72.
3. El Fehri, C.; Kassab, M.K.; Abdellatif, S.; Berthou, P.; Belghith, A. LoRa technology MAC layer operations and Research issues. *Procedia Comput. Sci.* 2018, 130, 1096–1101.
4. Marais, J.; Malekian, R.; Abu-Mahfouz, A.M. Evaluating the lorawan protocol using a permanent outdoor testbed. *IEEE Sens. J.* 2019, 19, 4726–4733.