

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКУ У LORA МЕРЕЖАХ

професор, к.т.н., Новоселов С.П., студент Кондратюк М.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки,
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
мехатроніки, Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14
E-mail: sergiy.novoselov@nure.ua

Abstract. In work the analysis of methods of the organization of svyaty in the Lora-networks is carried out The relevance of the work is described, the principle of packet transmission in the network, the dependence of the transmission time of one character on the spreading factor are considered. The estimate of the system capacity is given under the following assumptions; the network bandwidth graph. Calculated the maximum value of throughput when the intensity of the arrival of packets G is equal to 0.5 and when the intensity of the arrival of packets G is equal to 0.0256.

Вступ. На сьогодні існує безліч безпроводових технологій, відомих користувачам по їхніх маркетингових назвах, таким як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee, LTE та інші.

Основні параметри з'єднання, які використовуються в загальному випадку, це WiFi, Bluetooth та стільникового бездротовий зв'язок (4G). Але у кожного з них є недоліки: Wi-Fi використовує багато енергії; Bluetooth має обмежений діапазон; 4G також енергоємний та може бути дорогим, особливо для передачі великих об'ємів даних.

У найближчому майбутньому більшість наших електронних або квантових пристроїв будуть підключені до Інтернету через унікальну IP-адресу (в полі IPv6- адрес, оскільки IPv4 уже скоро стане елементом минулого) і, таким чином, його можна буде контролювати власником з будь-якого місця в будь-який час.

В деяких країнах плануються проекти розумних міст, створених на основі смарт-інфраструктури в поєднанні з використанням технології IoT. IoT також допоможе урядам і великим підприємствам в моніторингу, зборі, аналізу і прийнятті рішення щодо будь-якої ситуації протягом короткого часу. Проте слід пам'ятати, що постійний розвиток технології означатиме більше електронних відходів, таким чином, тема дослідження є актуальною.

Основна частина. Технологія модуляції LoRa являє собою метод модуляції, який забезпечує значно більшу дальність зв'язку (зону покриття), ніж інші конкуруючі з ним способи. Цей тип модуляції ґрунтується на технології модуляції з розширеним спектром і варіації лінійної частотної модуляції

Технологія LoRa значно підвищує чутливість приймача і, аналогічно іншим методам модуляції з розширеним спектром, використовує всю ширину смуги пропускання каналу для передачі сигналу, що робить його стійким до каналним шумів і нечутливим до зсувів, викликаних неточностями в налаштуванні частот при використанні недорогих опорних кварцових резонаторів [1].

Кожен пакет, що передається по мережі LoRaWAN, включає в себе преамбулу і блок даних фізичного рівня. Кількість символів в преамбулі є конфігурованим в діапазоні 6.65535.

Кількість символів в блоці даних фізичного рівня визначається наступною формулою [2]:

$$\text{payloadSymbNb} = 8 + \text{ceil} \left(\frac{8 \cdot PL - 4 \cdot SF + 28 + 16 \cdot CRC - 20 \cdot H}{4 \cdot (SF - 2 \cdot DE)} \right) \cdot (CR + 4)$$

де $PL = 12 + FRM$ – кількість байт корисних даних в блоці фізичного рівня (PHYPayload);

FRM – кількість байт корисних даних на рівні додатку (FRMPayload);

SF – коефіцієнт розширення спектра;

$CRC = 1$, коли передача поля CRC блоку корисного навантаження включена і $CRC = 0$ – коли вимкнена;

$H = 0$, коли передача заголовка (PHDR + PHDR_CRC) включена і $H = 1$ – коли заголовок відсутній;

$DE = 1$, коли оптимізація для низьких швидкостей передачі включена і $DE = 0$ – коли вимкнена (для $SF = 11$ і $SF = 12$ оптимізація швидкостей передачі повинна бути включена);

$CR = 1..4$ – швидкість коду;

ceil – операція округлення до найближчого більшого цілого числа.

Тривалість передачі преамбули можна визначити за формулою:

$$T_{\text{preamble}} = (n_{\text{preamble}} + 4,25) \cdot T_{\text{sym}}$$

де $T_{\text{sym}} = \frac{2^{SF}}{W}$ – тривалість передачі одного символу;

W – смуга одного радіоканалу (125кГц).

Тривалість передачі блоку даних фізичного рівня визначається за формулою:

$$T_{\text{payload}} = \text{payloadSymbNb} \cdot T_{\text{sym}}$$

Тривалість передачі всього пакету по мережі LoRaWAN визначається за формулою:

$$T_{\text{packet}} = T_{\text{preamble}} + T_{\text{payload}}$$

В таблиці 1 наведена залежність тривалості передачі одного символу від коефіцієнту розширення спектра.

Таблиця 1 – Залежність тривалості передачі одного символу від коефіцієнту розширення спектра

SF	7	8	8	10	11	12
W, кГц	125	125	125	125	125	125
Tsym, мс	1,024	2,048	4,096	8,192	16,384	32,768

Всі LoRaWAN пристрої класу "A", включаючи кінцеві пристрої, а також LoRa-шлюз, використовують довільний (не синхронізований) доступ до загального середовища передачі. При цьому тимчасові інтервали відправки пакетів плануються кінцевими пристроями на основі власних потреб.

Даний механізм доступу вдає із себе протокол типу "чиста ALOHA" (pure ALOHA) на ім'я першої комп'ютерної мережі передачі даних з пакетною комутацією (ALOHAnet), розробленої в 1968-1970-х роках групою вчених Гавайського університету під керівництвом Нормана Абрамсона, що використала в якості середовища доступу до неї бездротову технологію [3].

Оцінка пропускну здатності системи "чиста ALOHA" визначається при наступних припущеннях:

- призначені для користувача дані, призначені для передачі, надходять на термінали випадково, утворюючи пуассоновський потік;
- відкинуті через помилки передачі пакети передаються повторно, утворюючи також пуассоновський потік;
- всі пакети даних мають однакову довжину і передаються однаково час;
- в мережі знаходиться нескінченне число віддалених терміналів (при цьому якщо якийсь термінал вже передає дані, це ніяк не впливає на ймовірність передачі даних іншими терміналами).

У цьому випадку імовірність того, що за час передачі одного пакета T надійде ще k пакетів від всіх терміналів мережі визначається формулою Пуассона :

$$P_r(k) = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!},$$

де G – інтенсивність надходження пакетів (або середнє число повідомлень для передачі, що з'явилося на всіх терміналах мережі за час T).

Колізія не виникне, якщо на інтервалі передачі повідомлення, а також на одному попередньому інтервалі не з'являться ще пакети для передачі від

інших кінцевих пристроїв мережі ($k = 0$). Отже, ймовірність успішної передачі становить

$$P = e^{-2G}.$$

Середнє число успішно переданих за час T пакетів, тобто пропускна здатність мережі, становить

$$S = G \cdot P = G \cdot e^{-2G}.$$

Графік пропускної здатності мережі наведено на рисунку 2.1.

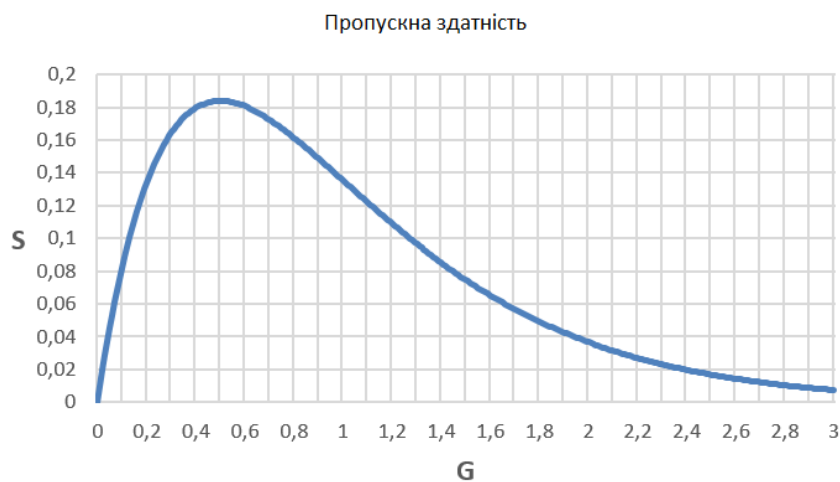


Рисунок 1 – Графік пропускної здатності мережі

Висновки. Максимальне значення пропускної здатності досягається при інтенсивності надходження пакетів G дорівнює 0,5 і становить 0,184 (при цьому ймовірність втрати пакетів через колізію – P_{LOSS} складе 63%).

При інтенсивності надходження пакетів G дорівнює 0,0256 ймовірність втрати пакетів через колізії P_{LOSS} становить 5%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сети передачи данных на большие расстояния LoRaWAN [Електронний ресурс] / Режим доступу: [www / URL: http://gamma.spb.ru/media/pdf/masters2015/LORA.pdf](http://gamma.spb.ru/media/pdf/masters2015/LORA.pdf) – Загл. з екрану.

2. Al-Juboori G., Tsimbalo E., Doufexi A. [et al.]. A comparison of OFDM and GFDM-Based MFSK modulation schemes for robust IoT applications // IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2017. P. 1–5.

3. Vangelista L. Frequency shift chirp modulation: the LoRa modulation // IEEE Signal Processing Letters. 2017. Vol. 24, no. 12. P. 1818–1821. DOI: 10.1109/LSP.2017.2762960.