

УДК 621.396:004.056

ЗАДАЧА З РОЗРАХУНКУ ВИЯВЛЕННЯ ПОМИЛКИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ЗА МОДУЛЕМ HC-05 BLUETOOTH

Ткачов Д.Р.

e-mail: denys.tkavchov@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПЕЕА
м. Харків, Україна

This paper explores the probability of undetected errors in HC-05 Bluetooth data transmission, assessing efficiency based on speed and bandwidth. It examines the impact of CRC length on error detection and estimates channel capacity using Shannon's formula.

Надійність бездротового зв'язку залежить від завад, нестабільності сигналу та обмежених ресурсів. CRC-контроль допомагає виявляти помилки, але деякі можуть залишатися непоміченими. Ймовірність таких помилок визначається довжиною CRC та алгоритмом контролю. Для мінімізації втрат необхідно балансувати між рівнем захисту та пропускну здатністю.

Отже, дослідження ймовірності невиявленої помилки та ефективності каналу є критично важливим для покращення надійності бездротових комунікацій, особливо для пристроїв із модулем HC-05 Bluetooth [1] (див. рис. 1), де стабільність сигналу визначає якість передачі даних.



Рисунок 1- модуль HC-05

Задача з розрахунку ймовірності невиявленої помилки та ефективності передачі інформації.

Розрахувати ймовірність невиявленої помилки P_{00} для системи зв'язку HC-05. Оцінити ефективність передачі інформації за параметрами швидкості та ширини смуги частот.

Дано:

$$n = 128 \text{ біт.};$$

$$I' = 9600 \text{ біт} / \text{с}$$

$$q = 0.01;$$

$$k = 8 \text{ біт}.$$

$$\Delta F = 1 \text{ МГц} = 1 * 10^6 \text{ Гц};$$

$$P_c / N_0 = 10$$

Де, довжина пакета: n ; Швидкість передачі: I , Ймовірність помилки окремого біта: q , Степінь контрольної послідовності (CRC): k , Ширина смуги частот: ΔF , Відношення сигнал/шум: $\frac{P_c}{N_0}$.

1. Ймовірність невиявленої помилки [2]

Формула для ймовірності:

$$P_{oo} = (1 - (1 - q)^n) * \frac{1}{2^k} \quad (1)$$

Обчислимо ймовірність невиявленої помилки:

$$P_{oo} = (1 - (1 - 0.01)^{128}) * \frac{1}{2^8} = 0.724 \cdot 0.0039 \approx 0.0028 \text{ (0.28\%)}$$

2. Ефективність передачі

Для безперервного каналу зв'язку з урахуванням формули Шеннона [3]:

$$C = \Delta F * \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{N_0} \right) \quad (2)$$

Обчислимо ефективність передачі:

$$C = 1 * 10^6 * \log_2 (1 + 10) = 3.46 \text{ Мбіт} / \text{с}$$

Отже, визначили максимальну пропускну здатність каналу передачі даних за допомогою формули (2). Це показує максимальну швидкість передачі інформації може забезпечити канал зв'язку з урахуванням його фізичним обмежень як:

Ширина смуги частот (ΔF);

Відношення сигнал/шум $\frac{P_c}{N_0}$;

З формули (1) випливає, що 2-3 пакети з 1000 можуть пройти перевірку CRC, навіть містячи помилку. Щоб зменшити цю ймовірність, слід збільшити довжину CRC [4], наприклад, при $k = 16$ біт вона знижується до

0.0015%. Додатково підвищити надійність можна, застосовуючи модуляцію GFSK [5], приклад якої наведено на рис. 2.

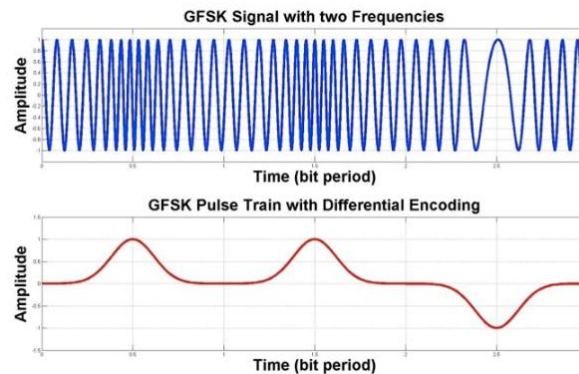


Рисунок 2 - Гауссівська фільтрація сигналу та реакція на модульований GFSK сигнал

Цей метод фільтрації знижує потужність бічних смуг, позасмуговий спектр, завади від сусідніх каналів і ширину смуги пропускання сигналу FSK.

Список використаних джерел:

1. Модуль HC-05 Bluetooth розпіновка. URL: <https://forum.arduino.cc/t/switching-a-hc05-with-pro-mini/600310/9> (дата звернення: 04.03.2025);
2. Ймовірність невиявленої помилки. Ковер, Т. М., Томас, Дж. А. Основи теорії інформації / Т. М. Ковер, Дж. А. Томас. – 2-ге вид. – Нью-Йорк: John Wiley & Sons, 2006. – 792 с. URL: https://apt.cs.manchester.ac.uk/ftp/pub/amulet/papers/Peterson-Brown_61.pdf (дата звернення: 03.03.2025);
3. Ефективність передачі за формулою Шеннона. URL: <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>. (дата звернення: 03.03.2025);
4. Аналіз CRC-кодів із до 10-бітною надмірністю. URL: https://www.researchgate.net/publication/3162697_Determination_of_the_Best_CRC_Codes_with_up_to_10-Bit_Redundancy (дата звернення: 01.03.2025);
5. GFSK модуляція. URL: [GSFK](#) (дата звернення: 01.03.2025)