

УДК 621.396:004.056

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

Ткачов Д.Р.

e-mail: [denys.tkachov@nure.ua](mailto:denys.tkachov@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[1], 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 пропускнуою 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 *Р<sub>оо Р<sub>оо</sub></sub>* для системи зв'язку HC-05. Оцінити ефективність передачі інформації за параметрами швидкості та ширини смуги частот.

Дано:

$$n = 128 \text{ біт.};$$

$$I' = 9600 \text{ біт/с}$$

$$q = 0.01: :$$

$$k = 8 \text{ біт}$$

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

$$P_c / N_0 = 10$$

Де, довжина пакета:  $n$ ; Швидкість передачі:  $I$ , Ймовірність помилки окремого біта:  $q$ , Степень контрольної послідовності (CRC):  $k$ , Ширина смуги частот:  $\Delta F$ , 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:

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

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 ( $\Delta F$ ): ;

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, приклад якої наведено на рис. 2.

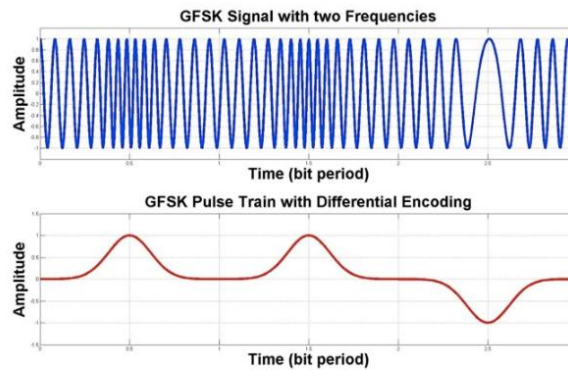


Рисунок 2 - Гауссівська фільтрація сигналу та реакція на модульований GFSK сигнал

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

Список використаних джерел:

1. Galkin P. et al. Approaches for safety-critical embedded systems and telecommunication systems design for avionics based on FPGA //2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). – IEEE, 2019. – С. 391-396.
2. Модуль HC-05 Bluetooth розпіновка. URL: <https://forum.arduino.cc/t/switching-a-hc05-with-pro-mini/600310/9> (дата звернення: 04.03.2025).
3. 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](https://apt.cs.manchester.ac.uk/ftp/pub/amulet/papers/Peterson-Brown_61.pdf) (дата звернення: 03.03.2025).
4. Ефективність передачі за формулою Шеннона. URL: <https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf>. (дата звернення: 03.03.2025).
5. 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](https://www.researchgate.net/publication/3162697_Determination_of_the_Best_CRC_Codes_with_up_to_10-Bit_Redundancy) (дата звернення: 01.03.2025).