

УДК 621.391.8:623.746-519

## АНАЛІЗ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ВІД FPV ДРОНА

Бабаєва М.О., Коляденко Ю.Ю.

e-mail: marharyta.babaieva@nure.ua, yuliia.koliadenko@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки,  
каф. ІКІ ім В. В. Поповського,  
м. Харків, Україна

An FPV camera is a crucial component of an FPV drone that provides the pilot with a first-person view video signal in real-time. Essential specifications to be taken into account when designing a video camera comprise resolution, angle of view, image quality under different lighting conditions, and physical dimensions. All of this requires appropriate reliability assurance. In real-world conditions, information reception always occurs with errors. To enhance the noise immunity of remote surveillance information transmission systems, it is proposed to use a cyclic code for error detection. Code parameters are used to evaluate the probability of a codeword error.

FPV камера – це важливий компонент FPV дрона, який забезпечує пілоту відеосигнал з першої особи в режимі реального часу. Цей сигнал потім передається на наземну станцію або FPV окуляри. Передача інформації від віддаленого відеоспостереження, особливо радіоканалами потребує відповідного забезпечення надійності. В реальних умовах прийом інформації завжди відбувається з помилками. Боротьба з виникаючими помилками ведеться на різних рівнях семирівневої моделі OSI (в основному на перших чотирьох). Для боротьби з виникаючими помилками відомо багато різних способів [1]. Всі їх можна поділити на дві групи: не використовуючи зворотний зв'язок і використовуючи зворотний зв'язок. Найбільш поширені системи, які використовують вирішальний зворотний зв'язок з надлишковими кодами для виявлення помилок. В цьому випадку найчастіше використовуються циклічні коди.

Для підвищення завадостійкості системи передачі інформації віддаленого спостереження пропонується використати циклічний код в виявленні помилок [2]. Для оцінки ймовірності помилки кодової комбінації використовуються параметри коду. До них відносяться:  $n=m+k$  – довжина кодової комбінації;  $m$  – число інформаційних символів;  $k$  – число перевірних символів. Особливу важливість для характеристики коригувальних властивостей коду має мінімальна кодова відстань  $d_{\min}$ . Якщо код використовується тільки для виявлення помилок кратністю  $t_e$ , то необхідно і достатньо, щоб мінімальна кодова відстань дорівнювала:

$$d_{\min} \geq t_e + 1. \quad (1)$$

Довжина кодової комбінації  $n$  повинна бути вибрана таким чином, щоб забезпечити найбільшу пропускну здатність каналу зв'язку. Надмірність коригуючого коду є величина:

$$r = \frac{k}{n} = \frac{n-m}{n} = 1 - \frac{m}{n}. \quad (2)$$

Якщо продуктивність джерела інформації дорівнює  $H'_t$  символів в секунду, то швидкість передачі інформації після кодування:

$$I' = H'_t \frac{n}{m}. \quad (3)$$

У реальних каналах зв'язку діють завади, що призводять до появи помилок в кодових комбінаціях. При виявленні помилки декодувальним пристроєм в системах з вирішальним зворотнім зв'язком проводиться перезапиту групи кодових комбінацій. Під час перезапиту корисна інформація не передається, тому швидкість передачі інформації зменшується. В цьому випадку:

$$I' = H'_t \frac{m}{n} \left[ 1 - \frac{P_{\text{вн}}(M+1)}{P_{\text{пр}} + P_{\text{вн}}(M+1)} \right], \quad (4)$$

де  $P_{\text{вн}}$  - ймовірність виявлення помилки декодером,  $P_{\text{пр}}$  - ймовірність правильного прийому;  $M$  - ємність накопичувача передавача.

Еквівалентна ймовірність помилки прийому одиничного розряду при застосуванні завадостійкого кодування визначається за формулою:

$$P_e = 1 - (1 - p_{\text{пом } kk})^{\frac{1}{m}}, \quad (5)$$

де  $P_{\text{пом } kk}$  - ймовірність помилкового декодування кодової комбінації:

$$p_{\text{пом } kk} = 1 - \sum_{i=0}^{t_{\text{в}}} C_n^i q^i (1-q)^{n-i},$$

$q$  - ймовірність помилки, визначається каналом зв'язку.

В середовищі Matlab проведено аналіз швидкості передачі інформації  $I'$  та еквівалентної ймовірності помилки прийому одиничного розряду  $P_e$  при застосуванні завадостійкого кодування. Аналіз проведено за умови, що роздільна здатність об'єктиву  $F_{\text{об}} = 275$  ліній/мм, максимальна частота сигналу  $F_{\text{max}} = 1,36$  МГц, продуктивність джерела  $H'_t = 3,2198 \cdot 10^7$  бит/с, відстань зв'язку  $L = 200$  км.

На рис. 1 представлено залежності швидкості передачі інформації від довжини кодової комбінації при різних значеннях помилок, що виявляються. На рис. 2 представлено залежності еквівалентної ймовірності помилки від довжини кодової комбінації при різних значеннях помилок, що виявляються. Нижні криві на цих рисунках відповідають випадку кількості помилог, що виявляються  $t_{\text{в}} = 1$ , середні криві -  $t_{\text{в}} = 5$ , нижні криві  $t_{\text{в}} = 10$ .

Аналіз показав, що зі збільшенням довжини кодової комбінації швидкість передачі інформації збільшується. При збільшенні кількості помилок, що виявляються швидкість передачі інформації також збільшується завдяки зменшенню перезапиту. Еквівалентна ймовірність помилки зменшується зі збільшенням довжини кодової комбінації та зі збільшенням кількості помилок, що виявляються кодом.

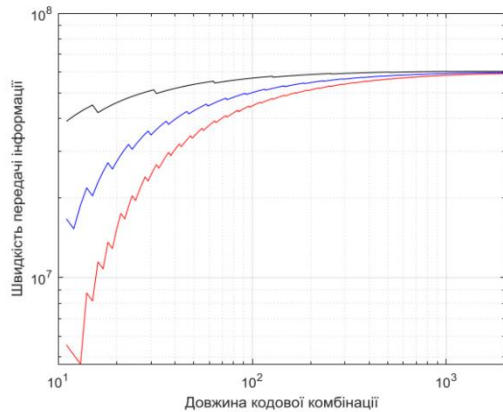


Рис. 1. Залежність швидкості передачі інформації від довжини кодової комбінації

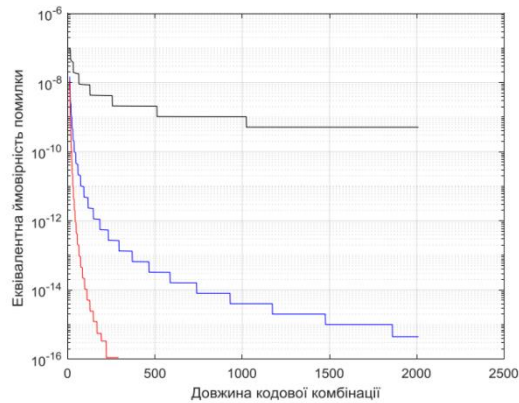


Рис. 2. Залежність еквівалентної ймовірності помилки від довжини кодової комбінації

На основі отриманих даних можна зробити такі висновки:

1. Існує оптимальне значення довжини кодової комбінації та кількості виявлених помилок, яке забезпечує максимальну швидкість передачі інформації при заданій якості.

2. Збільшення швидкості передачі інформації зазвичай пов'язане зі зниженням надійності. Однак, використання ефективних кодів дозволяє досягти високої швидкості при збереженні низької ймовірності помилки.

Список використаних джерел:

1. Правило В.В., Кормульов О.С. Методи забезпечення заданих показників безпеки // Збірник матеріалів XIV Міжнародної науково-технічної конференції "Перспективи телекомунікацій 2020". Київ: 2020. С. 178-180.

2. Теорія інформації та кодування. Конспект лекцій: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 125 «Кібербезпека» з освітньої програми «Управління інформаційною безпекою» із дисципліни Теорія інформації та кодування для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 125 «Кібербезпека» з освітньої програми «Управління інформаційною безпекою» /Ю.Ю. Коляденко: ХНУРЕ. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,571 Мбайт). – Харків: ХНУРЕ 2022. – 131 с.