

ОЦІНЮВАННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ТА ПОЗИЦІЙНОГО МЕТОДІВ

Виконано оцінювання роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок в дискретних каналах зв'язку. Показано, що кореляційний метод має більшу роздільну здатність, тобто характеризується кращою стійкістю до адитивних завад, оскільки криві, які відповідають кореляційному методу, завжди розміщені нижче, при $m=3-5$.

Ключові слова: бітові помилки, вставки бітів, випадання бітів, адитивні бітові помилки

V. M. KYCHAK, V. D. TROMSYUK
Vinnytsia National Technical University
tvd1989@mail.ru

RESEARCH RESOLUTION CORRELATION AND POSITION METHODS

Annotation. The research-resolution correlation techniques and positional control parameters bit errors in discrete channels. Determined that the correlation method has a higher resolution that has great resistance to the additive noise as curves that match the correlation method, are always lower when $m=3-5$.

Keywords: bit errors, insertion bits, falling bits, additive bit errors.

Вступ

Основна проблема, яка виникає при виявленні бітових помилок і визиває принципові труднощі, полягає в тому, що ці помилки (вставки та випадання біт) безпосередньо спостерігати неможливо. На відміну від адитивних помилок досягнення достатньої точності знаходження бітових помилок є дещо складнішою задачею. Ситуація ще більше ускладнюється при наявності в аналізованому потоці даних фонових адитивних помилок в межах бітових помилок [1, 2].

Для вирішення проблем контролю бітових помилок використовують різноманітні апаратні та програмні засоби. Існуючі методи контролю вимагають вдосконалення та визначення їхніх основних можливостей. Оцінювання можливостей кореляційного та позиційного методів можливе лише через визначення їхньої роздільної здатності, тобто через визначення фази при наявності фонових адитивних помилок в дискретному каналі.

Бітові помилки можна локалізувати лише з деякою похибкою, яка визначається, як місцем виникнення вставки або випадання біт в тестовій послідовності, так і параметрами самої помилки. Загальна похибка та максимальні розміри виявлених бітових помилок залежать від типу застосованої тестової послідовності, а також від рівня помилок в каналі. Тому для виявлення бітових помилок важливо оцінити роздільну здатність позиційного та кореляційного методів, щоб з'ясувати рівень ймовірності невірної визначення фази, яка може виникати при застосуванні цих методів.

Кореляційний і позиційний методи дозволяють виявляти бітові помилки на фоні адитивних завад і обчислювати їх параметри, а також відокремлювати одну від одної помилки різних типів: вставки, випадання та фонові адитивні помилки. Позиційний метод допускає просту як апаратну, так і програмну реалізацію [1]. Оцінка роздільної здатності кореляційного та позиційного методів, повинна дати загальне представлення про ефективність цих методів при виявленні вставок і випадань бітів в аналізованій тестовій послідовності при наявності в дискретному каналі фонових адитивних помилок.

Ймовірність невірного виявлення фази

Для отримання попередніх оцінок роздільної здатності визначення фази при наявності фонових адитивних помилок необхідно провести дослідження чутливості кореляційного та позиційного методу до цих помилок. В якості оцінки будемо використовувати ймовірність невірного визначення фази p_{err} відрізка прийнятої із каналу послідовності (вікна) в залежності від рівня адитивних бітових помилок (BER) в досліджуваному каналі передачі або відновлення даних (без врахування бітових помилок) [3-6].

В результаті повного перебору всіх можливих комбінацій помилок за допомогою програмної моделі отримані залежності кількості випадків невірного визначення фази від кількості помилок в досліджуваній послідовності (вікні). При цьому довжина послідовності вибирається рівною періоду ПВП (для $m=3, 4, 5$ відповідно $T=7, 15, 31$). Названі залежності для кореляційного та позиційного методів приведені в табл. 1-5.

Залежності ймовірностей неправильного виявлення фази у послідовності від ймовірності помилок в дискретному каналі приведені на рис. 1-3. При цьому графіки із суцільною лінією відносяться до позиційного методу, а графіки пунктиром відносяться до кореляційного методу. Ймовірність неправильного виявлення фази розраховується таким чином [2]:

$$p_{err} = \sum_{i=1}^T e_i p^i \cdot (1-p)^{T-i},$$

де e_i – кількість випадків неправильного виявлення фази при наявності i -того числа бітових помилок у

Таблиця 1.

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів при $m=3, T=7$

| i | p | Кореляційний метод | | Позиційний метод | |
|-----|-----------|--------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| | | e_i | p_{err} | e_i | p_{err} |
| 1 | 10^{-6} | 0 | 10^{-14} | 0 | 10^{-9} |
| 2 | 10^{-5} | 0 | 10^{-13} | 6 | $5 \cdot 10^{-9}$ |
| 3 | 10^{-4} | 24 | $2 \cdot 10^{-12}$ | 20 | $1,5 \cdot 10^{-8}$ |
| 4 | 10^{-3} | 6 | $5 \cdot 10^{-11}$ | 31 | 10^{-7} |
| 5 | 10^{-2} | 18 | $6 \cdot 10^{-8}$ | 21 | $1,63 \cdot 10^{-5}$ |
| 6 | 10^{-1} | 0 | $9,2 \cdot 10^{-5}$ | 7 | $4,1 \cdot 10^{-3}$ |
| 7 | 10^0 | 0 | $0,35 \cdot 10^{-1}$ | 0 | $1,1 \cdot 10^{-1}$ |

Із графіка на рис. 1 можна зробити висновок, що кореляційний метод має більшу роздільну здатність, тобто характеризується кращою стійкістю до дії адитивних завад, оскільки крива, яка відповідає кореляційному методу розміщена нижче. Для $m=3$ при ймовірності фонові адитивної помилки $p=0,1$ ймовірність невірної виявлення фази p_{err} складає $4,1 \cdot 10^{-3}$ і $9,2 \cdot 10^{-5}$ для позиційного та кореляційного методів, відповідно.

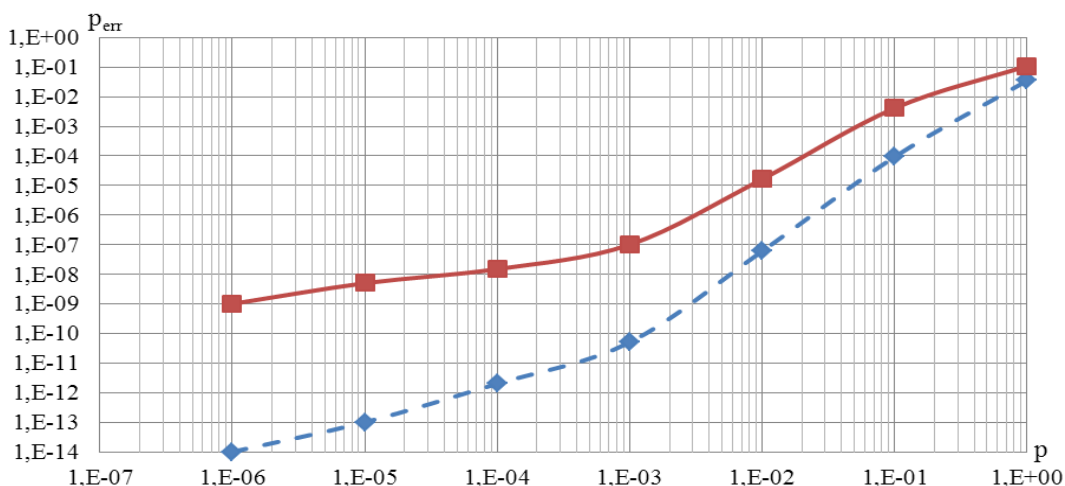


Рис. 1. Залежність ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=3$

Для порівняння проведемо дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок в дискретних каналах при $m=4, T=15$ (табл. 2, 3). Графік залежності ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=4$ наведений на рис. 2.

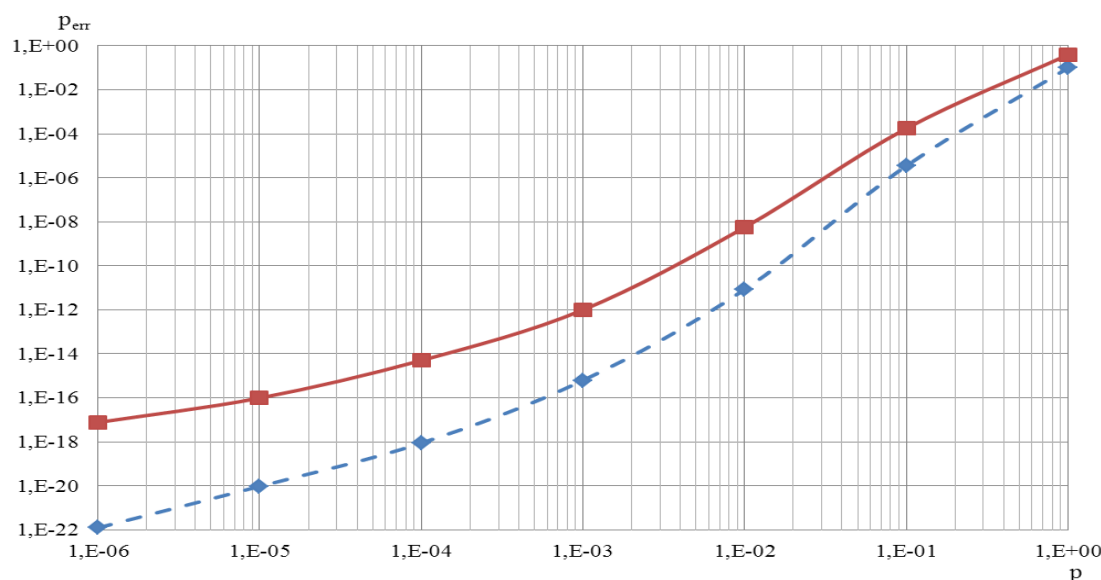
Таблиця 2.

Випадки невірної визначення фази для кореляційного та позиційного методів при $m=5, T=31$

| i | C_i^r (кількість комбінацій) | e_i (кореляційний метод) | e_i (позиційний метод) |
|-----|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 15 | 0 | 0 |
| 2 | 105 | 0 | 0 |
| 3 | 455 | 0 | 0 |
| 4 | 1365 | 0 | 303 |
| 5 | 3003 | 784 | 1341 |
| 6 | 5005 | 2968 | 3683 |
| 7 | 6435 | 2856 | 5630 |
| 8 | 6435 | 3486 | 6142 |
| 9 | 5005 | 2450 | 4892 |
| 10 | 3003 | 1302 | 2990 |
| 11 | 1365 | 490 | 1364 |
| 12 | 455 | 392 | 455 |
| 13 | 105 | 0 | 105 |
| 14 | 15 | 0 | 15 |
| 15 | 1 | 0 | 0 |

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів при $m=4$, $T=15$

| p | Кореляційний метод | Позиційний метод |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | P_{err} | P_{err} |
| 10^{-6} | $1,23 \cdot 10^{-22}$ | $7,6 \cdot 10^{-18}$ |
| 10^{-5} | $9,4 \cdot 10^{-21}$ | $9,75 \cdot 10^{-17}$ |
| 10^{-4} | $8,7 \cdot 10^{-19}$ | $5 \cdot 10^{-15}$ |
| 10^{-3} | $6,2 \cdot 10^{-16}$ | $9,89 \cdot 10^{-13}$ |
| 10^{-2} | $8,34 \cdot 10^{-12}$ | $5,61 \cdot 10^{-9}$ |
| 10^{-1} | $3,48 \cdot 10^{-6}$ | $1,75 \cdot 10^{-4}$ |
| 10^0 | $9,78 \cdot 10^{-2}$ | $3,91 \cdot 10^{-1}$ |

Рис. 2. Залежність ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=4$

Для порівняння та отримання остаточної оцінки проведемо дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок в дискретних каналах зв'язку при $m=5$, $T=31$ (табл. 4, 5). Графік залежності ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=5$ наведений на рис. 3.

Отримання оцінки роздільної здатності позиційного та кореляційного методів контролю параметрів бітових помилок при $m=5$, $T=31$ пов'язано із додатковими підрахунками ймовірності невірного визначення фази для всіх існуючих комбінацій помилок (вставок і випадань бітів) при наявності в каналі фонових адитивних помилок. За рахунок отримання таких оцінок можна більш точно говорити про можливість позиційного та кореляційного методів при реєстрації вставок і випадань бітів в досліджуваній тестовій послідовності в дискретному каналі, що досліджується.

Випадки невірного визначення фази для кореляційного і позиційного методів при $m=5$, $T=31$

| i | C_i^T (кількість комбінацій) | e_i (кореляційний метод) | e_i (позиційний метод) |
|-----|--------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 31 | 0 | 0 |
| 2 | 465 | 0 | 0 |
| 3 | 4495 | 0 | 0 |
| 4 | 31465 | 0 | 0 |
| 5 | 169911 | 0 | 0 |
| 6 | 736281 | 0 | 5146 |
| 7 | 2629575 | 0 | 155486 |
| 8 | 7888725 | 0 | 1317616 |
| 9 | 20160075 | 343200 | 6486642 |
| 10 | 44352165 | 5332560 | 21794531 |
| 11 | 84672315 | 33729360 | 54775096 |
| 12 | 141120525 | 78794520 | 108841155 |

| | | |
|----|-----------|-----------|
| 13 | 206253075 | 101892840 |
| 14 | 265182525 | 145586520 |
| 15 | 300540195 | 157217640 |
| 16 | 300540195 | 160546350 |
| 17 | 265182525 | 138891090 |
| 18 | 206253075 | 112514430 |
| 19 | 141120525 | 72530850 |
| 20 | 84672315 | 43631910 |
| 21 | 44352165 | 21238170 |
| 22 | 20160075 | 11444070 |
| 23 | 7888725 | 3227610 |
| 24 | 2629575 | 1375320 |
| 25 | 736281 | 241080 |
| 26 | 169911 | 80640 |
| 27 | 31465 | 25200 |
| 28 | 4495 | 0 |
| 29 | 465 | 0 |
| 30 | 31 | 0 |
| 31 | 1 | 0 |

Таблиця 5.

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів при $m=5, T=31$

| p | Кореляційний метод | Позиційний метод |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| | p_{err} | p_{err} |
| 10^{-6} | $1,1 \cdot 10^{-35}$ | 10^{-27} |
| 10^{-5} | $4,1 \cdot 10^{-33}$ | $1,7 \cdot 10^{-25}$ |
| 10^{-4} | $7,3 \cdot 10^{-30}$ | $6 \cdot 10^{-23}$ |
| 10^{-3} | $1,2 \cdot 10^{-27}$ | $5,8 \cdot 10^{-21}$ |
| 10^{-2} | $9,54 \cdot 10^{-20}$ | $3,61 \cdot 10^{-14}$ |
| 10^{-1} | $1,46 \cdot 10^{-4}$ | $3,73 \cdot 10^{-3}$ |
| 10^0 | $5,68 \cdot 10^{-3}$ | $1,41 \cdot 10^{-1}$ |

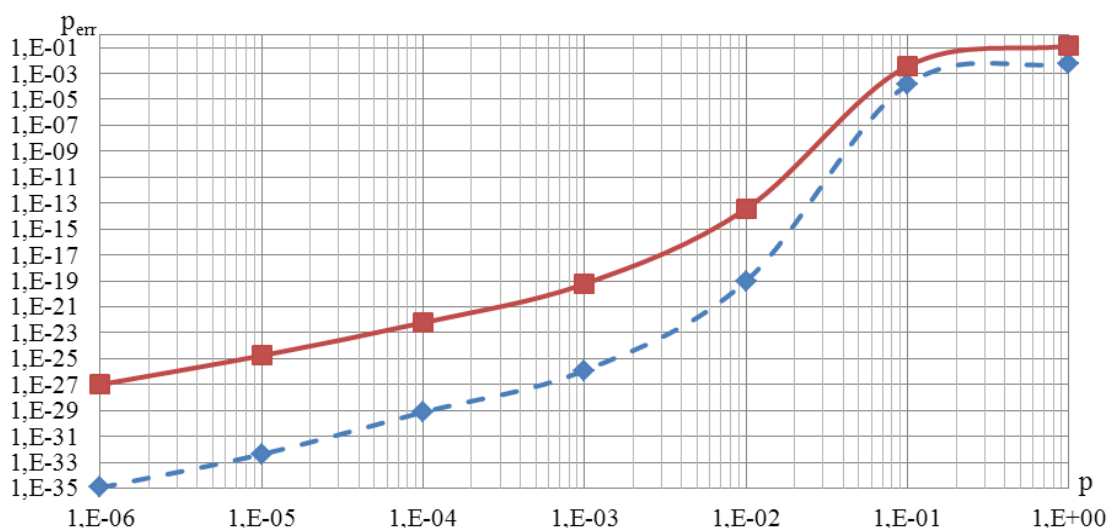


Рис. 3. Залежність ймовірності неперервного виявлення фази p_{err} від ймовірності адитивної помилки p при $m=5$

Із графіка на рис. 3 можна зробити висновок, що кореляційний метод має кращу роздільну здатність, тобто характеризується кращою стійкістю до адитивних завад, оскільки крива, яка відповідає кореляційному методу, розміщена нижче, при всіх значеннях m . Наприклад, для $m=5$, при ймовірності фонові адитивної помилки $p=0,1$ ймовірність невірного виявлення фази p_{err} складає $3,73 \cdot 10^{-3}$ для позиційного і $1,46 \cdot 10^{-4}$ для кореляційного методів. Такий результат свідчить про кращі можливості кореляційного методу при визначенні фази в досліджуваних бітових послідовностях, що дозволяє уникати невірних оцінок появи в ставок і випадань в аналізованій бітовій послідовності.

Дослідження роздільної здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок дозволяє зрозуміти можливості цих методів при аналізі дискретних каналів на наявність вставок і випадань бітів в інформаційній або тестовій бітовій послідовності. Також можна побачити, як

адитивні бітові помилки впливають на здатність методів виявляти вставки та випадання бітів в аналізованій тестовій послідовності.

Ефекти роздільної здатності кореляційного та позиційного методів

Один із ефектів роздільності здатності кореляційного та позиційного методів полягає в тому, що запропоновані методи, особливо при наявності бітових помилок не можуть розділяти дві та більше рядом розміщених помилки (рис. 4). Таким чином має місце об'єднання бітових помилок при їх виявленні і як наслідок, реєстрація на виході пристрою однієї помилки з іншими параметрами.

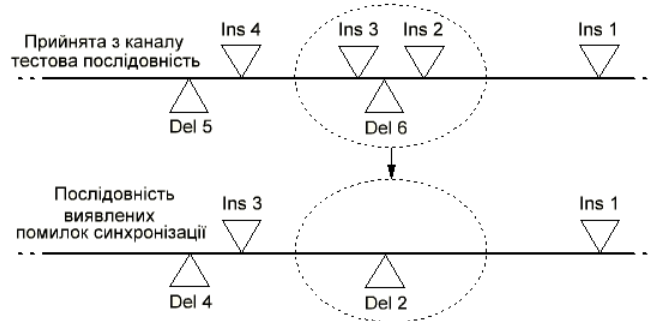


Рис. 4. Ефект об'єднання бітових помилок (Ins – вставки, Del – випадання)

Як видно з рис. 4 параметри такої помилки пов'язані із параметрами декількох розміщених поряд помилок. У вхідному потоці параметр і тип виявленої бітової помилки знаходиться таким чином:

$$\Delta L_{SE} = \sum_{i=1}^n \Delta L_i,$$

де n – кількість бітових помилок в межах деякої невеликої локальної області; ΔL_i – параметр (кількість вставлених або випавших біт) і тип i -тої бітової помилки в локальній області (випадання зі знаком "-", вставка – зі знаком "+"); ΔL_{SE} – параметр і тип виявленої бітової помилки.

Отже, у випадку групування бітових помилок при правильній роботі пристрою виявлення бітових помилок на його виході в потоці станів дискретного каналу буде спостерігатися таке співвідношення:

$$p_{ins} - p_{del} \approx p'_{ins} - p'_{del},$$

де p_{ins} – ймовірність вставки біта в каналі, p_{del} – ймовірність випадання біта в каналі p'_{ins} – ймовірність вставки біта на виході пристрою, p'_{del} – ймовірність випадання біта на виході пристрою.

Об'єднання бітових помилок, які знаходяться поряд, в першу чергу пояснюється обмеженими можливостями тестової послідовності. Даний ефект, очевидно, буде підсилюватися при наявності адитивних помилок. Необхідність прийняття рішення про наявність бітових помилок в межах ділянки кінцевої довжини (дві послідовності) прийнятої із каналу тестової послідовності є іншою причиною, яка викликає ефект об'єднання бітових помилок. Зменшення довжин послідовностей призводить до збільшення ймовірності невірного визначення фази у випадку високого рівня бітових помилок.

Другий ефект пов'язаний із локалізацією бітових помилок, що призводить до виникнення похибки обчислення позицій бітових помилок, що призводить до появи помилкових (кінцевих) пакетів адитивних помилок при реєстрації. На рис. 5 показано виникнення помилкового пакета адитивних помилок (випадок 1) внаслідок неточної локалізації бітової помилки. У випадку точної локалізації (випадок 2) бітової помилки і додаткові адитивні помилки не реєструються.

При виявленні та визначенні параметрів бітових помилок виникає таке поняття, як недопустима похибка. Ймовірність недопустимої похибки рівна відношенню кількості невірно виявлених бітових помилок і їх невірно знайдених параметрів (тип помилки та довжина в бітах) до числа всіх бітових помилок.

До причин виникнення недопустимої похибки відносяться:

- не виявлення бітової помилки (вставки та випадання біт), якщо її довжина кратна періоду тестової послідовності;
- об'єднання бітових помилок, які знаходяться поряд;
- неправильне визначення параметрів вставки (випадання), якщо її довжина перевищує половину періоду тестової послідовності;
- неможливість правильного визначення параметрів вставок (випадань) при недопустимому зниженні величини ваги оцінок фази у послідовностях обробки через велику інтенсивність фонових адитивних завад в досліджуваному каналі [5, 6].

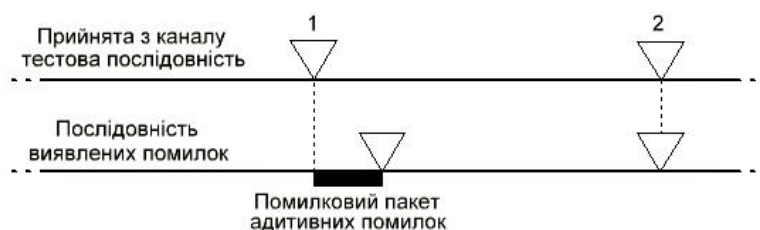


Рис. 5. Помилковий пакет адитивних помилок, який являється наслідком неточної локалізації бітових помилок

Потрібно відмітити, що якщо найбільш ймовірні фази сигналів у двох послідовностях визначені правильно, то параметри вставки або випадання біт будуть завжди визначені правильно при наявності однієї бітової помилки довжиною менше ніж $T/2$ в межах двох суміжних аналізованих відрізках прийнятої із каналу тестової послідовності, а також у всіх інших випадках при відсутності ефекту об'єднання. В свою чергу, якщо параметри бітових помилок знайдені правильно (знайдена позиція в потоці, тип і довжина в бітах), то подальше визначення параметрів фонових адитивних (бітових) помилок в межах вставки або випадання представляє собою досить просту задачу.

Висновки

Проведене дослідження роздільності здатності кореляційного та позиційного методів контролю параметрів бітових помилок. При цьому показано, що кореляційний метод характеризується кращою роздільною здатністю, тобто є стійкішим до адитивних завад, оскільки крива (позначена пунктиром), яка відповідає кореляційному методу на приведених графіках завжди розміщена нижче.

Досліджені ефекти роздільної здатності кореляційного та позиційного методів дозволяють однозначно визначити випадки в яких не можливо розрізнити бітові помилки, які знаходяться поряд, що призводить до появи додаткового пакету адитивних помилок.

Література

1. Кичак В. М. Кореляційний метод оцінювання параметрів бітових помилок / В. М. Кичак, В. Д. Тромсюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2015. – №5. – С. 180-185.
2. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / И. Г. Бакланов – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999. – 196 с.
3. Sudhir Babu and Dr. K.V Sambasiva Rao. Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 26– No.9, July 2011.
4. Deepak K. Chy , Md. Khaliluzzaman. Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER. International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing (2330-1007) Volume 6– No.6, February 6, 2015, pp. 7-12.
5. Ian Poole. Bit Error Rate Testing: BER Test [електронний ресурс] // RF Tecnology & Design: Resources and analysis for electronics engineers. – Режим доступу: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-testing-bert.php> (дата звернення 01.06.2016).
6. Gary Breed. Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issues. High Frequency Electronics, LLC., January 2003, pp. 46-48.

References

1. Kychak V. M. Koreljacijnyj metod ocinjuvannja parametriv bitovykh pomylok / V. M. Kychak, V.D. Tromsjuk//Visnyk Khmeljnycjkogho nacionaljnogho universytetu. Tekhnichni nauky – 2015. – №5. – С. 180-185.
2. Baklanov Y. G. Metody yzmerenyj v systemakh svjazy/ Y. G. Baklanov – М. : ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999. –196 s.
3. Sudhir Babu and Dr. K.V Sambasiva Rao. Evaluation of BER for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels under Various Modulation Schemes // International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 26– No.9, July 2011.
4. Deepak K. Chy , Md. Khaliluzzaman. Evaluation of SNR for AWGN, Rayleigh and Rician Fading Channels Under DPSK Modulation Scheme with Constant BER // International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing (2330-1007) Volume 6– No.6, February 6, 2015, pp. 7-12.
5. Ian Poole. Bit Error Rate Testing: BER Test [elektronnyj resurs] // RF Tecnology & Design, INC: Resources and analysis for electronics engineers. – Rezhym dostupu: <http://www.radio-electronics.com/info/rf-technology-design/ber/bit-error-rate-testing-bert.php> (data zvernennia 01.06.2016).
6. Gary Breed. Bit Error Rate: Fundamental Concepts and Measurement Issues. High Frequency Electronics, LLC., January 2003, pp. 46-48.

Рецензія/Peer review : 25.5.2016 р.

Надрукована/Printed :28.6.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією