

УДК 681.3

М.Є. Сапожніков, д-р. техн.наук,

Ю.Ю.Столярчук, П.С.Бейнер

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОСТІ ЙМОВІРНІСНИХ КОДІВ

**Анотація.** Нині в теорії зв'язку добре вивчена перешкодостійкість різних кодів, розроблено методи виявлення і корекції помилок. Незважаючи на значну спільність проблем, безпосереднє використання в цифрових приладах результатів робіт по перешкодостійкості, виконаних стосовно завдань зв'язку, зустрічає ряд труднощів, обумовлених, в першу чергу, специфікою кодування в цифрових приладах і різними критеріями оцінки.

**Ключові слова:** ймовірнісна форма, дискретно симетричний канал, середньоквадратичний відхил.

N.E.Sapozhnikov, ScD.,

Y.Y. Stolyarchuk, P.S Beyner

### NOISE STABILITY INVESTIGATION OF PROBABILITY CODES

**Abstract.** Today the noise stability of different codes is well studied in the theory of communication, it was developed a lot of methods for detecting and correcting errors. Despite the significant community problems, direct use in digital devices, the results of the noise immunity encounters several difficulties caused primarily by specific coding in digital devices and different evaluation criteria.

**Keywords:** probability form, discrete symmetric channel, standard deviation.

Н.Е.Сапожников, д-р. техн.наук,

Ю.Ю. Столярчук, П.С.Бейнер

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ВЕРОЯТНОСТНЫХ КОДОВ

**Аннотация.** В настоящее время в теории связи достаточно хорошо изучена помехоустойчивость различных кодов, разработаны методы обнаружения и коррекции ошибок. Несмотря на значительную общность проблем, непосредственное использование в цифровых приборах результатов работ по помехоустойчивости, выполненных применительно к задачам связи, встречает ряд трудностей, обусловленных в первую очередь, спецификой кодирования в цифровых приборах и различными критериями оценки.

**Ключевые слова:** вероятностная форма, дискретно симметричный канал, среднеквадратическое отклонение.

#### Вступ

У теорії зв'язку як кількісна міра завадостійкості, найчастіше використовується вірогідність спотворення повідомлення в умовах дії перешкод.

Оскільки завадостійкість коду значною мірою визначає похибка цифрового приладу в умовах дії перешкод, то у разі вибору кількісної міри перешкодостійкості бажано виходити із умови узгодження її з кількісною мірою похибки.

Очевидно доцільно як кількісну міру перешкодостійкості застосовувати таку характеристику, яка одночасно враховувала б і міру невідповідності результату кодування дійсному значенню величини, і вірогідність появи цієї невідповідності.

Міра невідповідності може бути охарактеризована величиною різниці значень результату кодування за відсутності перешкод і результату кодування у разі дії перешкод. Позначивши міру невідповідності  $\Delta$ , результат кодування за відсутності перешкод  $X$ , а результат кодування при впливі переш-

коди  $Y - X(Y)$ , можна записати:

$$\Delta = |X - X(Y)|. \quad (1)$$

Неважко переконатися, що величина  $\Delta$  залежить від типу коду, значення вимірюваної величини  $X$  і перешкоди  $Y$ .

Оскільки окремі значення величини  $X$  і перешкоди  $Y$  є випадковими, то величина  $\Delta$  теж виявляється випадковою.

Числові характеристики закону розподілу величини  $\Delta$  є тими характеристиками, які враховують як міру невідповідності, так і вірогідність її появи, тому вони можуть бути використані як кількісна міра перешкодостійкості.

Вибір характеристики (або сукупності деяких числових характеристик) як кількісної міри перешкодостійкості визначається конкретними умовами використання [3].

#### Постанова задачі

Властивість перешкодостійкості ймовірного відображення витікає з незалежності кожного члена ймовірнісної форми від будь-якого іншого, це в свою чергу походить від того факту, що генерація ймовірного ві-

дображення відповідає схемі випробувань Бернуллі.

Помилка в перетворенні може бути обумовлена наявністю перешкоди, її інтенсивністю, місцем розташування на часовій осі і може досягати за абсолютною величиною значення амплітуди перешкоди. Незалежно від місця розташування перешкоди на часовій осі, вона інтегрується і складається з усередненим значенням амплітуди корисного сигналу на заданому інтервалі перетворення [2], значно знижуючи дію перешкоди на корисний сигнал.

Як критерії оцінки перешкодостійкості ймовірнісного відображення слід використовувати такі характеристики, як математичне очікування

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx \quad (2)$$

та середньоквадратичне відхилення величини (СКВ)

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3)$$

Аналіз перешкодостійкості проводиться моделлю однодекадного цифрового приладу з порозрядним урівноваженням. Прийmemo такі обмеження:

1. вимірювана величина і перешкода статистично незалежні;
2. перешкода за тривалістю не перевищує часу урівноваження в одному двійковому розряді;
3. вірогідності появи перешкоди зі знаком плюс і мінус однакові;
4. враховуються перешкоди, які впливають на окремі вузли (тригери, компаратори), викликаючи їх «помилкове» спрацьовування (перешкоди другого роду);
5. дія перешкод другого роду замінюється еквівалентною дією перешкод першого роду (еквівалентні перешкоди першого роду);
6. вважається, що значення еквівалентної перешкоди першого роду розподілені за рівномірним законом у діапазоні від 1 до 256;
7. розглядаються лише цілочисельні значення величин, що передаються, і перешкод.

З урахуванням усіх прийнятих вище обмежень [3] при рівномірному законі розподілу дискретної випадкової величини, можна застосувати методіку, у разі якої ймовірнісне відображення розглядається при передаванні через простий дискретний симетричний канал (ДСК).

Ініціатор передавання через ДСК при перетворенні дискретної величини  $X$  у ймовірнісне відображення  $P_X$  застосовує метод зіставлення цієї величини  $X$  з псевдовипадковими рівномірно розподіленими дискретними величинами  $\bar{C}$ . Отже, ймовірнісне відображення також підпорядковане рівномірному закону розподілу. Можна розрахувати значення середньоквадратичного відхилення величини  $P_X$ , яке й покаже розсіювання значень відносно її математичного очікування. Маючи значення еталонного середньоквадратичного відхилення, приймаюча сторона ДСК обчислює СКВ для прийнятого блоку даних і порівнює його еталонним значенням СКВ. Повний збіг цих параметрів говорить про відсутність перешкоди під час акту передавання. Проте навіть за наявності відхилення математичного очікування (МО) від еталонного ймовірнісне відображення здатне проінтегрувати спотворення в каналі передавання даних і отримати на виході істинну інформацію.

Спосіб обчислення СКВ для блоку даних, що передається [5], дає змогу не лише оцінити факт наявності або відсутності перешкоди, але і проводити додаткове (контрольне) коригування даних у разі виникнення спотворень в каналі передачі даних.

#### Вирішення поставленої задачі

Розглядаючи акт передачі ймовірнісного відображення по каналу зв'язку за наявності і відсутності перешкод, видно, якщо по каналу зв'язку передається деякий параметр  $X=190$ , ймовірнісне відображення набуде вигляду:

$$\begin{cases} X > \text{rand}_k(); & P[k]=1 \\ X \leq \text{rand}_k(); & P[k]=0, \end{cases} \quad (4)$$

де  $\text{rand}_k()$  – значення допоміжного випадкового сигналу на  $k$  такті;  $P[k]$  – ймовірнісне відображення значення сигналу  $X$ ;  $k$  – кількість статистичних випробувань.

$P[k]$  являє собою ймовірнісну форму параметра  $X$ , тому  $X'$  – відновлене значення ймовірнісної форми [4],

$$X' = \frac{M[P[k]]}{k} \cdot \max(X) = X. \quad (5)$$

Розрахувавши СКВ ймовірнісного відображення, отримаємо

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (P_k - M[P[k]])^2} = 0.438. \end{aligned} \quad (6)$$

Це значення СКВ і буде еталонним.

У разі виникнення перешкоди розглядається варіант при внесенні помилки під час передачі інформації та відстежується зміна значення СКВ. Промоделювати наявність перешкоди можна за допомогою зміни значення МО ймовірнісної форми

$$X'' = \frac{M^*[P[k]]}{k} \cdot \max(X). \quad (7)$$

Отже, штучно змінивши МО для моделювання перешкоди в каналі зв'язку, отримаємо

$$X'' = \frac{M^*[P[k]]}{k} \cdot \max(X) = X. \quad (8)$$

Очевидно, що МО прийнятого ймовірнісного відображення відрізняється від еталонного (наявність перешкоди в каналі зв'язку), проте це не впливає на вихідне значення [1], тому  $X'' = X$ .

Отже кількість статистичних випробувань визначає рівень перешкодостійкої ймовірнісної форми представлення даних.

Проте, коли МО змінюється на порядок, отримаємо випадок відхилення значення  $X'' \neq X$ :

$$X'' = \frac{M^{**}[P[k]]}{k} \cdot \max(X) \neq X. \quad (9)$$

Також спостерігається відхилення значення СКВ від еталонного  $\delta_3 \neq \delta$ ,

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \\ &= \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (P_k - M^{**}[P[k]])^2} = 0.432. \end{aligned} \quad (10)$$

Відхилення СКВ від еталонного значення  $0,432 \neq 0,438$  свідчить про наявність перешкоди в каналі зв'язку.

Ймовірнісна форма дає змогу скорегувати отримані дані. Еталонне СКВ  $\delta_3$  в даному випадку становить 0.438, що на  $\omega = \delta_3 - \delta = 0.006$  більше значення СКВ після перешкоди. Визначивши питому вагу одного біта в ймовірнісному відображенні, відносного еталонного СКВ

$$\Delta = \frac{\delta_3}{k}, \quad (11)$$

маємо можливість обчислити коефіцієнт коригування МО ймовірнісної форми:

$$\Lambda = \left| \frac{\omega}{\Delta} \right| = 14.027. \quad (12)$$

Розрахунок показує, що для коригування значення ймовірнісної форми слід МО зменшити на  $\Lambda$ , тобто:

$$X'' = \frac{M^{**}[P[k]] - \Lambda}{k} \cdot \max(X) = X, \quad (13)$$

що сприяє відновленню початкового значення параметра  $X=190$ .

Підсумувавши, варто відзначити, що при зростанні МО слід його зменшувати на розраховане значення  $\Lambda$ , а при зменшенні, збільшувати.

### Висновок

Перешкодостійкість ймовірнісних кодів не може бути досліджена відомими методами виявлення і корекції помилок. Проте підхід, який було запропоновано під час дослідження здатності ймовірнісного відображення інтегрувати перешкоди у каналі зв'язку, дає можливість не лише оцінити здатність ймовірнісного кодування протистояти перешкодам, але й забезпечує досить ефективний механізм коригування даних, представлених у ймовірнісній формі відображення.

### Список використаної літератури

1. Абезгауз Г.Г. Довідник за ймовірнісними розрахунками / Г. Г. Абезгауз – М.: Воениздат, 1970. – 58 с.
2. ГОСТ 11.010-81 Прикладна статистика: Правила визначення оцінок параметрів і довірчих інтервалів для біномного і негативного біномного розподілу.
3. Ефіменко В.В. Про завадостійкість двійково-десяткових кодів / В.В. Ефіменко // Конференція з автоматичного контролю та засобів електричного вимірювання. – К.: – 1965. – Вип.2. – С. 63-68.

4. Сапожніков М.Є. Про ймовірнісне перетворення інформації / М.Є. Сапожніков // Приладобудування. – К.: – 1983. – Вып.34. – С. 31-38

5. Феллер В. Введення в теорію вірогідності і її застосування / В. Феллер – М. : Світ, 1984. – 176 с.

Отримано 15.10.2011

#### References

1. Abezgauz G.G. Handbook for probabilistic calculations – М.: Voenizdat, 1970 –58 p. [in Ukrainian].

2. GOST 11.010-81 Applied Statistics: Rules for determining the parameters estimates and confidence intervals for binomial and negative binomial distribution [in Ukrainian].

3. Efimenko V.V. On the interference immunity of binary-decimal codes // Conference on automatic control and electric measurement. – К.: – 1965 – Issue 2. – P.63-68 [in Ukrainian].

4. Sapozhnikov N.E. On probabilistic transformation of information. // Priladobuduvannya. – К.: – 1983. – Issue 34. – P. 31–38 [in Ukrainian].

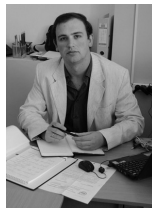
5. Pheller V. Introduction to probability theory and its application– М.: Svit, 1984 – 176 p. [in Ukrainian].



Сапожніков  
Микола Євгенович,  
д.т. н., проректор Севастоп.  
нац. ун-ту Ядерної Енергії і  
Промисловості,  
м.Севастополь, Курчатова, 7  
(067) 692-20-76



Столярчук  
Юрій Юрійович,  
асп. каф. КС  
Севастоп. Нац.ун-ту Ядерної  
Енергії і Промисловості,  
м.Севастополь, Курчатова, 15  
(063) 417-42-90



Бейнер Петро Сергійович,  
асп. Севастоп. Нац.ун-ту  
Ядерної Енергії і Промисло-  
вості,  
м. Севастополь, Курчатова, 7  
(066) 471-40-00