Захист інформації та кібернетична безпека

УДК 004. 056. 55

DOI: 10.30748/soi.2020.161.10

О.А. Борисенко, А.О. Горішняк, О.В. Бережна, В.В. Сердюк, М.М. Яковлев

Сумський державний університет, Суми

ОЦІНКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ КОДУВАННЯ ДЕСЯТКОВИХ ЦИФР РІВНОВАЖНИМИ КОМБІНАЦІЯМИ

Одне із основних завдань техніки зв'язку – це забезпечення високої якості передачі інформації в умовах дії завад. У випадку, що розглядається, досліджується завадостійка передача числової вимірювальної інформації при передачі показів вимірювальних приладів обліку, наприклад, кількості спожитої води, електроенергії, тощо. В такому випадку важливим фактором підвищення якості передачі інформації є використання завадостійких кодів для кодування десяткових цифр, з допомогою яких передається інформація з вимірювальних приладів. В даній роботі використовуються рівноважні коди, які прості за своєю структурою і в той же час мають непогану завадостійкість як в симетричних каналах передачі інформації, так і в несиметричних. Кодові комбінації цих кодів складаються з n -яти розрядів, два з яких одиничні, а три нульові. Порушення кількості одиниць і відповідно кількості нулів в кодовій комбінації є ознакою її помилки. Однак оцінка рівня завадостійкості двійково-десяткових рівноважних кодів не має на сьогодні закінченого вигляду і тому потребує подальших досліджень. Робота, що розглядається, спрямована на проведення такої оцінки. Вона дозволить в кінцевому підсумку оцінити ефективність роботи системи передачі числових даних, яка використовує двійково-десяткові рівноважні коди. Ця оцінка підтверджується програмним моделюванням системи передачі двійково-десяткових цифр, результати якого надані в вигляді графіків. Таке моделювання потрібно проводити для кожної системи передачі вимірювальної інформації окремо, тому що ймовірність помилкових переходів для них різна. У роботі розглянута математична модель визначення ймовірності помилкового переходу рівноважної кодової комбінації, що передається. При створенні математичної моделі враховані особливості, які притаманні рівноважному коду. Побудовані алгоритми і програма для здійснення оцінки завадостійкості кодів та її відповідності різним класам достовірності, з допомогою якої проведена оцінка завадостійкості двійково-десяткових рівноважних кодів. Аналіз результатів дослідження показав, що застосування рівноважних кодів забезпечує необхідний рівень захисту вимірювальної інформації у відповідності до вимог стандартів при введенні мінімального рівня надлишковості. За результатами дослідження зроблено висновок, що надана методика оцінки завадостійкості та ефективності кодування двійково-десяткових чисел рівноважними кодами дає можливість ефективно використовувати її на практиці.

Ключові слова: передача інформації, кодова комбінація, ймовірність, завадостійкість, рівноважний код.

Вступ

Кодування інформації все більше застосовується в різних галузях промисловості та господарства. Рівень завдань, покладених на електронні цифрові пристрої та системи, в ряді випадків досить високий. Наслідки в результаті відмов технічних засобів через вплив перешкод можуть становити суттєві матеріальні втрати, нести загрозу безпеці та життю користувача. Дослідження питань оцінки завадостійкості засобів передачі інформації є необхідним та актуальним аспектом їх розвитку. Особливо це важливо з появою нових методів кодування та захисту інформації при порівнянні їх між собою [1–5].

На практиці широко використовуються системи передачі двійково-десяткових цифр, які, напри-

клад, знімаються з вимірювальних пристроїв води, електрики і т.д. Однак при цьому виникає потреба їх захисту від завад. В роботі пропонується для цього використовувати кодування цих цифр рівноважними комбінаціями, як найбільш просте за апаратною реалізацією, швидкодією і досить високою завадостійкістю [6–7]. Однак оцінка завадостійкості двійково-десяткових рівноважних кодів не має закінченого вигляду і тому потребує подальших досліджень. Дана робота спрямована на проведення такої оцінки. Вона дозволить в кінцевому підсумку оцінити ефективність роботи системи передачі числових даних, яка використовує двійково-десяткові рівноважні коди.

Рівноважний код – це двійковий код, в якому комбінації містять k одиниць та $(n - k)$ нулів, де n – довжина кодових комбінацій. Перевагою рівноважних

кодів є можливість швидко та ефективно знаходити помилки під час обробки інформації. Оскільки рівноважний код складається з двійкових комбінацій, які містять k одиниць та $(n - k)$ нулів, можна легко знайти помилку в них. Ознакою помилки є не співпадіння числа нулів $(n - k)$ чи одиниць k в кодовій комбінації.

Так, наприклад в роботах [6–7] використовується завадостійкий код, в основу якого покладені рівноважні коди, які складаються з 2 одиниць та 3 нулів. Вони допомагають зашифрувати двійково-десяткові цифри від 0 до 9. Кожна кодова комбінація характеризується параметрами $k = 2$ та $n = 5$. Наприклад, для цифри 0 була застосована рівноважна кодова комбінація 00011. Отже, якщо після передачі цієї комбінації по каналу зв'язку кількість одиниць в ній буде відрізнятися від параметра $k = 2$, то це буде ознакою помилки.

Основними задачами дослідження є:

- оцінка завадостійкості рівноважних кодів, які кодують двійково-десяткові цифри;
- програмне моделювання системи передачі двійково-десяткових цифр.

Вихідний матеріал

В роботах [8–9] була запропонована оцінка завадостійкості системи передачі даних за допомогою рівноважних кодів, кількість комбінацій в яких дорівнює M . Суть її полягає в тому що кожна кодова комбінація, яка буде передаватися по каналу зв'язку, може перейти, крім переходу в правильну комбінацію, в клас із $M - 1$ дозволених помилкових комбінацій, які не виявляються, або в клас із $(N - M)$ заборонених комбінацій, які можна виявити, де N – загальна кількість кодових комбінацій.

Для оцінки завадостійкості рівноважних кодів запропоновано використати формули ймовірностей переходів кодових комбінацій в ці класи [8].

Правильний перехід рівноважної комбінації в саму себе при передачі оцінює ймовірність

$$P = \sum_{i=1}^M P_i p_i^i,$$

де P_i – ймовірність генерування джерелом інформації i -ї кодової комбінації; p_i^i – ймовірність переходу i -ї кодової комбінації в i -ту.

Ймовірність помилкових переходів рівноважних комбінацій, які не виявляються

$$V = \sum_{i=1}^M P_i p_i^H,$$

де p_i^H – ймовірність помилкового переходу i -ї комбінації в клас комбінацій, які не виявляються.

Вона визначається за формулою

$$p_i^H = \sum_{j=1, j \neq i}^M p_{i,j}^H,$$

де $p_{i,j}^H$ – ймовірність помилкового переходу i -ї комбінації, що передається, в j -ту дозволена.

Ймовірність помилкових переходів, які можна виявити

$$Z = \sum_{i=1}^M P_i p_i^0,$$

де p_i^0 – ймовірність помилкового переходу i -ї комбінації, що передається, в клас комбінацій, які можна виявити.

Її можна визначити за формулою

$$p_i^0 = \sum_{j=M+1}^N p_{i,j}^0,$$

де $p_{i,j}^0$ – ймовірність помилкового переходу для i -ї кодової комбінації.

Для оцінки завадостійкості рівноважних кодів також використаємо наступні теореми [8].

Теорема 1. Рівноважна кодова комбінація довжини n з k одиницями переходить в $C_k^r C_{n-k}^r$ комбінацій з r помилками, які не виявляються.

Для помилкового переходу, який не виявляється, від однієї рівноважної комбінації до іншої необхідно щоб перехід r одиниць в нулі супроводжувався б таким же самим переходом r нулів в одиниці. В іншому випадку помилку можна легко виявити простим підрахунком одиниць у кодовій комбінації.

Теорема 2. Кількість можливих переходів з помилками, які не виявляються, при $k \leq n/2$ визначається за формулою

$$Y = \sum_{r=1}^k C_k^r C_{n-k}^r = C_n^k - 1.$$

Будь-яка рівноважна кодова комбінація із заданими k та n може перейти в будь-яку іншу з такими самими k та n . Кількість таких комбінацій буде дорівнювати C_n^k . Але, оскільки одна з них є вихідною (базовою), то загальна кількість помилкових переходів буде дорівнювати $C_n^k - 1$.

Якщо відомі ймовірності переходів нуля в нуль p_{00} та одиниці в одиницю p_{11} , то ймовірності переходів нуля в одиницю та одиниці в нуль можна визначити наступним чином: $p_{01} = 1 - p_{00}$, $p_{10} = 1 - p_{11}$.

Теорема 3. Ймовірність переходу рівноважної кодової комбінації довжини n з $k \leq n/2$ одиницями в будь-яку дозволена комбінацію з помилками, які не виявляються, визначається за формулою

$$V_i = \sum_{r=1}^k C_k^r C_{n-k}^r p_{01}^r p_{10}^r p_{11}^{k-r} p_{00}^{n-k-r}.$$

Теорема 4. Ймовірність помилкових переходів рівноважних комбінацій, які не виявляються

$$V = V_i,$$

де $V_i = p_i^H$.

Тому у випадку, якщо $k \leq n/2$, імовірність переходів рівноважних комбінацій в дозволени помилкові комбінації дорівнює

$$V = \sum_{i=1}^M P_i p_i^H = \sum_{i=1}^M P_i V_i = \sum_{i=1}^M \sum_{r=1}^k P_i C_k^r C_{n-k}^r p_{01}^r p_{10}^r p_{11}^{k-r} p_{00}^{n-k-r}.$$

Оскільки у всіх M рівноважних кодових комбінаціях, які генеруються джерелом інформації, кількість одиниць та нулів є сталими, то й імовірності V_i рівні між собою. Це означає, що будь-яке згенероване i має ту саму ймовірність V_i переходу в кодову комбінацію з помилкою, яка не виявляється:

$$V = \sum_{i=1}^M P_i V_i = V_i \sum_{i=1}^M P_i = V_i.$$

Після визначення значень ймовірності V помилкових переходів, які не виявляються, та ймовірності P правильного переходу, імовірність помилкових переходів, які можна виявити, знаходиться наступним чином

$$Z = 1 - P - V.$$

Виклад основного матеріалу

Закодуємо двійково-десяткові цифри від 0 до 9 рівноважними кодовими комбінаціями довжини $n = 5$ з кількістю одиниць $k = 2$. Для цього використаємо табл. 1.

Таблиця 1
Кодування двійково-десяткових цифр рівноважним кодом

№	x1x2x3x4	f1f2f3f4f5
0	0 0 0 0	0 0 0 1 1
1	0 0 0 1	0 0 1 0 1
2	0 0 1 0	0 0 1 1 0
3	0 0 1 1	0 1 0 0 1
4	0 1 0 0	0 1 0 1 0
5	0 1 0 1	0 1 1 0 0
6	0 1 1 0	1 0 0 0 1
7	0 1 1 1	1 0 0 1 0
8	1 0 0 0	1 0 1 0 0
9	1 0 0 1	1 1 0 0 0

Рис. 1. Графік залежності ймовірності V помилкового переходу, який не виявляється, від ймовірності збою одного біта інформації

Проведемо аналіз завадостійкості досліджуваного коду. Для цього потрібно:

- визначити загальну N та дозволена M кількість кодових комбінацій;
- визначити значення ймовірності V помилкових переходів, які не виявляються, ймовірності P правильного переходу та ймовірності Z помилкових переходів, які можна виявити, для двійково-десяткових рівноважних кодових комбінацій при різних станах каналу зв'язку;
- оцінити ефективність методу захисту інформації від завад на базі рівноважних кодів.

Спочатку визначимо загальну (N) та дозволена (M) кількість кодових комбінацій.

Загальна кількість двійкових кодових комбінацій довжиною $n = 5$

$$N = 2^n = 2^5 = 32.$$

Кількість дозволених кодових комбінацій для рівноважного коду з параметрами $n = 5$ та $k = 2$

$$M = C_n^k = C_5^2 = 10.$$

Відповідно до наведеної вище математичної моделі обчислені значення ймовірностей V помилкових переходів кодових комбінацій в дозволени помилкові комбінації для симетричного каналу зв'язку. Також для цього каналу знайдені ймовірності P правильного переходу та ймовірності Z помилкових переходів, які виявляються. Вони обчислюються для різних значень ймовірностей збою одного біта інформації. По результатам обчислення вказаних формул побудовані відповідні графіки на рис. 1, 2, 3.

Ці графіки дозволяють для кожного значення p_{01} (або p_{10}), виявити ймовірності P правильної передачі двійково-десяткових рівноважних комбінацій і Z помилкової, які можна виявити, а отже і виправити. Це дозволяє прийняти рішення про експлуатаційну надійність системи передачі вимірювальної інформації і оцінити її ефективність.

Для встановлення кількісних вимог до достовірності передачі даних в автоматизованих розподілених системах та в системах телемеханіки у міжнародному

Рис. 2. Графік залежності ймовірності P правильного переходу від ймовірності збою одного біта інформації

Рис. 3. Графік залежності ймовірності Z помилкового переходу, який можна виявити, від ймовірності збою одного біта інформації

стандарті IEC 870-5-1-95 визначені три класи достовірності даних I1, I2 та I3. Використання того чи іншого класу залежить від характеру даних, що передаються, наприклад, текстова інформація, вимірювальні дані та команди керування технологічними об'єктами.

При проектуванні автоматизованих систем вважається достатнім при передачі текстової інформації забезпечити значення V не гірше ніж 10^{-3} , при передачі вимірювальної інформації не гірше ніж 10^{-8} , а при передачі команд керування не гірше ніж 10^{-12} . Дотримання таких вимог необхідно здійснювати для встановленого рівня ймовірності збою одного біта інформації у каналах зв'язку не більше 10^{-4} , але не гірше ніж вимоги відповідного класу достовірності.

Особливо важливо знати значення ймовірностей V , тому що ці помилки не виявляються, а значить можуть нанести шкоду, наслідки якої важко передбачити.

Результати досліджень значень ймовірностей V при застосуванні наведеного методу для захисту вимірювальної інформації від помилок наведені на рис. 4. Там же показана відповідність V класам достовірності.

Рис. 4. Графік залежності ймовірності V помилкового переходу, який не виявляється, від ймовірності збою одного біта інформації для різних класів достовірності та наведеного методу захисту вимірювальної інформації

За результатами аналізу можна зробити висновок, що застосування рівноважних кодів забезпечує вимоги класу достовірності II у всьому діапазоні рівнів збою одного біту інформації. Вимоги класу I2 забезпечуються тільки до рівня ймовірності 10^{-3} . Вимоги, які забезпечують захист вимірювальної інформації до значення $V=10^{-8}$ отримані при рівні ймовірності збою одного біта інформації 10^{-4} .

Застосування рівноважних кодів забезпечило необхідний рівень захисту вимірювальної інформації у відповідності до вимог стандарту IEC 870-5-1-95 при введенні мінімального рівня надлишковості у вимірювальну інформацію.

Висновки

В роботі було досліджено кодування двійково-десятичних цифр рівноважними кодами. Проведена

оцінка завадостійкості двійково-десятичних рівноважних кодів та побудована її програмна модель.

В результаті дослідження можна зробити висновок, що надана методика оцінки завадостійкості кодування двійково-десятичних чисел рівноважними кодами дає можливість ефективно використовувати її на практиці.

Отримані результати та рекомендації носять універсальний характер і можуть бути застосовані та використані для різних систем зв'язку, які використовують десятичні цифри. В подальшому запропонована методика оцінки завадостійкості може бути використана і для більш складних задач кодування рівноважними кодами, наприклад текстової інформації.

Список літератури

1. Borysenko Olexiy A. Chapter 7: Description and applications of binomial numeral systems complex / Olexiy A. Borysenko, Vyacheslav V. Kalashnikov // *Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem: Collective monograph*. Edited by Sergey G. Rassomahin and Alexandr A. Kuznetsov. – ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, 2017. – P. 147-159.
2. Chapter 3: Representation of cascade codes in the frequency domain / Alexandr A. Kuznetsov, Roman V. Serhiienko, Dmytro I. Prokopovych-Tkachenko, Bakhytzhani S. Akhmetov // *Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem: Collective monograph*. Edited by Sergey G. Rassomahin and Alexandr A. Kuznetsov. – ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, 2017. – P. 71-101.
3. Kuznetsov, Alexandr A. Chapter 4: The methodology of evaluating the energy gains from coding in channels with grouping errors / Alexandr A. Kuznetsov, Sergii V. Ksvun, Yuriy I. Gorbenko // *Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem: Collective monograph*. Edited by Sergey G. Rassomahin and Alexandr A. Kuznetsov. – ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, 2017. – P. 102-119.
4. Chapter 11: A Generalized Criterion of Efficiency for Telecommunication Systems / Alexei A. Borisenko, Vyacheslav V. Kalashnikov, Nataliya I. Kalashnykova, Alexey E. Goryachev // *Computer Vision in Advanced Control Systems Using Conventional and Intelligent Paradigms* (Springer Series: Intelligent Systems Reference Library, ISSN 1868-4394), Springer-Verlag, Alemania, 2014. – Vol. 1. – P. 353-373.
5. Noise Immunity of the Fibonacci Counter with the Fractal Decoder Device for Telecommunication Systems / S. Mat-senko, O. Borysenko, S. Spolitis, V. Bobrovs // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. – 2019. – Vol. 56, No. 5. – Riga, Latvia. – P. 12-21.
6. Система передачі та відображення інформації із захистом числових даних / О.А. Борисенко, О.В. Бережна, А.І. Новгородцев, В.В. Сердюк, М.М. Яковлев // *Системи обробки інформації*. – 2019. – № 2(157). – С. 103-108. <https://doi.org/10.30748/soi.2019.157.14>.
7. Про особливості шифрування в розподілених системах відображення числових даних / О.А. Борисенко, О.В. Бережна, М.М. Яковлев, О.О. Рахматоль, М.С. Фурса // *Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2019): матеріали та програма науково-технічної конференції*. – Суми, 23-26 квітня 2019 р. – Суми: СумДУ, 2019. – С. 90.
8. Борисенко А.А. Оценка помехоустойчивости системы передачи данных на основе равновесных кодов / А.А. Борисенко, О.В. Бережная, И.А. Кулик // *Вісник Сумського державного університету*. – 1999. – № 1. – С. 79-82.
9. Оценка помехоустойчивости систем передачи данных на основе кодов с постоянным весом / О.А. Борисенко, О.В. Бережна, А.І. Новгородцев, В.В. Сердюк, М.М. Яковлев // *Інформаційна безпека та інформаційні технології: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. – Харків, 24-25 квітня 2019 р. – Харків: XHEU ім. С. Кузнеця, 2019. – С. 23.

References

1. Borysenko, Olexiy A. and Kalashnikov, Vyacheslav V. (2017), Chapter 7: Description and applications of binomial numeral systems complex, *Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem: Collective monograph*, ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, pp. 147-159.
2. Kuznetsov, Alexandr A., Serhiienko, Roman V., Prokopovych-Tkachenko, Dmytro I. and Akhmetov, Bakhytzhani S. (2017), Chapter 3: Representation of cascade codes in the frequency domain, *Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem: Collective monograph*, ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, pp. 71-101.

3. Kuznetsov, Alexandr A., Ksvun, Sergii V. and Gorbenko, Yuriy I. (2017), Chapter 4: The methodology of evaluating the energy gains from coding in channels with grouping errors, *Security and noise immunity of telecommunication systems: new solutions to the codes and signals design problem: Collective monograph*, ASC Academic Publishing, Minden, Nevada, USA, pp. 102-119.
4. Borisenko, Alexei A., Kalashnikov, Vyacheslav V., Kalashnykova, Nataliya I. and Goryachev, Alexey E. (2014), Chapter 11: A Generalized Criterion of Efficiency for Telecommunication Systems, *Computer Vision in Advanced Control Systems Using Conventional and Intelligent Paradigms (Springer Series: Intelligent Systems Reference Library, ISSN 1868-4394)*, Vol. 1, Springer-Verlag, Alemania, pp. 353-373.
5. Matsenko, S., Borysenko, O., Spolitis, S. and Bobrovs, V. (2019), Noise Immunity of the Fibonacci Counter with the Fractal Decoder Device for Telecommunication Systems, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Vol. 56, No. 5, Riga, Latvia, pp. 12-21.
6. Borysenko, O.A., Berezhna, O.V., Novhorodtsev, A.I., Serdiuk, V.V. and Yakovlev, M.M. (2019), "Systema peredachi ta vidobrazhennia informatsii iz zakhystom chyslovykh danykh" [Information transmission and display system with protection of numerical data], *Information Processing Systems*, No. 2(157), pp. 103-108. <https://doi.org/10.30748/soi.2019.157.14>.
7. Borysenko, O.A., Berezhna, O.V., Yakovlev, M.M., Rakhmatol, O.O. and Fursa, M.S. (2019), "Pro osoblyvosti shyfruvannya v rozpodilenykh systemakh vidobrazhennja chyslovykh danykh" [Features of Encryption in Distributed Numerical Data Display Systems], *Physics, Electronics, Electrical Engineering (FEE-2019): Materials and Program of the Scientific and Technical Conference*, April 23-26, Sumy, pp. 90.
8. Borisenko, A.A., Berezhnaya, O.V. and Kulik, I.A. (1999), "Ocenka pomekhoustojchyvosty systemy peredachy dannykh na osnove ravnoesnykh kodov" [Evaluation of the noise immunity of a data transmission system based on equilibrium codes], *News of the Sumy State University*, No. 1, pp. 79-82.
9. Borisenko, O.A., Berezhna, O.V., Novgorodtsev, A.I., Serdyuk, V.V. and Yakovlev, M.M. (2019), "Ocenka pomekhoustojchyvosty system peredachy dannykh na osnove kodov s postojannym vesom" [Evaluation of noise immunity of data transmission systems based on codes with constant weight], *Information security and information technology: materials of the International Scientific-Practical Conference*, 24-25 April, Kharkiv, pp. 23.

Надійшла до редколегії 18.03.2020

Схвалена до друку 12.05.2020

Відомості про авторів:

Борисенко Олексій Андрійович

доктор технічних наук професор
професор Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7466-9135>

Горішняк Андрій Олександрович

аспірант
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2424-8655>

Бережна Ольга Володимирівна

кандидат технічних наук доцент
доцент Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7105-1276>

Сердюк Віктор Васильович

аспірант
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1432-4519>

Яковлев Максиміліан Миколайович

студент
Сумського державного університету,
Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1196-4062>

Information about the authors:

Oleksiy Borysenko

Doctor of Technical Sciences Professor
Professor of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7466-9135>

Andrii Horishniak

Doctoral Student
of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2424-8655>

Olga Berezhna

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7105-1276>

Viktor Serdiuk

Doctoral Student
of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1432-4519>

Maximilian Yakovlev

Student
of Sumy State University,
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1196-4062>

**ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОДИРОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ ЦИФР
РАВНОВЕСНЫМИ КОМБИНАЦИЯМИ**

А.А. Борисенко, А.А. Горишняк, О.В. Бережная, В.В. Сердюк, М.Н. Яковлев

Одна из основных задач техники связи – это обеспечение высокого качества передачи информации в условиях действия помех. В рассматриваемом случае исследуется помехоустойчивая передача числовой измерительной информации при передаче показаний измерительных приборов, например количества потребленной воды, электроэнергии и тому подобное. В таком случае важным фактором повышения качества передачи информации является использование помехоустойчивых кодов для кодирования десятичных цифр, с помощью которых передается информация с измерительных приборов. В данной работе используются равновесные коды, которые просты по своей структуре и в то же время имеют хорошую помехоустойчивость, как в симметричных каналах передачи информации, так и в несимметричных. Кодовые комбинации этих кодов состоят из пяти разрядов, два из которых единичные, а три нулевые. Нарушение количества единиц и соответственно количества нулей в кодовой комбинации является признаком ее ошибки.

Однако оценка уровня помехоустойчивости двоично-десятичных равновесных кодов не имеет на сегодняшний день законченный вид и поэтому требует дальнейших исследований. Эта работа направлена на проведение такой оценки. Она позволит в конечном итоге оценить эффективность работы системы передачи числовых данных, которая использует двоично-десятичные равновесные коды. Эта оценка подтверждается программным моделированием системы передачи двоично-десятичных цифр, результаты которого представлены в виде графиков. Такое моделирование нужно проводить для каждой системы передачи измерительной информации отдельно, так как вероятность ложных переходов для них разная.

В работе рассмотрена математическая модель определения вероятности ошибочного перехода равновесной кодовой комбинации, передаваемой информации. При создании математической модели учтены особенности, которые присущи равновесному коду. Построенные алгоритмы и программа для оценки помехоустойчивости кодов и ее соответствия различным классам достоверности, с помощью которой проведена оценка помехоустойчивости двоично-десятичных равновесных кодов. Анализ результатов исследования показал, что применение равновесных кодов обеспечивает необходимый уровень защиты измерительной информации в соответствии с требованиями стандартов при введении минимального уровня избыточности. По результатам исследования сделан вывод, что предоставленная методика оценки помехоустойчивости и эффективности кодирования двоично-десятичных чисел равновесными кодами дает возможность эффективно использовать ее на практике.

Ключевые слова: передача информации, кодовая комбинация, вероятность, помехоустойчивость, равновесный код.

NOISE IMMUNITY ESTIMATION OF DECIMAL DIGIT ENCODING BY EQUILIBRIUM COMBINATIONS

O. Borysenko, A. Horishniak, O. Berezhna, V. Serdiuk, M. Yakovlev

One of the main tasks of communication technology is to ensure high quality of information transmission under conditions of interference. In this paper, interference-resistant transmission of numerical measuring information when transmitting the readings of measuring devices, such as the amount of water consumed, electricity, etc. is investigated. In this case, an important factor in improving the quality of information transfer is the use of interference-resistant codes to encode the decimal digits with which information from measuring devices is transmitted. In this paper, equilibrium codes are used that are simple in structure and at the same time have good noise immunity, both in symmetrical and asymmetrical channels of information transmission. The code combinations of these codes consist of five bits, two of which are ones and three are zeros. Violation of the number of ones and, accordingly, the number of zeros in the code combination is a sign of its error.

However, the evaluation of the level of interference immunity of binary-decimal equilibrium codes does not have a complete form this day and therefore requires further investigation. This work is aimed at conducting such an assessment. It will eventually allow to evaluate the performance of a numerical data transmission system that uses binary-decimal equilibrium codes. This evaluation is supported by software simulations of the binary and decimal digit transmission system, the results of which are presented in graphical form. Such modeling should be done separately for each measurement information transmission system, because the probability of false transitions is different for them.

The paper considers a mathematical model of determining the probability of an erroneous transition of an equilibrium code combination, the transmitted information. When creating the mathematical model, the axes that are inherent in the equilibrium code are taken into account. The constructed algorithms and the program for an estimation of interference-resistant stability of codes and its conformity to various classes of reliability by means of which the estimation of noise stability of binary-decimal equilibrium codes is spent. The analysis of the research results showed that the application of equilibrium codes provides the necessary level of protection of measuring information in accordance with the requirements of the standards when introducing a minimum level of redundancy. By results of research the conclusion is made, that the given technique of an estimation of interference-resistant and efficiency of coding of binary-decimal numbers by equilibrium codes gives the chance to use it effectively in practice.

Keywords: information transfer, code combination, probability, noise immunity, equilibrium code.