

О. А. Борисенко, О. В. Бережна, С. М. Маценко, В. В. Сердюк, А. О. Горішняк, В. Р. Васильєв

Сумський державний університет, Суми, Україна

## НЕРОЗДІЛЬНІ КОДИ В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** У зв'язку з необхідністю збільшення ефективності цифрових систем обробки та передачі даних зростають вимоги до забезпечення їх завадостійкості. Її необхідність виникає, як правило, при оперативному зчитуванні інформації з датчиків, які використовуються в системах обробки інформації. При цьому бажано використовувати завадостійкі коди, які одночасно дозволяють як обробляти, так і передавати інформацію. Такі коди здійснюють її наскрізний контроль. Це дозволяє підвищувати швидкість обробки та передачі інформації і при цьому економити апаратуру систем. Кодів наскрізного контролю відомо небагато, тому що найбільш вживані на практиці роздільні коди, наприклад, циклічні та подібні до них, використовуються, як правило, для передачі інформації і не можуть ефективно контролювати її обробку. Вирішують задачу наскрізного контролю нероздільні коди, а серед них на сьогодні найбільш перспективними кодами можна вважати коди Фібоначчі. Також досить ефективні в цьому плані є рівноважні і біноміальні коди. У даній роботі проводиться обґрунтування використання нероздільних кодів в завадостійких системах обробки і передачі інформації. Серед нероздільних кодів особливе місце займають коди Фібоначчі, які складаються з чисел Фібоначчі. Ці числа можна додавати, віднімати, множити та ділити. На їх основі будуються автомати Фібоначчі з широким спектром можливостей обробки інформації. Однією з її задач є фібоначчієва лічба. Фібоначчієві числа можуть бути за формою мінімальними та максимальними. Особливістю чисел Фібоначчі є те, що вони мінімальні, і тому лічба та лічильники на їх основі будуть більш простими та надійними в порівнянні з іншими способами фібоначчієвої лічби. Крім того, в них більш легко виявляються і частково виправляються поодинокі помилки. Але головне в них є те, що інформація з фібоначчієвого лічильника може безпосередньо без кодувального пристрою направлятися в канал зв'язку, де будуть виявлятися і при необхідності виправлятися деякі помилки, що виникають в ньому. Недоліком такого кодування буде необхідність перетворювати фібоначчієву інформацію в двійкову. Однак, це перетворення потрібно робити далеко не завжди, тому що нерідко ця інформація є керуючою і відображається на відповідних пристроях відображення.

**Ключові слова:** телекомунікаційна система, нероздільні коди, помилки, завадостійкий код.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогодні, як і раніше, одним з основних завдань системи обробки та передачі інформації залишається їх захист від перешкод та збурень. При цьому потребується підвищення ефективності кодів, що в них використовуються, як з точки зору швидкодії і завадостійкості систем, так і їх апаратних витрат. Однак, пошук таких кодів виявився досить складним. Він становить проблему, яка частково вирішується в даній роботі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спроби застосування потужних роздільних завадостійких кодів, які використовуються в телекомунікаційних системах для організації наскрізного контролю, не принесли поки що особливого успіху, почасти тому, що ці коди спрямовані на забезпечення завадостійкої передачі інформації, а не її обробки [1-6]. Правильність роботи джерела інформації такі коди залишають поза контролем. Джерелом інформації в даному випадку може бути цифровий автомат або обчислювальна система в цілому.

Однак, це не означає, що деякі із завадостійких кодів, що застосовуються в телекомунікаційних системах, не можуть бути задіяні для контролю цифрових автоматів та обчислювальних систем. Тим більше, що на сьогодні телекомунікаційні системи забезпечені великою різноманітністю завадостійких кодів від простих й до досить потужних, здатних виявляти та виправляти пакети помилок високої кратності [3, 5, 6]. Серед завадостійких кодів слід шукати коди, які

б одночасно контролювали як передачу інформації безпосередньо в телекомунікаційній системі, так й її джерело. Тим самим здійснювався б наскрізний контроль єдиним кодом системи обробки та передачі інформації, що дає їй суттєві переваги щодо швидкодії, вартості та надійності в порівнянні з системами, в яких обробка та передача інформації контролюється окремими кодами.

**Метою статті** є пошук завадостійких кодів, які одночасно контролюють обробку і передачу інформації та обґрунтування їх застосування для контролю роботи комплексу обчислювальних і телекомунікаційних засобів.

### Виклад основного матеріалу

Робота цифрової телекомунікаційної системи відбувається наступним чином. Стан цифрового джерела інформації перетворюється в комбінацію завадостійкого коду, яка передається по каналу зв'язку. На приймальному кінці ця комбінація перевіряється декодувальним пристроєм на наявність помилок й при її відсутності передається приймачу інформації. При наявності помилки вона може бути виправлена або за допомогою повторної передачі, або, при наявності достатньої надмірності інформації, безпосередньо приймачем.

Надмірність вводиться пристроєм, що кодує, який розташований після джерела інформації, під час перетворення кодової комбінації, яка генерується джерелом інформації, в завадостійку комбінацію. У результаті до вхідної двійкової кодової комбінації

або додаються додаткові контрольні розряди або вона перетворюється в комбінацію іншого коду з іншою кількістю розрядів. У першому випадку надлишковий код буде роздільним, а в другому – нероздільним [1-2]. При цьому важливою особливістю телекомунікаційних систем є те, що в них обов'язково існують пристрої, що кодують та декодують. Перші з них вводять в передані повідомлення надлишкову інформацію, а другі за її допомогою визначають правильність отриманих повідомлень.

Особливістю нероздільних кодів, є те, що в них до розрядів вхідних кодових комбінацій, які кодують стани цифрового автомата, не додаються контрольні розряди, як в роздільних кодах, а вони перетворюються за певними правилами в інші комбінації, які після цього мають більше розрядів. При цьому як в роздільних, так і в нероздільних кодах з'являється надлишкова інформація, яка виділяє в завадостійкому коді дозволені комбінації. Поява забороненої комбінації є ознакою її помилковості. Завдяки цьому визначається правильність переданої комбінації на приймальному кінці.

Роздільні завадостійкі коди в телекомунікаційних системах на практиці на сьогодні застосовуються частіше ніж нероздільні коди в силу їх більшої потужності і можливості збереження інформаційних розрядів вихідної кодової комбінації, яка надходить від джерела інформації при її передачі. Наприклад, широко відомий роздільний код з перевіркою на парність або на непарність використовує для отримання контрольного розряду згортку інформаційних розрядів за модулем 2. Інформаційні розряди при цьому залишаються без змін [1-3].

З іншого боку, відкритість інформаційних розрядів роздільних кодів робить їх незахищеними від зовнішнього доступу. Однак, цей недолік несуттєвий, тому що захист роздільних кодів здійснюється при необхідності за допомогою відповідних методів захисту інформації.

Нероздільні коди на відміну від роздільних кодів не мають інформаційної та контрольної частини в явному вигляді. Вони мають загальну ознаку для всіх переданих комбінацій, яка відрізняє заборонені кодові комбінації від дозволених, наприклад, коли дозволеними комбінаціями будуть комбінації, що містять постійну кількість одиниць.

Однак, нероздільні коди зустрічаються в телекомунікаційних системах значно рідше, тому що вони, як правило, менш потужні ніж роздільні коди. Крім того, виникає необхідність перетворювати вхідні комбінації одного коду в вихідні комбінації іншого коду. При цьому, як й в роздільних кодах, виникає інформаційна надмірність, але вона прихована. Тому її використання для виявлення та виправлення помилок в комбінаціях після кодування в повідомленнях може бути більш складним, ніж в роздільних кодах. Значить, тоді більш складними будуть кодуючі та декодуючі пристрої телекомунікаційної системи. Так, наприклад, рівноважний код, який є нероздільним, для виявлення помилки вимагає підрахунок кількості одиниць в кодової комбінації та порівняння результату з контрольним числом,

й тому буде більш складним у порівнянні з кодом з перевіркою на парність або на непарність, де відбуваються тільки операції додавання одиниць за модулем 2. Крім того, ще потрібно перетворювати вхідні комбінації в комбінації рівноважного коду.

Однак, однією з переваг нероздільних кодів при застосуванні в телекомунікаційних системах є скритність переданої інформації, хоча вона для реальних задач є недостатньою і на практиці потребує збільшення. Однак, є перспективні розробки, які дозволяють говорити про переваги нероздільних кодів, тому що в них одночасно відбувається захист інформації, як від помилок, так й від несанкціонованого доступу. Так що питання про те, які коди будуть більш перспективними для передачі та зберігання інформації в майбутньому відкрите.

Однак, головна перевага нероздільних кодів в порівнянні з роздільними кодами полягає в тому, що нероздільні коди можуть бути ефективно застосовані для підвищення завадостійкості цифрових автоматів. Їх використання по суті є єдиним способом збільшення їх завадостійкості без резервування. Роздільні коди, які використовуються в телекомунікаційних системах, в силу їх природи не дозволяють ефективно організувати завадостійку обробку інформації цифровими автоматами. А от нероздільні коди, в силу того, що використовують при синтезі тільки дозволені комбінації, дозволяють будувати завадостійкі цифрові автомати. В них перехід автомата в стан, який не є дозволеною комбінацією, буде помилковим.

Неефективність використання роздільних кодів для завадостійкого кодування цифрових автоматів пов'язана з тим, що цифровий автомат на відміну від системи передачі інформації, яка передає її за один такт без змін, обробляє інформацію впродовж декількох тактів, на кожному з яких в загальному випадку з'являється нова інформація. Визначити правильність цієї інформації за допомогою роздільного кодування важко, тому що треба заздалегідь передбачити якою буде комбінація на виході автомата на наступному такті та порівняти її з комбінацією, яка фактично з'явиться. Зазвичай для виявлення помилок в автоматах, які використовують роздільні коди, необхідне дублювати апаратуру, а для їх виправлення – потроєння, що значно здорожує відповідні цифрові пристрої та системи, роблячи їх громіздкими та складними при експлуатації [2, 3].

На відміну від роздільних кодів нероздільні завадостійкі коди дозволяють знаходити помилки при обробці інформації цифровими автоматами за рахунок своєї надмірності, в тому числі й за рахунок природної надмірності цифрових автоматів. До того ж такі коди дають можливість завадостійкої передачі інформації безпосередньо з обчислювальних пристроїв без додаткового кодування в каналах зв'язку. В результаті один й той же завадостійкий код контролює інформацію як при її обробці, так й при передачі.

Тим самим реалізується наскрізний контроль як обчислювального пристрою, який виступає в ролі джерела інформації, так й каналу зв'язку. У ньому

виключаються кодуєчі пристрої в каналі зв'язку, а в ряді випадків й декодуєчі. Це здешевлює всю систему обробки та передачі інформації, підвищуючи при цьому надійність та швидкість її роботи.

Поява в процесі обробки інформації цифровим автоматом забороненої комбінації буде вказувати на помилку. Її виявить структура автомату або відповідний простий декодуєчий пристрій. Тим самим цифровий автомат самостійно вирішує, чи є його стан правильним чи помилковим. Тому стає непотрібним пристрій завадостійкого кодування при подальшій передачі стану автомату по каналу зв'язку. Це з одного боку заощаджує апаратні витрати, а з іншого – підвищує швидкість роботи та надійність системи обробки і передачі інформації. Хоча в окремих випадках при каналах зв'язку з високим рівнем шуму можна поставити на вході телекомунікаційної системи пристрій кодування для додаткового роздільного коду, й тоді буде отриманий код, який поєднає завадозахисні властивості роздільного та нероздільного кодів, що значно збільшить надійність передачі кодових комбінацій.

Природно, що такий обчислювальний пристрій із забороненими кодовими комбінаціями ускладнюється в порівнянні з пристроєм, в якому вони відсутні. Але можливість виявлення та в деяких випадках виправлення помилок перекидає цей недолік. В майбутньому саме такі пристрої, що працюють в нероздільних кодах із забороненими комбінаціями, повинні прийти на зміну двійковим цифровим автоматам без заборонених комбінацій. Питання при цьому буде стояти тільки в тому, який нероздільний код виявиться найкращим для того чи іншого завдання обробки інформації.

На сьогодні поки немає остаточної відповіді на це питання. Тут визначальну роль будуть грати питання швидкодії та надійності роботи обчислювальних пристроїв, що використовують нероздільні коди. З цієї точки зору особливий інтерес повинні викликати нероздільні коди, що представляють завадостійкі системи числення: фібоначчєві, біноміальні, факторіальні та їм подібні. Характерною властивістю цих систем числення є те, що їх кодові комбінації являють собою відповідні числа, над якими можна виконувати різні арифметичні та логічні дії.

**Нероздільний код для завадостійкої обробки та передачі даних.** Виходячи з вищесказаного, потрібно знайти та дослідити конкретний завадостійкий нероздільний код, який би здійснював наскрізний контроль як при обробці інформації, так й при її передачі. При цьому він повинен давати можливість відносно просто здійснювати арифметико-логічні операції у відповідному обчислювальному пристрої.

В якості такого коду в даній роботі пропонується використовувати код Фібоначчі. Відповідно обчислювальний пристрій, який вирішує це завдання в запропонованому коді, буде представлятися «автоматом Фібоначчі».

У даній роботі під «автоматом Фібоначчі» розуміється будь-який пристрій, який виконує навіть в обмеженому вигляді арифметико-логічні операції над числами Фібоначчі, введення даних, їх зберіган-

ня та формування сигналів керування. Такий пристрій може бути як вузькоспеціалізованим, наприклад, таким, що виконує за допомогою лічильника тільки операції підрахунку, зберігання та виведення керуючих даних, так й універсальним, тобто таким, що має можливість програмування, додаткову зовнішню та оперативну пам'ять і виконує логічні та арифметичні операції [4-10].

Вибір коду Фібоначчі для дослідження в даній роботі не є випадковим, тому що він досить широко досліджений в роботах [11-13]. На сьогодні існують методи та алгоритми фібоначчєвого підсумовування та лічби і на їх основі відповідні пристрої, а також цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі. Крім того, код Фібоначчі досить простий для схемної реалізації і при цьому він здатний виявляти помилки і деякі з них виправляти.

**Особливості коду Фібоначчі.** Код Фібоначчі складається з фібоначчєвих чисел і є на сьогодні досить широко відомим [5-13]. Його особливістю, як й всіх інших завадостійких кодів, є наявність для нього дозволених та заборонених комбінацій. Саме їх наявність в коді Фібоначчі на відміну від звичайних двійкових кодів, й робить цей код завадостійким, тому що заборонені комбінації цього коду є ознаками помилок.

Для коду Фібоначчі, який за своєю природою використовує одиниці та нулі, ознакою помилки є наявність в них двох та більше одиниць поспіль. Причому поява трьох одиниць, що стоять поруч, дозволяє виправляти одиночну помилку, що особливо важливо в задачах обробки інформації, де новий запит інформації неможливий. Як бачимо, алгоритм виявлення та виправлення помилок є досить простим.

Однак, цей код, крім завадостійкої обробки інформації, здатний також досить ефективно передавати інформацію з виявленням та виправленням деяких помилок.

Це поряд з можливістю надійної обробки інформації на його основі робить його універсальним для багатьох застосувань, тому що зазвичай пристрої та системи обробки інформації не тільки формують дані, а й оперативно їх передають на різні вихідні пристрої.

Такими пристроями можуть бути пристрої відображення інформації, вимірювальні пристрої, такі як частотоміри, таймери та інші їм подібні.

Існує дві модифікації коду Фібоначчі – мінімальний (нормальний) та максимальний код, одержуваний при розгортці фібоначчєвих чисел. Реалізація арифметичних операцій над ними відбувається в процесі переходу від мінімальної форми до максимальної форми та зворотно.

Однак, існує й можливість виконання цих операцій в мінімальній формі без всяких переходів, що дає певні переваги у швидкодії та апаратних витратах відповідних цифрових автоматів Фібоначчі [7, 13].

Мінімальна форма коду Фібоначчі покладена в основу даної роботи та відповідних автоматів Фібоначчі.

**Фібоначчіві числа.** Фібоначчіві система числення генерує фібоначчіві числа в нормальній (мінімальній) формі, ваги яких являють собою послідовність чисел Фібоначчі 1, 1, 2, 3, 5, 8,  $F_n$ . Кожне число з цієї послідовності

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}.$$

Номер фібоначчівого числа задається нумераційною функцією, ваги якої представляються числами Фібоначчі:

$$N = a_n F_n + a_{n-1} F_{n-1} + \dots + a_i F_i + \dots + a_1 F_1,$$

де  $a_i$  - двійкове значення  $i$ -го розряду фібоначчівого числа;  $n$  - довжина числа;  $F_i$  - вага  $i$ -го розряду.

В скороченому вигляді фібоначчіві число записується таким чином:

$$N_a = a_n a_{n-1} \dots a_i \dots a_1.$$

Нульовий розряд в ньому відсутній.

Наприклад, числа 11, 17, 23, 41 і 52 в мінімальній формі коду Фібоначчі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Фібоначчіві числа

Номер розряду n	8	7	6	5	4	3	2	1
Вага розряда	34	21	13	8	5	3	2	1
N=11	0	0	0	1	0	1	0	0
N=17	0	0	1	0	0	1	0	1
N=23	0	1	0	0	0	0	1	0
N=41	1	0	0	0	1	0	1	0
N=52	1	0	1	0	1	0	0	0

Джерело: розроблено авторами.

Діапазон фібоначчівих чисел

$$P = F_n + F_{n-1}.$$

В кодах Фібоначчі ознакою помилки є поява двох та більше одиниць поруч. При наявності трьох одиниць, що розташовані поруч, одиниця всередині повинна бути замінена нулем. В результаті помилка виправляється. Так, якщо з'являється на вході приймача фібоначчівіе число 0111010101, то це означає, що в ньому сталася помилка в 8 розряді. Для її виправлення достатньо одиницю, що розташована в цьому розряді, інвертувати в 0. Тоді правильним буде число 0101010101 = 33.

### Оцінка завадостійкості фібоначчівих чисел.

Фібоначчіві числа є нероздільними. Тому їх оцінка може проводитися відповідно до методики, запропонованої Харкевичем. Суть цієї методики зводиться до того, що в коді виділяються підмножини дозволених та заборонених кодових комбінацій. Після цього знаходиться відношення кількості заборонених комбінацій до їх загальної кількості, і це число віднімається від 1. Отриманий результат показує ймовірність виявлення помилок кодом, що розглядається. Ця ймовірність змінюється від 0, коли заборонених комбінацій немає, й до 1, коли всі комбінації відносяться до заборонених комбінацій. Цей критерій показує, що ймовірності виявлення помилок зі збільшенням довжини фібоначчівих чисел збільшуються, й при необмеженому зростанні довжини чисел прагнуть до 1. Звідси випливає висновок, що автомат Фібоначчі, який обробляє більш довгі числа, є більш надійним, ніж автомат, що працює з числами меншої довжини.

### Висновки

Серед завадостійких кодів особливими властивостями виділяються завадостійкі нероздільні коди. Вони дозволяють одночасно контролювати збір, обробку та передачу інформації. Це дозволяє здійснювати одним й тим же кодом наскрізний контроль систем обробки та передачі інформації, що спрощує та здешевлює їх контроль, а також збільшує достовірність обробки і передачі інформації.

У якості одного з перспективних завадостійких нероздільних кодів пропонується використовувати код Фібоначчі, який відрізняється простотою технічної реалізації та здатністю обробляти інформацію. Він же ефективно може використовуватися і для подальшої передачі інформації за допомогою телекомунікаційної системи.

Аналогічно, як і фібоначчіві числа, можна використовувати біноміальні числа біноміальних систем числення та числа інших подібних систем, наприклад, факторіальних. Для них також існують відповідні лічильники, а інформація з них здатна здійснювати наскрізний самоконтроль. Можна отримати й інші нові, поки ще невідомі, самоконтрольовані нероздільні коди, які можуть здійснювати наскрізний контроль при обробці та передачі інформації. Однак, вони потребують дослідження їх ефективності.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Error-Correction Coding and Decoding / F.M. Tomlinson, C.J. Tjhai, M.A. Ambroze, M. Ahmed, M. Jibril. – Cham, Switzerland: Springer Open, 2017. – 520 p.
2. The art of error correcting coding / R.H. Morelos-Zaragoza. – John Wiley, 2016. – 263 p.
3. The theory of Error-Correcting Codes / F. MacWilliams, N. Sloane. – North Holland, 1977. – 762 p.
4. Кулик И.А. Метод оценки границ применения сжатия на основе двоичных биномиальных чисел / И.А. Кулик, А.И. Новгородцев, М.С. Шевченко // Системи обробки інформації. – 2019. – № 2(157). – С. 57-62.
5. Borysenko O. Description and applications of binomial numeral systems / O. Borysenko, V. Kalashnikov, N. Kalashnykova // Computer Science and Cyber Security. – 2016. – Vol. 2(2). – P. 13–21.
6. Кулик І.А., Шевченко М.С. Розробка інформаційно-керуючих систем на основі двійкової біноміальної системи числення. Системи обробки інформації. 2020. № 2(161). С. 78-85. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.09>.
7. Borysenko O. Development of the Fibonacci-Octal Error Detection Code for Telecommunication Systems / O. Borysenko, S. Matsenko, S. Spolitis, V. Bobrovs // 24th International Conference Electronics. – 2020. – P. 1–5 // <https://doi.org/10.1109/IEEECONF49502.2020.9141620>.
8. Fibonacci and Lucas Numbers / V. Hoggatt. – MA: Houghton Mifflin, 1969. – 92 p.

9. Fibonacci & Lucas Numbers and the Golden Section: Theory and Applications / S. Vajda. – Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1989. – 189 p.
10. The Fibonacci Numbers / N. Vorobyov. – DC Heath, Boston, 1966, 47 p.
11. Stakhov A. Fibonacci p-codes and Codes of the “Golden” p proportions / A. Stakhov // *New Informational and Arithmetical Foundations of Computer Science and Digital Metrology for Mission-Critical Applications*. *British Journal of Mathematics & Computer Science*. – 2016. – Vol. 17. – No. 1. – P. 1–49 // <https://doi.org/10.9734/BJMCS/2016/25969>.
12. Ávila T. Bruno. Meta-Fibonacci Codes: Efficient Universal Coding of Natural Numbers / T. Bruno Ávila, Ricardo M. Campello de Souza // *IEEE Transactions on Information Theory*. – 2017. – Vol. 63. – No. 4. – P. 2357–2375 // <https://doi.org/10.1109/TIT.2017.2663433>.
13. Cui X. An Enhancement of Crosstalk Avoidance Code Based on Fibonacci Numeral System for Through Silicon Vias / X. Cui, X. Cui, Y. Ni, M. Miao, J. Yufeng // *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*. – 2017. Vol. 25. – No. 5. – P. 1601–1610 // <https://doi.org/10.1109/TVLSI.2017.2651141>.

## REFERENCES

1. Tomlinson, F.M., Tjhai, C.J., Ambroze, M.A., Ahmed, M. and Jibril, M. (2017), “*Error-Correction Coding and Decoding*”, Springer Open, Cham, Switzerland, 520 p.
2. Morelos-Zaragoza, R. H. (2016), “*The art of error correcting coding*”, John Wiley, 263 p.
3. MacWilliams, F. and Sloane, N. (1977), “*The theory of Error-Correcting Codes*”, North Holland, 762 p.
4. Kulik, I.A., Novgorodtsev, A.I. and Shevchenko, M.S. (2019), “Metod otsenki granits primeneniya szhatiya na osnove dvoichnykh binomialnykh chisel”, *Sistemi obrobki informatsii*, No. 2(157), pp. 57–62.
5. Borysenko, O., Kalashnikov, V. and Kalashnykova, N. (2016), “Description and applications of binomial numeral systems”, *Computer Science and Cyber Security*, Vol. 2(2), pp. 13–21.
6. Kulik, I.A. and Shevchenko, M.S. (2020), “Rozrobka informatsiino-keruiuchykh system na osnovi dviikovo binomialnoi systemy chyslennia [Development of information and control systems based on binary binomial number system]”, *Sistemi obrobki informatsii*, No. 2(161), pp. 78–85 // <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.09>.
7. Borysenko, O., Matsenko, S., Spolitis, S. and Bobrov, V. (2020), “Development of the Fibonacci-Octal Error Detection Code for Telecommunication Systems”, *24th International Conference Electronics*, pp. 1–5 // <https://doi.org/10.1109/IEEECONF49502.2020.9141620>.
8. Hoggatt, V. (1969), “*Fibonacci and Lucas Numbers*”, Houghton Mifflin, MA, 92 p.
9. Vajda, S. (1989), “*Fibonacci & Lucas Numbers, and the Golden Section: Theory and Applications*”, Ellis Horwood Ltd, Chichester, 189 p.
10. Vorobyov, N. (1966), “*The Fibonacci Numbers*”, DC Heath, Boston, 47 p.
11. Stakhov, A. (2016), “Fibonacci p-codes and Codes of the “Golden” p proportions: New Informational and Arithmetical Foundations of Computer Science and Digital Metrology for Mission-Critical Applications”, *British Journal of Mathematics & Computer Science*, Vol. 17, No. 1, pp. 1–49 // <https://doi.org/10.9734/BJMCS/2016/25969>.
12. Ávila, T. Bruno and Campello de Souza, Ricardo M. (2017), “Meta-Fibonacci Codes: Efficient Universal Coding of Natural Numbers”, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 63, No. 4, pp. 2357–2375 // <https://doi.org/10.1109/TIT.2017.2663433>.
13. Cui, X., Cui, X., Ni, Y., Miao, M. and Yufeng, J. (2017), “An Enhancement of Crosstalk Avoidance Code Based on Fibonacci Numeral System for Through Silicon Vias”, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, Vol. 25, No. 5, pp. 1601–1610 // <https://doi.org/10.1109/TVLSI.2017.2651141>.

Received (Надійшла) 12.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

**Inseparable codes in information processing systems**

Oleksiy Borysenko, Olga Berezhna, Svitlana Matsenko, Viktor Serdiuk, Andrii Horishniak, Vitaly Vasilyev

**Abstract.** Due to the need of increasing the efficiency of digital data processing and transmission systems, the requirements for ensuring a high level of their noise immunity are often increasing. The need of noise-immune processing and transmission of information usually arises when the data are quickly read from sensors, processed and transmitted through communication channels. In this case, it is desirable to use noise-immune codes, which simultaneously allow both processing of information and transmitting it through communication channels, as this allows to reduce the amount of equipment, make it more reliable and increase the speed of information processing and transmitting. In such case, there is an end-to-end control of information with the same code. Among the noise-immune codes there are codes that solve the posed problem of end-to-end control. Such codes are inseparable codes, and among them equilibrium, binomial and Fibonacci codes. The authors in this work conducted justification of such codes usage in noise-immune systems for processing and transmitting information. Among the listed codes, a special place is taken by Fibonacci codes, represented by Fibonacci numbers which can be added, subtracted, multiplied and divided. Based on them, Fibonacci automata can be built with a wide range of information processing tasks. One of such tasks is the count specified in this article in the form of a Fibonacci count. Fibonacci numbers can be in minimum and maximum form. The peculiarity of the Fibonacci numbers considered in this article is that they are minimal, which means that the counting and counters based on them will be simpler and more reliable. In addition, they more easily detect and partially correct single errors. Information from the counter can be sent directly without an encoder to the communication channel, where some occurring errors will be detected and, if necessary, corrected. The disadvantage of such coding will be the need to translate the Fibonacci information into binary code at the receiving end in some cases. However, this is not always required, since this information is often a control one and is displayed on the corresponding display devices.

**Keywords:** telecommunication system, inseparable codes, errors, noise-immune code.