

## МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ З ЗАВАДОСТІЙКИМ КОДУВАННЯМ

*В роботі розглядається один з способів побудови цифрової системи зв'язку з завадостійким кодуванням. Розглядаються найбільш ефективні методи завадостійкого кодування сигналів для забезпечення оптимальної якості передачі інформації по каналу зв'язку. Також розглядаються найбільш ефективні методи декодування прийнятого сигналу на приймальній стороні.*

*Ключові слова: завадостійке кодування, згорткові коди, декодування Вітербі.*

I.S. PYATIN, V.V. SERGEEV

Khmelnitskyi National University

### SIMULATION OF DIGITAL COMMUNICATIONS SYSTEM WITH ANTINOISE CODING

*The purpose of the work is to simulate and research methods for constructing a digital communications system with antinoise encoding. The article deals with the most effective methods of antinoise signal encoding in order to provide the optimal quality of transmission of information over the communication channel. Convolutional codes are codes that correct errors and use continuous or sequential processing of information with short fragments (blocks). The convolutional encoder has a memory - the characters at its output depend not only on the information symbols, but also on the previous characters on its input. The state of the encoder is determined by the content of its memory. The classic error correction method is the Viterbi decoder, which is used to decode convolutional codes. This algorithm is optimal and easy to implement for short convolutional codes. Convolutional codes are used in most standards of data transmission systems, for example, in wireless networks, long-range space communications, satellite communications, and the like. As a result, the use of convolutional coding to increase the noise immunity of the link system is one of the best options. Due to its efficiency today, the convolutional codes are used by many digital communication systems. The communication system includes a message source, in this case the Bernoulli binary generator, convolutional code encoder, modulator, demodulator, decoder, message receiver. As a result of the research, it can be concluded that the use of verification codes to ensure a high level of noise immunity of the system is one of the best options, since they are one of the most efficient codes and inferior to the efficiency of only turbo codes. Another equally important advantage of convolutional coding is the relative simplicity of their decoding due to the Viterbi decoding algorithm.*

*Keywords: antinoise coding, convolutional codes, Viterbi decoding.*

**Вступ.** Під час розповсюдження сигналів лініями передачі можуть виникати спотворення. Спотворення виникають в результаті впливу на інформаційний сигнал різних завад. Це призводить до помилкового прийому та відтворення інформації на приймальній стороні [1–3]. В якості завад можуть виступати погодні умови, теплові шуми, сигнали від інших джерел інформації тобто значна завантаженість середовища, тощо. З метою підвищення якості передачі інформації на значні відстані та в середовищах з великою кількістю завад використовують завадостійке кодування.

Згорткові коди використовуються для надійної передачі даних: відео, мобільного зв'язку, супутникового зв'язку. Вони використовуються разом з кодом Ріда-Соломона і іншими кодами подібного типу. До винаходу турбо-кодів такі конструкції були найбільш дієвими і відповідали межі Шеннона. Також згорткове кодування використовується в протоколі 802.11a на фізичному MAC-рівні для досягнення рівномірного розподілу «0» і «1» після проходження сигналу через скремблер, внаслідок чого кількість переданих символів збільшується в два рази і, отже, ми можемо домогтися сприятливого прийому на прийнятному пристрої.

**Аналіз останніх досліджень, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Завадостійкі коди призначені для виявлення та виправлення помилок, що можуть виникати при передачі інформації по каналу зв'язку [1,2]. Завадозахищенність інформації досягається шляхом додавання до інформаційного повідомлення надлишковості, додаткових біт. Відповідно до способу додавання надлишкових біт завадостійкі коди можна поділити на блокові та згорткові. У випадку блокових кодів кожен блок інформаційних символів обробляється незалежно від інших. Згорткові коди, це коди, що використовують неперервну чи послідовну обробку інформації короткими фрагментами або блоками. Згортковий кодер представляє собою послідовну машину або автомат з кінцевою кількістю станів. Стан кодеру визначається вмістом його пам'яті. Кодер згорткового коду має властивості генерації вихідних даних за допомогою лінійного складання або згортки зміщених в часі імпульсів послідовності з імпульсною характеристикою кодеру. Він належить до класу пристроїв відомих як кінцеві автомати. Це загальна назва пристроїв, що мають пам'ять про минулі сигнали. В загальному випадку стан це мінімальна кількість інформації, на основі якої разом з поточними вхідними даними можна отримати вихідні дані кодера [1].

**Згорткові коди.** Згортковий код формується множиною всіх двійкових послідовностей, які створюються згортковим кодером. Теоретично ці послідовності нескінченні, однак стан кодеру періодично встановлюється в деякий завчасно відомий стан. Таким чином створюваний код приймає вигляд блокового коду. Структурна схема цифрової системи зв'язку з використанням згорткового кодування приведена на рис. 1.

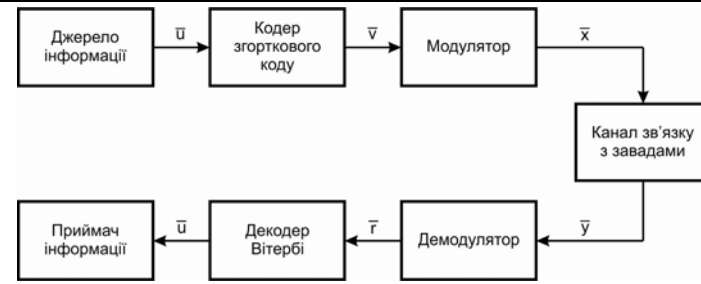


Рис. 1. Цифрова система зв'язку з використанням згорткового кодування

Кодер згорткового коду реалізується на  $kK$ -розрядному регістрі зсуву та  $n$  суматорах за модулем 2 (рис. 2), де  $K$  – довжина кодового обмеження, це кількість  $k$ -бітових зсувів, після яких один інформаційний біт може вплинути на вихідний сигнал кодеру. В кожен момент часу на позицію перших  $k$  розрядів регістра переміщуються  $k$  нових біт, всі біти в регістрі зміщуються на  $k$  розрядів вправо і вихідні дані  $n$  суматорів послідовно дискретизуються утворюючи біти коду. Після чого дані символи коду використовуються модулятором для формування сигналів, що будуть передаватись по каналу зв'язку. Оскільки для кожної групи вхідних  $k$  біт повідомлення отримується  $n$  біт коду, то степінь кодування дорівнює  $k/n$  біт повідомлення на біт коду, причому  $k < n$ .

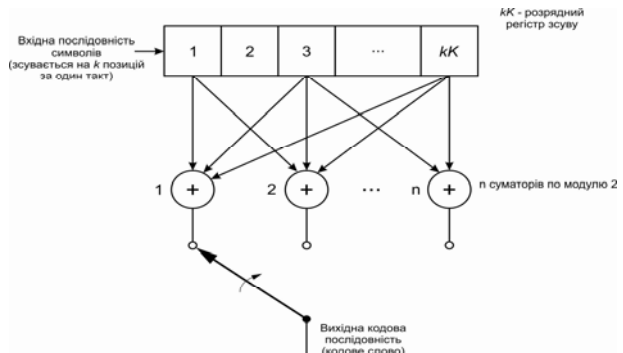


Рис. 2. Структурна схема кодеру згорткового коду з довжиною кодового обмеження  $K$  та ступенем кодування  $k/n$

Описати кодер згорткового коду можна використовуючи його імпульсну характеристику тобто реакцію кодеру на одиничний біт. Для вхідної послідовності  $m = 1\ 0\ 1$  вихідні дані можна знайти шляхом суперпозиції або лінійного додавання зміщених в часі вхідних імпульсів.

Одним з способів представлення кодуєчих пристроїв є діаграма станів. Діаграма станів кодеру за рис. 2 показана на рис. 3. Стани зображені на діаграмі станів представляють собою можливий зміст  $K-1$  крайніх правих розрядів регістру, а шляхи між станами – кодові слова на виході, які є результатом переходів між такими станами.

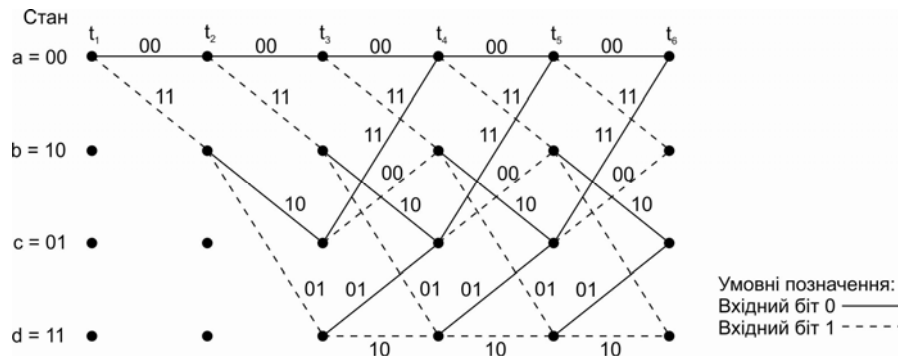


Рис. 3. Діаграма станів кодеру згорткового коду (ступінь кодування  $1/2$ ,  $K = 3$ )

Решітка згорткового коду має регулярну структуру. Повторюваність секцій решітки ефективно використовується при декодуванні. Ефективним рішенням проблеми декодування є алгоритм динамічного програмування, також відомий як алгоритм Вітербі. В системі зв'язку, що зображена на рис. 1 використовується декодер, що працює саме за даним алгоритмом. У найбільш поширеному варіанті декодер Вітербі знаходить кодову послідовність, що є найближчою до прийнятої, обробляючи її біт за бітом.

Перевагою декодування Вітербі над іншими методами декодування полягає в тому, що складність декодера не є функцією кількості символів в послідовності кодових слів. За алгоритмом розраховується міра подібності між сигналом отриманим в момент часу  $t_i$  і всіма шляхами решітки, що входять в кожен стан в момент часу  $t_i$ . В алгоритмі не розглядаються ті шляхи решітки, які, відповідно до принципу максимальної правдоподібності, завідома не можуть бути оптимальними. Якщо до одного стану входить два шляхи, то вибирається той, що має кращу метрику, такий шлях називають виживаючим. Визначення виживаючих шляхів відбувається для кожного стану. Таким чином, декодер поглиблюється в решітку, приймаючи рішення, шляхом виключення менш імовірних шляхів. Це дозволяє спростити процес декодування.

Основною властивістю алгоритму Вітербі є наступне: “В момент часу  $i$  найближчі до прийнятої послідовності шляхи  $y^{(k)}$ , що закінчуються в станах  $S^{(k)}$ , мають спільний початок в деякий момент  $i-l$ ”. Зазвичай декодер Вітербі працює у вікні розміром  $L$  прийнятих з каналу  $n$ -ребер. Цю величину називають глибиною декодування.

### Модельовання системи зв'язку з згортковим кодуванням

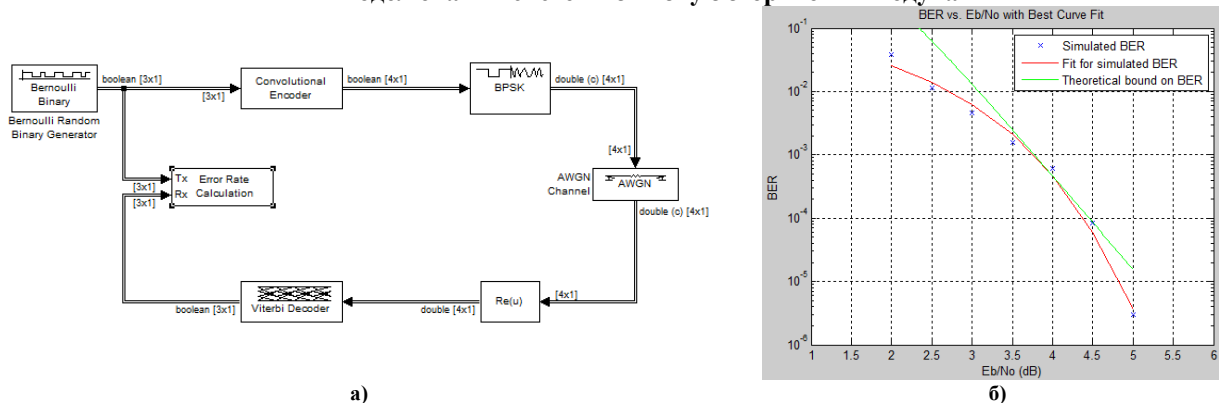


Рис. 4. Simulink модель системи цифрового зв'язку з згортковим кодуванням (а); Залежність бігової помилки від відношення сигнал-шум (б)

До складу системи зв'язку (рис. 4) входять джерело повідомлення, в даному випадку це генератор Бернуллі, кодер згорткового коду, модулятор, демодулятор, декодер, приймач повідомлення.

Error Rate calculation, або калькулятор помилок, дозволяє обчислити коефіцієнт похибки отриманих даних і порівняти його з затримкою переданих даних. Вихідний вектор складається з частоти помилок, кількості виявлених помилок і загального числа символів. Цей вектор може бути направлений або в робочу область або в порт виводу. Затримки вказані в кількості зразків, незалежно від того, чи є вхідний сигнал скаляром або вектором. Входи в порти 'Tx' і 'Rx' повинні бути за типом даних скаляром або вектор-стовпцем. Параметр Stop simulation зупиняє моделювання при виявленні цільового показника числа помилок або максимальної кількості символів, в залежності від того, що станеться раніше. Коефіцієнт бігових помилок — відношення кількості помилкових бітів до їх загального переданого числа. Коефіцієнт бігових помилок, за інших рівних умов, залежить від кількості переданих бітів. Для забезпечення коректності порівняння різних цифрових систем зв'язку використовуються типові випробувальні послідовності, причому кожній стандартній швидкості передачі відповідає своя випробувальна послідовність. Такі псевдовипадкові послідовності (Pseudo-Random Bit Sequence, PRBS) за властивостями наближені до гаусового шуму, але мають певний період повторення.

Оцінка коефіцієнту бігових помилок наближається до 100% точності лише за нескінченно великого числа переданих бітів. Рівень достовірності оцінки, або довірчої ймовірності залежить й від кількості зареєстрованих помилок, й від загального числа переданих бітів.

**Висновки.** В роботі було розглянуто один з способів побудови цифрової системи зв'язку з завадостійким кодуванням. В результаті проведення досліджень можна зробити висновок, що використання загорткових кодів для забезпечення високого рівня завадостійкості системи є одним з найоптимальніших варіантів, оскільки вони є одними з найефективніших кодів та поступаються ефективністю лише турбокодам. Також не менш важливою перевагою згорткового кодування є відносна простота їх декодування завдяки алгоритму декодування Вітербі.

### Література

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр ; пер. с англ. – Изд. 2-е, испр. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Процис Д. Цифровая связь / Д. Процис ; пер. с англ. ; под ред. Д.Д. Кловского. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
3. Пятін І. С. Дослідження послідовного каскадного турбокодування / І. С. Пятін, Д.А. Макаришкін // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 142–145.

### References

1. Skliar B. Tsifrovaia sviaz. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primenenie / B. Skliar. Izd. 2-e, ispr.: Per. s angl. – M. : Izdatelskiy dom «Viliams», 2003. – 1104 s.
2. Procis D. Tsifrovaia sviaz / D. Procis. Per. s angl./ Pod red. D.D. Klovskogo. – M. : Radio i sviaz, 2000. – 800 s.
3. Pyatin I.S. Doslidzennia poslidovnogo cascadnogo turbocoduvannia / I.S. Pyatin, D.A. Macaryshkin // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2017. – № 3. – С. 142–145.

Рецензія/Peer review : 09.11.2017 р.

Надрукована/Printed :02.12.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Полікарівських О.І.