

УДК 621.391

ПРИХОДЬКО С. І., д.т.н., професор,

ШТОМПЕЛЬ М. А., д.т.н., доцент (Український державний університет залізничного транспорту),

ВЛАСОВ А. В., к.т.н. (Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба)

Принципи програмної реалізації біоінспірованого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів

Показано, що для підвищення достовірності передавання інформації у телекомунікаційних мережах на базі радіотехнологій доцільно використовувати алгебраїчні згорткові коди. Проведено аналіз існуючих методів декодування завадостійких кодів. Обґрунтовано доцільність використання біоінспірованого підходу спільно з процедурою випадкового зміщення при м'якому декодуванні алгебраїчних згорткових кодів. Розглянуто основні етапи біоінспірованого методу декодування даних кодів. Розроблено алгоритми біоінспірованого декодування алгебраїчних згорткових кодів та визначено особливості їх реалізації.

Ключові слова: згорткові коди, декодування, програмна реалізація, біоінспірований підхід, телекомунікаційні мережі.

Постановка проблеми та аналіз літератури

Для підвищення достовірності передавання інформації у телекомунікаційних мережах на базі радіотехнологій доцільно застосовувати згорткові кодові конструкції. Важливим класом таких кодових конструкцій є алгебраїчні згорткові коди. Параметри даних кодів повністю визначаються узагальненою породжувальною матрицею, що фактично є відповідною матрицею обраного недвійкового блокового коду, наприклад, коду Ріда-Соломона. При цьому завдяки алгебраїчній структурі синтезовані згорткові коди мають гарантовано хороші конструктивні характеристики [1].

У [2] надано алгебраїчний метод декодування згорткових кодів даного класу, що використовує лише жорсткі рішення, у результаті чого забезпечується достатньо низька корегувальна здатність. Як відомо, перехід до м'якого декодування з використанням інформації про надійність прийнятих з каналу зв'язку символів дає змогу отримати більший енергетичний вигравш від кодування. Однак класичний метод декодування згорткових кодів на основі алгоритму Вітербі характеризується значною обчислювальною складністю, що дозволяє його застосовувати лише до кодів з малою довжиною кодового обмеження [3].

З іншого боку, у теорії блокових кодів запропоновано ряд методів декодування, що побудовані на генетичних алгоритмах [4, 5]. Дані методи декодування забезпечують високу корегувальну здатність і мають прийнятну обчислювальну складність. У [6] представлено узагальнення даного біоінспірованого підходу на випадок алгебраїчних згорткових кодів та наведено основні етапи відповідного методу декодування.

При цьому актуальним завданням є розгляд питань, пов'язаних з програмною реалізацією біоінспірованого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів.

Мета статті

Визначення принципів та особливостей програмної реалізації біоінспірованого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів для забезпечення його ефективного застосування у телекомунікаційних мережах на базі радіотехнологій.

Основна частина

У [6] показано, що у разі обмеження інформаційної послідовності, яка підлягає кодуванню, деякий алгебраїчний згортковий код можна надати еквівалентним чином у вигляді довгого двійкового блокового коду. З урахуванням цього, задачу м'якого декодування алгебраїчного згорткового коду формально можна подати у вигляді оптимізаційної задачі, що полягає у пошуку мінімального значення функції невідповідності кореляції для передбачуваної кодової послідовності та прийнятої з каналу зв'язку послідовності. Проведений аналіз показав, що

виходячи з особливостей даної цільової функції при декодуванні доцільно застосовувати біоінспіровані процедури.

Наведемо основні етапи біоінспірованого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів [6].

Етап 1. Ініціалізація.

На цьому етапі формується прийнята з каналу зв'язку послідовність, встановлюються максимальна кількість ітерацій декодування, величина випадкового зміщення та параметри обраної біоінспірованої процедури.

Етап 2. Впорядкування прийнятої послідовності за зменшенням надійності символів.

На цьому етапі на нульовій ітерації використовується інформація про безпосередньо прийняту послідовність, а на подальших ітераціях – інформація про модифіковану прийняту послідовність, отриману у результаті процедури випадкового зміщення.

Етап 3. Знаходження найбільш надійного базису узагальненої породжувальної матриці алгебраїчного згорткового коду.

На цьому етапі на нульовій ітерації формування найбільш надійного базису відбувається на основі упорядкованої прийнятої послідовності, а на інших ітераціях – з використанням упорядкованої модифікованої прийнятої послідовності.

Етап 4. Пошук передбачуваної кодової послідовності алгебраїчного згорткового коду з використанням узагальнених біоінспірованих процедур.

На цьому етапі здійснюється біоінспірований пошук переданої інформаційної послідовності (та відповідної передбачуваної кодової послідовності), що забезпечує мінімальне значення обраної цільової функції (функції невідповідності кореляції). Особливості реалізації цього етапу залежать від обраної біоінспірованої процедури та встановлених значень параметрів пошуку.

Етап 5. Застосування випадкового зміщення до елементів прийнятої послідовності.

На цьому етапі до отриманої передбачуваної кодової послідовності додається випадкове зміщення, що забезпечує модифікацію прийнятої послідовності, отриманої безпосередньо з каналу зв'язку.

Етап 6. Формування оцінки переданої кодової послідовності за допомогою зворотного відображення і завершення процесу декодування.

Таким чином, ключовою особливістю такого методу декодування є пошук передбачуваної кодової послідовності шляхом знаходження найбільш надійного базису для різних пробних векторів, які отримуються за допомогою механізму випадкового зміщення, з подальшим використанням узагальнених біоінспірованих процедур для пошуку найбільш імовірної кодової послідовності. При цьому на

нульовій ітерації знаходиться найбільш надійний базис безпосередньо для прийнятої послідовності, а на наступних ітераціях формуються нові найбільш надійні базиси для модифікованих прийнятих послідовностей. Це дає змогу генерувати нові кодові послідовності алгебраїчного згорткового коду з використанням оновлених наборів найбільш надійних базисів для заданої прийнятої послідовності, що сприяє підвищенню ефективності біоінспірованого пошуку передбачуваної кодової послідовності.

Схему поданого біоінспірованого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів, що забезпечує візуалізацію основних його етапів, наведено на рис. 1.

З рис. 1 випливає, що відмінною рисою такого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів є спільне застосування біоінспірованого пошуку для визначення найбільш імовірної кодової послідовності, що відповідає найбільш надійному базису, та випадкового зміщення елементів прийнятої послідовності для розширення області пошуку. При цьому обчислювальна складність методу та його ефективність значним чином залежать від обраної біоінспірованої процедури та величини випадкового зміщення, вибір яких обумовлюється характеристиками каналу зв'язку та іншими чинниками.

Програмну реалізацію поданого методу декодування алгебраїчних згорткових кодів побудовано на розроблених алгоритмах, схеми яких наведені на рис. 2 і 3.

З рис. 2 випливає, що у цьому алгоритмі вхідними даними є прийнята послідовність (прийнятий з каналу вектор м'яких рішень), параметри алгебраїчного згорткового коду та параметри обраної біоінспірованої процедури. Спочатку здійснюється жорстке декодування шляхом визначення елементів вектора жорстких рішень на основі прийнятої з каналу зв'язку інформації та обчислення перевіркою умови (синдрому). Якщо перевірна умова не задовольняється, то відбувається перехід до м'якого декодування, на початку якого здійснюється ініціалізація необхідних параметрів. На першій ітерації алгоритму як вихідна інформація використовується інформація з каналу – прийнятий вектор м'яких рішень. Для цього вектора знаходиться найбільш надійний базис породжувальної матриці використовуваного алгебраїчного згорткового коду із застосуванням інформації про надійність прийнятих символів. Далі здійснюється біоінспірований пошук кодової послідовності, що оснований на знайденому найбільш надійному базисі для прийнятого вектора. Після цього до прийнятого вектора м'яких рішень застосовується випадкове зміщення та здійснюється перехід до наступної ітерації декодування. Слід зазначити, що у кожній подальшій ітерації алгоритму

для формування найбільш надійного базису використовується новий зміщений прийнятий вектор м'яких рішень. При досягненні максимального числа ітерацій формується базисна кодова послідовність, отримана у результаті біоінспірованого пошуку, до

якої застосовується зворотне перетворення. Виходом даного алгоритму декодування є оцінка найбільш ймовірної кодової послідовності, що обирається як передана кодова послідовність.

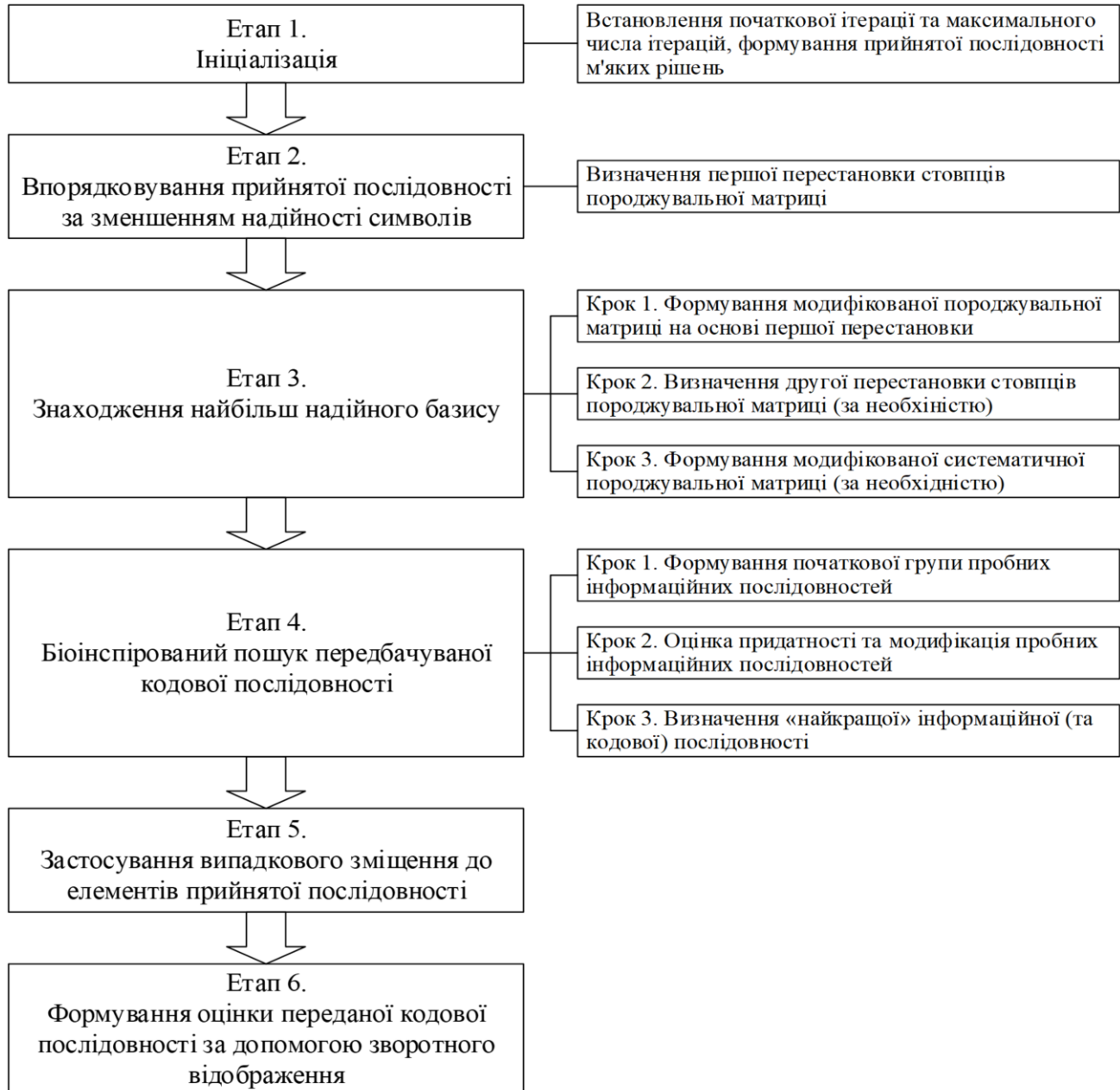


Рис. 1. Схема біоінспірованого методу м'якого декодування алгебраїчних згорткових кодів

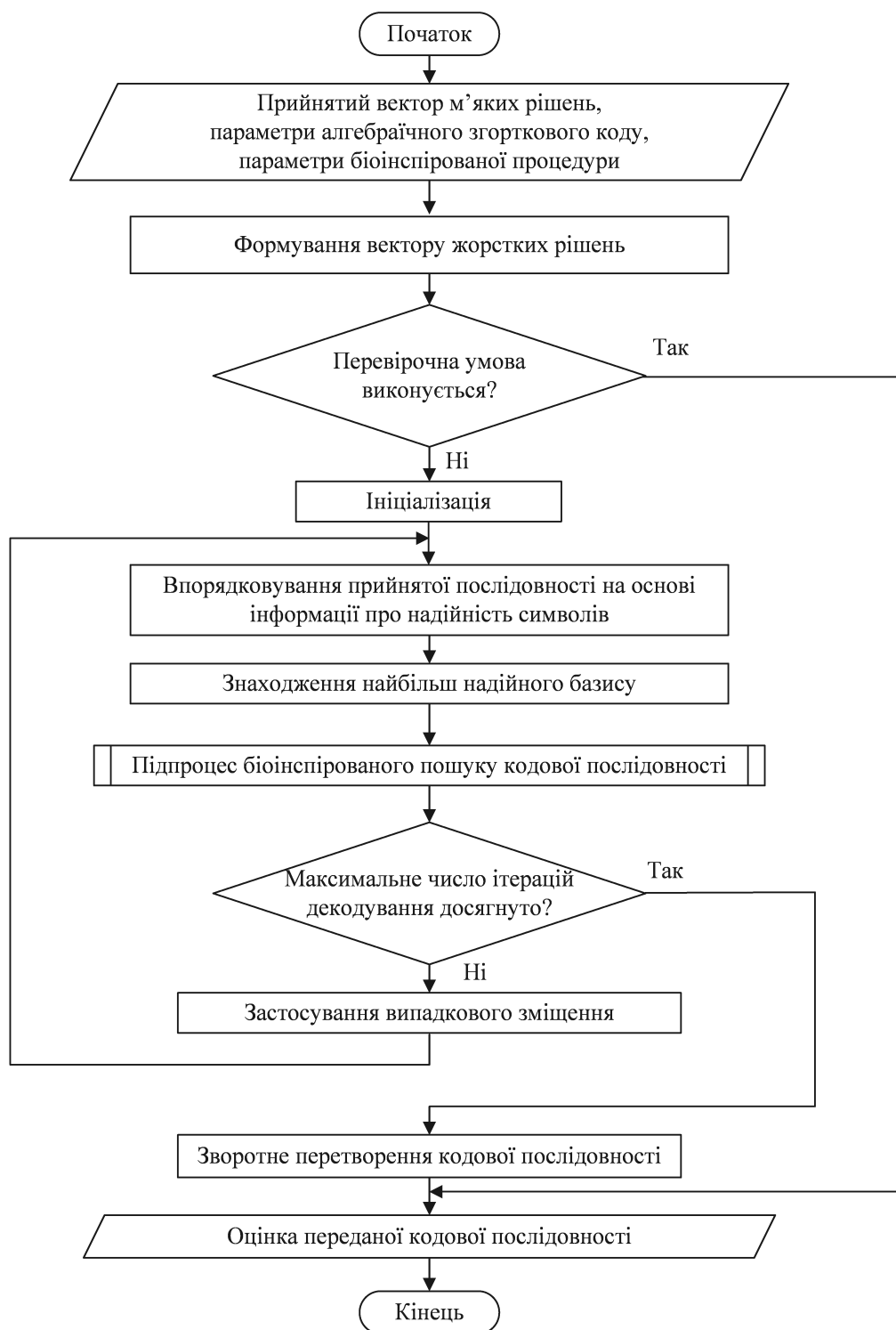


Рис. 2. Схема алгоритму біоінспірованого декодування алгебраїчних згорткових кодів з випадковим зміщенням

Схему алгоритму підпроцесу біоінспірованого пошуку кодової послідовності алгебраїчних згорткових кодів подано на рис. 3.

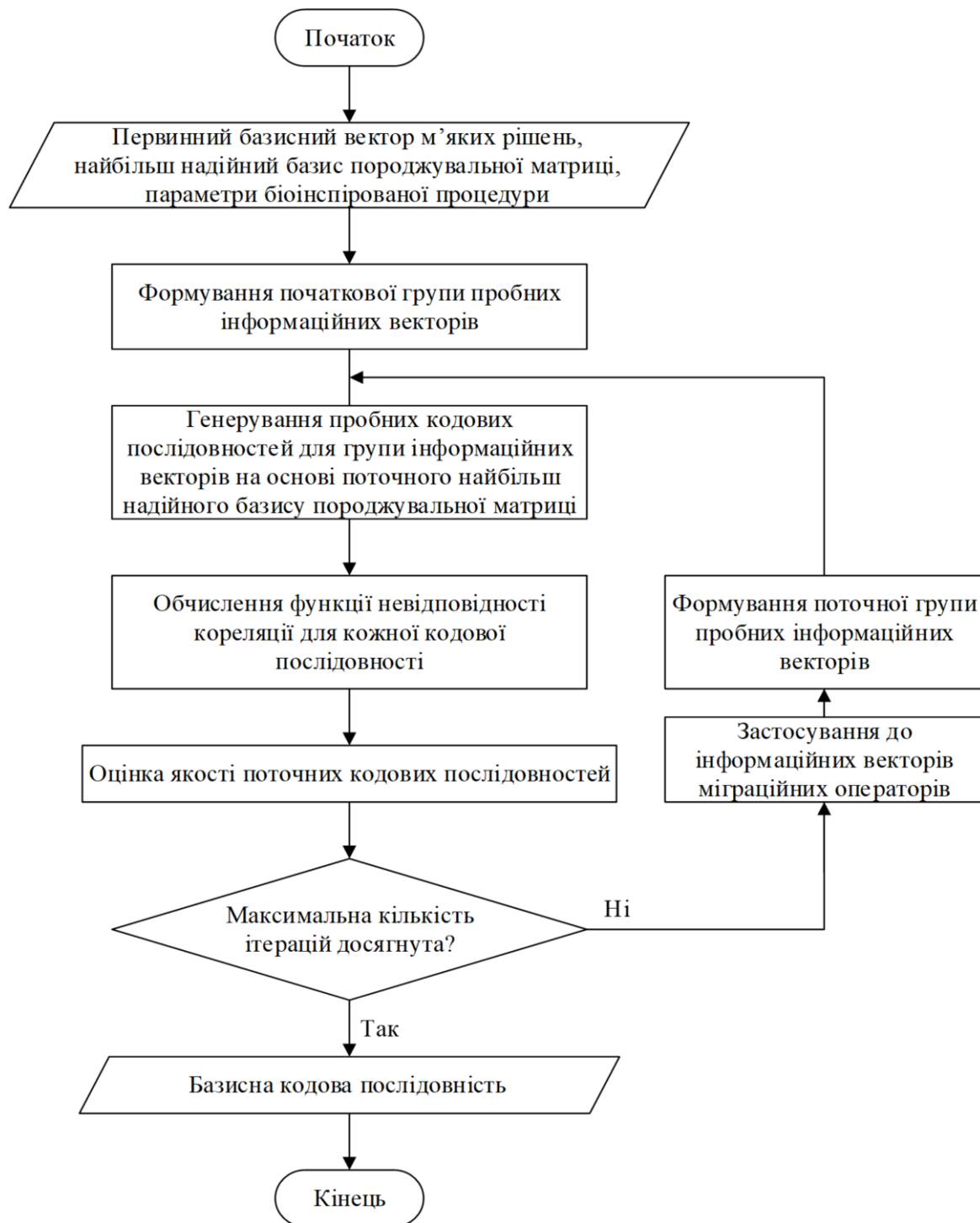


Рис. 3. Схема алгоритму підпроцесу біоінспірованого пошуку кодового слова алгебраїчних згорткових кодів

Вхідними даними для алгоритму, зображеного на рис. 3, служать первинний базисний вектор м'яких рішень, найбільш надійний базис породжувальної матриці, що сформовані на поточній ітерації декодування алгебраїчного згорткового коду, та

параметри обраної біоінспірованої процедури. Спочатку створюється початкова група пробних інформаційних векторів, що складається з первинного базисного інформаційного вектора та заданого числа випадкових інформаційних векторів. Далі

здійснюється генерування відповідних пробних кодових послідовностей алгебраїчного згорткового коду на основі поточної модифікованої породжувальної матриці. Потім відбувається обчислення функції невідповідності кореляції для кожної з кодових послідовностей та прийнятої з каналу послідовності. Оцінка якості пробних кодових послідовностей здійснюється відповідно до отриманих значень обраної цільової функції, після чого застосовуються оператори біоінспірованої процедури для модифікації пробних інформаційних векторів. Після заданого числа ітерацій біоінспірованої процедури формується «найкраща» базисна кодова послідовність, що потім використовується в основному алгоритмі декодування алгебраїчних згорткових кодів з випадковим зміщенням.

Висновки

За результатами досліджень визначено доцільність використання біоінспірованого підходу спільно з процедурою випадкового зміщення при м'якому декодуванні алгебраїчних згорткових кодів. Для ефективного впровадження біоінспірованого методу декодування даних кодів (його подальшої програмної реалізації) у телекомунікаційних мережах на базі радіотехнологій розроблено схеми відповідних алгоритмів та визначено особливості їх реалізації.

Список використаних джерел

1. Алгебраическое построение несистематических сверточных кодов [Текст] / С. И. Приходько, А. А. Кузнецов, С. А. Гусев, И. Е. Кужель // Системы обработки информации. – 2004. – Вып. 8 (69). – С. 170–175.
2. Приходько, С. И. Метод декодирования алгебраических сверточных кодов [Текст] / С. И. Приходько, Д. М. Кузьменко // Системы обработки информации. – 2008. – Вып. 2 (69). – С. 12–17.
3. Viterbi, A. Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm [Text] / A. Viterbi // IEEE Transactions on Information Theory. – 1967. – Vol. 13, Issue 2. – P. 260–269.
4. Genetic Algorithm for Decoding Linear Codes over AWGN and Fading Channels [Text] / H. Berbia, F. Elbouanani, R. Romadi, H. Benazza, M. Belkasmii // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2011. – Vol. 30, № 1. – P. 35–41.
5. Improved decoding of linear block codes using compact genetic algorithms with larger tournament size [Text] / A. Berkani, A. Azouaoui, M. Belkasmii, B. Aylaj // International Journal of Computer Science Issues. – 2017. – Vol. 14, Issue 1. – P. 15–24.
6. Штомпель, Н. А. Мягкое декодирование алгебраических сверточных кодов на основе

природных вычислений [Текст] / Н. А. Штомпель // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті: науково-технічний журнал. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – Вып. 5 (120). – С. 14–18.

Приходько С. И., Штомпель Н. А., Власов А. В. Принципы программной реализации биоинспирированного метода декодирования алгебраических сверточных кодов.

Аннотация. Показано, что для повышения достоверности передачи информации в телекоммуникационных сетях на базе радиотехнологий целесообразно использовать алгебраические сверточные коды. Проведен анализ существующих методов декодирования помехоустойчивых кодов. Обоснована целесообразность использования биоинспирированного подхода совместно с процедурой случайного смещения при мягком декодировании алгебраических сверточных кодов. Рассмотрены основные этапы биоинспирированного метода декодирования данных кодов. Разработаны алгоритмы биоинспирированного декодирования алгебраических сверточных кодов и определены особенности их реализации.

Ключевые слова: сверточные коды, декодирование, программная реализация, биоинспирированный подход, телекоммуникационные сети.

Prihodko S., Shtompel M., Vlasov A. Software implementation features of bioinspired method of decoding algebraic convolutional codes.

Abstract. It is shown that advisable to use algebraic convolution codes for increasing the reliability of the transmission of information in telecommunication networks based on radio technologies. An analysis of existing methods for decoding error correcting codes was carried out. It is shown that the problem of soft decoding of a given algebraic convolutional code can be formally presented as an optimization problem. The expediency of using the bioinspired approach together with the random bias procedure for soft decoding of algebraic convolution codes is substantiated. The main stages of the bioinspired decoding method of these codes are considered. For the effective software implementation of the bioinspired decoding method of these codes, the schemes of the corresponding algorithms have been developed and the features of their implementation have been determined. The received sequence, the parameters of the algebraic convolution code and the parameters of the chosen bioinspired procedure are the input data of the developed algorithm of bioinspired decoding of algebraic convolutional codes with the random bias. The output of

this decoding algorithm is to estimate the most probable code sequence. The primary base vector of soft solutions, the most reliable basis of the generator matrix and the parameters of the selected bioinspired procedure are the input data in the presented algorithm of the subprocess of the bioinspired search of the codeword of the algebraic convolution codes. The output of this decoding algorithm is the "best" basic code sequence. Then this sequence is used in the basic algorithm for decoding algebraic convolutional codes.

Keywords: convolutional codes, decoding, software implementation, bioinspired approach, telecommunication networks.

Надійшла 12.03.2019 р.

Приходько Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: prihodko@kart.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351>

Штомпель Микола Анатолійович, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: tz@kart.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3132-8335>.

Власов Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник наукового центру, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна. E-mail: yav_and@i.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6080-237X>

Sergey Prihodko, Vice-rector for scientific and pedagogical work of Ukrainian State University of Railway Transport, Doctor of Technical Sciences, professor, Kharkiv, Ukraine. E-mail: prihodko@kart.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6535-8351>

Shtompel Mykola Anatoliiovych, Doctor of sciences (engineering), Associate professor (docent), Associate professor, Department of transport communication Ukrainian state university of railway transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: tz@kart.edu.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3132-8335>.

Vlasov Andrii Volodimirovych, Candidate of sciences (engineering), leading researcher of scientific center, Ivan Kozhedub Kharkov National University of Air Force, Ukraine. E-mail: yav_and@i.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6080-237X>