

ДЕКОДУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ВСJR ДЛЯ ТУРБОКОДУ, СТАНДАРТИЗОВАНОГО В DVB-RCS

А. Я. Кулик, д-р техн. наук, професор;

Д. С. Кривозубченко, канд. техн. наук;

Ю. Ю. Іванов, студент,

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Розглядаються питання, пов'язані з сучасними методами турбокодування, перспективними для застосування у супутникових мережах, цифровому телебаченні, мобільних комунікаціях. Запропоновано використання узагальненої структури з використанням AWGN. Показано переваги та недоліки турбокодів, принципи роботи з ними у стандарті супутникового зв'язку DVB-RCS та мережах 3G. Розглянуто алгоритм ВСJR для марківського джерела інформації, яка передається дискретним каналом без пам'яті з AWGN. Отримано узагальнений вираз для обчислення LLR у процесі MAP-декодування в алгоритмі ВСJR за допомогою дослідження ймовірно-енергетичних характеристик передавання інформації. Показано ідеї реалізації MAP-декодера в техніці з використанням обчислювальної потужності технічних засобів та доведено оптимальність цього алгоритму.

Ключові слова: *інформація, турбокод, узагальнена структура для роботи з інформацією, AWGN, MAP, ВСJR, BER, LLR, DVB-RCS, 3G.*

Рассматриваются вопросы, связанные с современными методами турбокодирования, перспективными для применения в спутниковых сетях, цифровом телевидении, мобильных коммуникациях. Предложено использование обобщенной структуры с использованием AWGN. Показаны преимущества и недостатки турбокодов, принципы работы с ними в стандарте спутниковой связи DVB-RCS и сетях 3G. Рассмотрен алгоритм ВСJR для марковского источника информации, передаваемой дискретным каналом без памяти с AWGN. Получено обобщенное выражение для вычисления LLR в процессе MAP-декодирования в алгоритме ВСJR посредством исследования вероятностно-энергетических характеристик передачи информации. Показаны идеи реализации MAP-декодера в технике с использованием вычислительной мощности технических средств и доказано оптимальность данного алгоритма.

Ключевые слова: *информация, турбокод, обобщенная структура для работы с информацией, AWGN, MAP, ВСJR, BER, LLR, DVB-RCS, 3G.*

ВСТУП

Керування правильністю процесу передавання інформації забезпечується завадостійким кодуванням. Існують коди, що визначають наявність помилок, і коригувальні коди, які також і виправляють помилки. У симплексних каналах зв'язку усувають помилки за допомогою коригувальних кодів; у дуплексних – достатньо застосування кодів, що виявляють помилки. Це основні методи, які використовуються в інформаційних мережах.

Завадостійкість забезпечує надійність і ймовірність переданої інформації. В основному на сьогодні використовуються двійкові коди. Дані передаються між обчислювальними терміналами, літальними апаратами, супутниками та іншими інформаційно-обчислювальними системами [1].

Процес передавання даних в інформаційних системах чутливий до помилок, оскільки будь-яка помилка може істотно порушити обчислення. Саме для боротьби із завадами в системах передавання даних на всіх етапах і в усіх процедурах збирання, оброблення та передавання інформації застосовується завадостійке кодування.

Турбокод, розроблений у 1993 р., є досить потужним методом виправлення помилок, який має перевагу в тому, що дозволяє забезпечити надійний зв'язок з ефективністю, дуже близькою до теоретичної межі Клода Шенона. Тому турбокоди застосовують, щоб кодувати інформаційні повідомлення великого обсягу для високошвидкісного передавання з великою завадостійкістю.

Турбокод удосконалюється у напрямі підвищення швидкості та надійності передавання даних, що, безперечно, робить його застосування перспективним. Одними з найважливіших сфер використання такого кодування на практиці є цифрове телебачення, космічні та мобільні супутникові комунікації [2].

Актуальними є проблеми реалізації розроблених для турбокодів обчислювальних процедур, приймання, формування та декодування турбокоду з використанням обчислювальної потужності технічних пристроїв, а також дослідження ймовірно-енергетичних характеристик передачі інформації з використанням технічних засобів. Існує достатня кількість наукових праць, які подають ідеї для вирішення порушених проблем, наприклад, [1-7] або інші, пов'язані з цією темою.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Під час роботи з розглянутим кодом виникає проблема його декодування, а відповідно і реалізації цієї процедури. Для декодування турбокодів можна використовувати декілька методів. Однак досить поширений алгоритм декодування MAP (maximum a posteriori probability – по максимуму апостеріорної ймовірності) та його модифікації для зниження обчислювальної складності (Log-MAP, Max-Log-MAP алгоритми) [2].

Таким чином, необхідно визначити особливості алгоритму MAP і побудувати методику його реалізації.

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТУРБОКОДІВ

Оброблення інформації – це вся сукупність операцій (збирання, введення, записування, перетворення, зчитування, зберігання, знищення, реєстрація), що здійснюються за допомогою технічних і програмних засобів, включаючи обмін по каналах передавання даних.

Упродовж усього життя та діяльності людини її супроводжують інформаційні процеси. Постійно здійснюється осмислення, отриманої інформації, фактично обробка на рівні вищої нервової діяльності з метою прийняття відповідних рішень. Очевидно, що в час новітніх технологій інформація стала об'єктом автоматизованого оброблення [1].

Узагальнена структура для роботи з інформацією (рис. 1), в якій кодуєчий пристрій (кодер каналу) системи завадостійкого кодування отримує інформаційні символи від джерела і додає до них надлишкові символи таким чином, щоб могла бути виправлена велика частина помилок, що виникають у процесі модуляції сигналів, їх передавання каналом із шумом і демодуляції.

У класичній теорії кодів, що виправляють помилки, комплекс, який містить модулятор, демодулятор і середовище для передавання інформації на наявності в ньому завад, називається дискретним каналом без пам'яті зі входом \bar{V} і виходом \bar{r} . Прикладом такого каналу є система передавання двійкових сигналів каналом з AWGN (additive white Gaussian noise – адитивним білим гаусівським шумом), який моделюється як двійковий симетричний канал з ймовірністю помилки (ймовірністю переходу) p , що дорівнює ймовірності помилки на 1 біт для двійкового сигналу в AWGN:

$$p = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right), \quad (1)$$

де

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \cdot dz, \quad x \geq 0, \quad (2)$$

є гаусівською Q -функцією, а $\frac{E_b}{N_0}$ – відношення сигнал / шум на 1 біт.

Усі коди, що виправляють помилки, реалізуються на одній спільній ідеї: для виправлення помилок, які можуть виникнути в процесі передавання або зберігання інформації, до неї додається певна надлишковість. За основною схемою, що використовується на практиці, надлишкові символи дописуються слідом за інформаційними, утворюючи кодову послідовність або кодове слово (codeword).

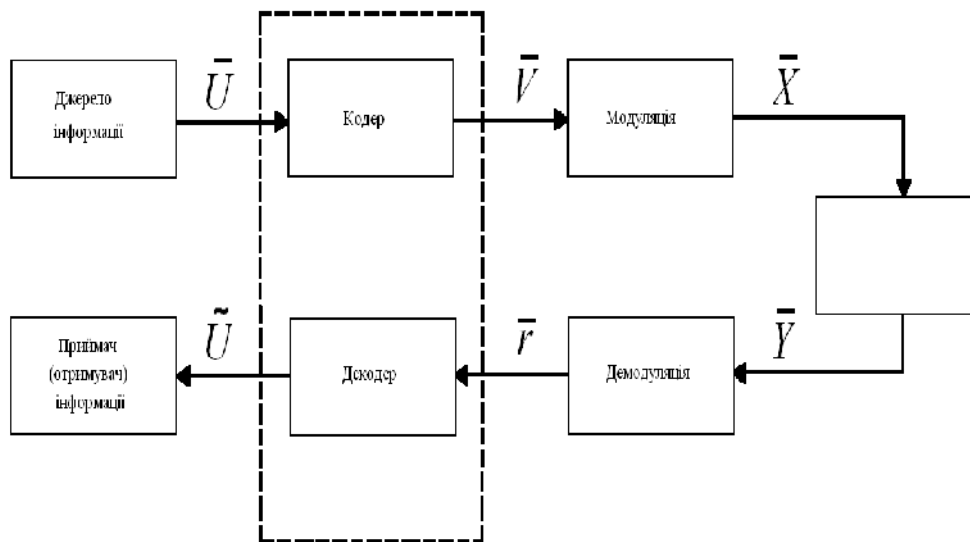


Рисунок 1 — Узагальнена структура для роботи з інформацією:
 \bar{U} — початкові дані, що надаються пристрою кодування інформації;
 \bar{V} — дані після процедури кодування; \bar{X} — дані після модуляції, що надходять до каналу із шумом; \bar{Y} — дані на виході каналу з шумом;
 \bar{r} — дані після демодуляції, які надходять до пристрою декодування інформації; \tilde{U} — інформація з джерела після проходження вузлів системи

Як приклад (рис. 2) можна використати кодове слово, сформоване процедурою кодування блокового коду. Таке кодування називають систематичним (systematic). Це означає, що інформаційні символи завжди з'являються на перших k -позиціях кодового слова. Символи, що залишилися на $n-k$ -позиціях, є різними функціями від інформаційних символів, забезпечуючи тим самим надлишковість, необхідну для виявлення або виправлення помилок [3].

Турбокод – це каскадний блоковий систематичний код, який може виправляти помилки, що виникають під час передавання інформації в каналі зв'язку із шумами. Використання турбокодування дозволяє підвищити завадостійкість приймання сигналів при співвідношенні

сигнал/шум на 1-3 дБ менше від нормативного залежно від типу сигналів, швидкості, виду кодування, якості каналу зв'язку. Порогові значення у турбокодах лежать на 2-3 дБ нижче, ніж у системах, що використовують декодування за алгоритмом Вітербі або Ріда-Соломона. Аналогом (синонімом) цього коду є каскадний код (concatenated code), який запропонував у 1966 році Forney.

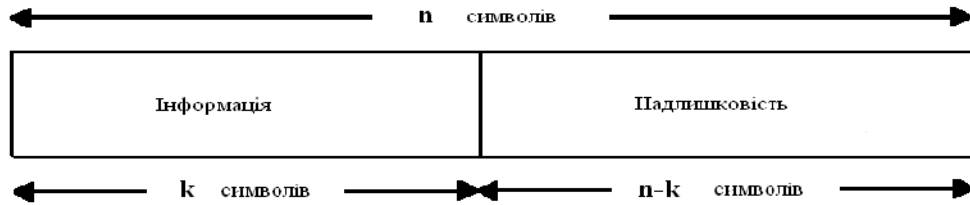


Рисунок 2 – Систематичне блокове кодування для виправлення помилок

Серед усіх практично використовуваних сучасних методів корекції помилок, турбо-коди і LDPC (low-density parity-check code — коди з низькою щільністю перевірок на парність) – найближче підходять до межі Клода Шеннона (теоретичної межі максимальної пропускної здатності зашумленого каналу) [3]. Турбокоди дозволяють збільшити швидкість передавання інформації, не вимагаючи збільшення потужності передавача. Також вони можуть бути використані для зменшення необхідної потужності при передаванні із заданою швидкістю.

Істотним недоліком турбокодів є відносно висока складність декодування і велика затримка, які іноді роблять їх непривабливими. Проте для використання в супутникових каналах цей недолік не є істотним, оскільки довжина каналу зв'язку вносить значну затримку.

Ще одним недоліком турбокодів (рис. 3) є порівняно невелика кодова відстань. Це призводить до того, що хоча при великій вхідній імовірності помилки ефективність турбокоду висока, при малій вхідній імовірності помилки ефективність турбокоду обмежена.

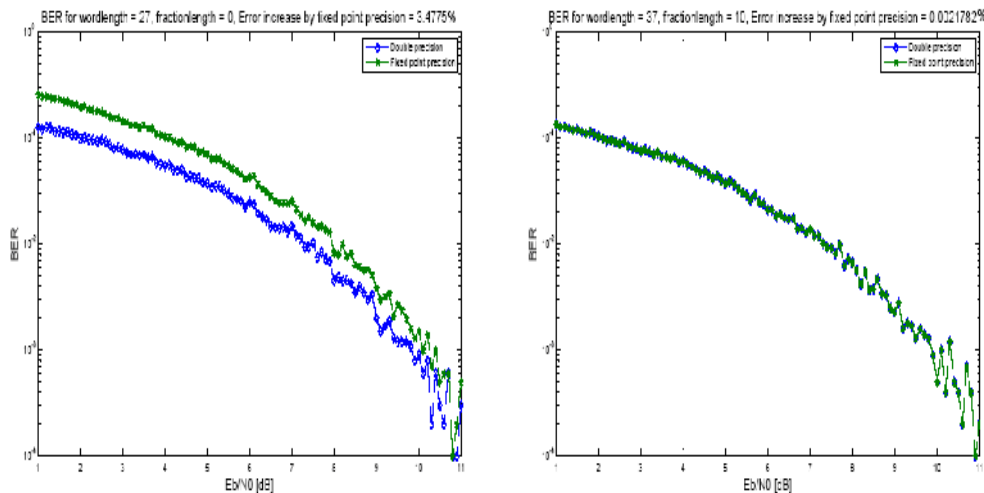


Рисунок 3 – Імовірність помилки на 1 біт (довжина слова 27 бітів)

Важлива перевага турбокодів – незалежність складності декодування від довжини інформаційного блоку, що дозволяє знизити ймовірність помилки декодування шляхом збільшення його довжини [1].

Компанії France Telecom і Telediffusion de France запатентували широкий клас турбокодів, що обмежує можливість їх вільного застосування і водночас стимулює розвиток нових методів кодування таких, як, наприклад, LDPC [1, 4]. У надійних каналах для подальшого зменшення ймовірності помилки застосовують не турбокоди, а LDPC-коди.

Складність використовуваних алгоритмів турбокодування і явна недостатність програмного забезпечення вільного поширення перешкоджають упровадженню турбокодів, хоча зараз багато систем використовують саме їх. Ці коди активно застосовуються в системах супутникового і мобільного зв'язку, бездротового ширококутового доступу і цифрового телебачення. Цей код затверджений у стандарті супутникового зв'язку DVB-RCS (digital video broadcasting – return channel via satellite). Пропонується прямий канал (від абонента до супутника), що базується на форматі даних DVB/MPEG-2 (motion picture experts group – група фахівців для створення стандартів передачі цифрової відео- та аудіоінформації), і зворотний канал (від супутника до абонента), на основі режиму MF-TDMA (multi-frequency time-division multiple access – багаточастотного доступу з розподіленням за часом). DVB/MPEG-2 може забезпечити швидкість передавання в прямому каналі до 110 Мбіт/с, а режим MF-TDMA передбачає швидкість до 8 Мбіт/с у зворотному каналі з кожного віддаленого терміналу. Реально швидкості прямого і зворотного каналів залежать від обладнання і поки не доходять до вказаної межі. Схеми розподілу ресурсів DVB-RCS (рис. 4) мережі забезпечують максимальну ефективність і гнучкість системи з мінімальними витратами. Крім того, DVB-RCS характеризується можливістю ефективного захисту інформації в мережах передавання даних, що створюються на базі цієї технології [4, 5].

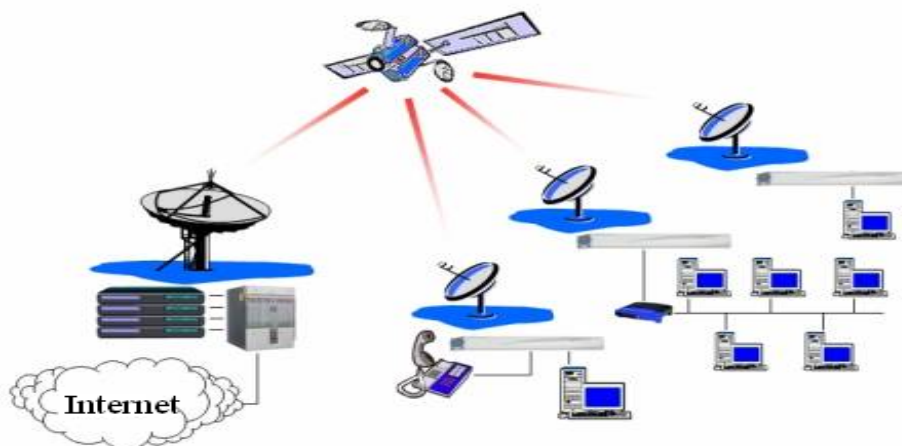


Рисунок 4 – Принцип DVB-RCS-стандарту

Турбокоди знайшли широке застосування також у мобільних системах зв'язку третього покоління. Наприклад, мережі 3G працюють на частотах дециметрового діапазону, зазвичай у діапазоні близько 2 Гц, передаючи дані зі швидкістю до 3,6 Мбіт/с. Вони дозволяють організувати відеотелефонний зв'язок, проглядати на мобільному телефоні фільми та телепрограми. 3G містить у собі 5 стандартів сім'ї IMT-2000 (UMTS/WCDMA, CDMA2000/IMT-MC, TD-CDMA/TD-SCDMA, DECT і UWC-136). Найбільшого поширення у світі набули два стандарти: UMTS (W-CDMA) і CDMA2000 (IMT-MC), в основі яких лежить одна і та сама

технологія – CDMA (code division multiple access – множинний доступ з кодовим розподілом каналів) [4, 5].

Одним із методів, що розв'язує складну задачу декодування турбокодів, є алгоритм MAP, який знижує обчислювальну складність процедури.

Алгоритм представлений Bahl, Cocke, Jelinek і Raviv у 1974 році, розглядає загальний випадок марківського джерела інформації, що передається через дискретний канал без пам'яті. Цей метод є оптимальним алгоритмом посимвольного MAP-декодування лінійних блокових кодів, який мінімізує BER (bit error rate – ймовірність помилки на 1 біт). Цей алгоритм формує основу для MAP-декодування турбокодів і має альтернативну назву BCJR на честь авторів, які його створили [6, 7].

Ідея MAP-декодування – в обчисленні апостеріорних імовірностей інформаційних символів, використовуючи задану прийняту послідовність \bar{r} та LLR (log-likelihood ratio – логарифм відношення правдоподібності), що можна записати за допомогою формули [6]:

$$LLR(\bar{U}_i) = \lg \left(\frac{p(\bar{U}_i = 1 | \bar{r})}{p(\bar{U}_i = 0 | \bar{r})} \right), \quad (3)$$

де \bar{U}_i – інформаційний символ.

Розглянемо алгоритм MAP- декодування, близький до оригіналу BCJR.

Переходи між станами (ребра) на ратці мають імовірності

$$p\{S_i^{(m)} | S_{i-1}^{(m')}\}, \quad (4)$$

а для кодових символів \bar{V}_i

$$q_i = (\bar{X}_i | m', m) = p\{\bar{X}_i = x | S_{i-1}^{(m')}, S_i^{(m)}\}, \quad (5)$$

де для відображення сигналу в символи (модуляція) використовують вираз

$$x = \pm 1, \quad \bar{X}_i = m(\bar{V}_i) = (-1)^{\bar{V}_i}, \quad 0 < i \leq N. \quad (6)$$

Наприклад, BPSK (binary phase-shift keying – двійкова фазова модуляція)

$$m(\bar{V}_i) = \begin{cases} \sqrt{E}; & \bar{V}_i = 0, \\ -\sqrt{E}; & \bar{V}_i = 1. \end{cases} \quad (7)$$

Послідовність \bar{X} передається каналом з AWGN і приймається як послідовність \bar{r} із перехідними ймовірностями

$$p\{\bar{r} | \bar{X}\} = \prod_{i=1}^N p(\bar{r}_i | \bar{X}_i) = \prod_{i=1}^N \prod_{j=0}^{N-1} p(\bar{r}_{i,j} | \bar{X}_{i,j}), \quad (8)$$

де для гаусівських каналів апостеріорна ймовірність прийнятого значення $\bar{r}_{i,j}$ за умови, що був переданий символ $\bar{X}_{i,j}$, дорівнює

$$p(\bar{r}_{i,j} | \bar{X}_{i,j}) = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot N_0}} \cdot \exp \left(-\frac{(\bar{r}_{i,j} - \bar{X}_{i,j})^2}{N_0} \right). \quad (9)$$

Позначимо $\Theta_i^{(j)}$ множину ребер, що зв'язують стани $S_i^{(m)}$ та $S_{i-1}^{(m')}$ таким чином, що відповідний інформаційний біт $\bar{U}_i = j$, а $j \in \{0; 1\}$. Тоді

$$p(\bar{U}_i = j | \bar{r}) = \sum_{(m', m) \in \Theta_i^{(j)}} p(S_{i-1}^{(m')}, S_i^{(m)}, \bar{r}) = \sum_{(m', m) \in \Theta_i^{(j)}} \sigma_i(m', m). \quad (10)$$

Величина $\sigma_i(m', m)$ дорівнює

$$\sigma_i(m', m) = \alpha_{i-1}(m') \cdot \gamma_i^{(j)}(m', m) \cdot \beta_i(m), \quad (11)$$

де спільна ймовірність $\alpha_i(m) = p\{S_i^{(m)}, \bar{r}\}$ визначена рекурсивно

$$\alpha_i(m) = \sum_{m'} \alpha_{i-1}(m') \cdot \sum_{j=0}^1 \gamma_i^{(j)}(m', m). \quad (12)$$

Величина з формули (12) є метрикою прямого шляху на trellis-діаграмі (ратці коду).

Умовна ймовірність $\gamma_i^{(j)}(m', m) = p\{S_i^{(m)}, \bar{r} | S_{i-1}^{(m')}\}$ задана як

$$\gamma_i^{(j)}(m', m) = \sum_x p(m | m') \cdot p\{\bar{X}_i = x | S_{i-1}^{(m')}, S_i^{(m)}\} \cdot p\{\bar{r}_i | x\}. \quad (13)$$

де

$$p(m | m') = p\{S_i^{(m)} | S_{i-1}^{(m')}\}. \quad (14)$$

Формулу (13) в дискретному гаусівському каналі можна записати в такому вигляді:

$$\gamma_i^{(j)}(m', m) = p\{\bar{U}_i = j\} \cdot \delta_{ij}(m, m') \cdot \exp \left(-\frac{1}{N_0} \cdot \sum_{q=0}^{N-1} (\bar{r}_{i,q} - \bar{X}_{i,q})^2 \right), \quad (15)$$

де $\delta_{ij}(m, m') = 1$, якщо $\{m, m'\} \in \Theta_i^{(j)}$,

$\delta_{ij}(m, m') = 0$, якщо $\{m, m'\} \notin \Theta_i^{(j)}$.

Ймовірність $\gamma_i^{(j)}(m', m)$ має назву метрики ребра.

Умовна ймовірність $\beta_i(m) = p\{\bar{r} | S_i^{(m)}\}$ визначається як

$$\beta_i(m) = \sum_{m'} \beta_{i+1}(m') \cdot \sum_{j=0}^1 \gamma_i^{(j)}(m', m). \quad (16)$$

Величину з формули (16) називають метрикою зворотного шляху на trellis-діаграмі.

Використовуючи формули (16), (15), (12), (11) та (3) і комбінуючи їх, отримуємо LLR для інформаційного символу \bar{U}_i

$$LLR(\bar{U}_i) = \lg \left(\frac{p(\bar{U}_i = 1 | r)}{p(\bar{U}_i = 0 | r)} \right) = \lg \left(\frac{\sum_{m, m'} \alpha_{i-1}(m') \cdot \gamma_i^{(1)}(m', m) \cdot \beta_i(m)}{\sum_{m, m'} \alpha_{i-1}(m') \cdot \gamma_i^{(0)}(m', m) \cdot \beta_i(m)} \right). \quad (17)$$

Отже, формула (17) є узагальненим виразом для обчислення LLR процедури MAP-декодування в алгоритмі BCJR [6, 7].

Реалізація MAP-декодера виконується за допомогою обчислювальної процедури [3], що наведена у формулі (17). “Жорсткий” розв’язок можна знайти як

$$\hat{U}_i = \text{sgn}(LLR(\bar{U}_i)). \quad (18)$$

Розглянуті рівняння можна інтерпретувати так:

- застосовується алгоритм Вітербі “вперед” (прямий шлях) та “назад” (зворотний шлях);
- на прямому шляху для заданої ймовірності зміни стану в момент i знаходиться спільна ймовірність прийнятої послідовності до моменту i та стану у цей момент;
- на зворотному шляху знаходиться ймовірність прийнятої послідовності від моменту $i+1$ до моменту N , використовуючи заданий стан у момент i .

Для того щоб уникнути обчислювальної нестабільності, для роботи з ймовірностями $\alpha_i(m)$ та $\beta_i(m)$ потрібно зберігати умову нормування ймовірностей

$$p(\alpha_i(m)) + p(\beta_i(m)) = 1. \quad (19)$$

Необхідно зазначити, що метрики ребер залежать від щільності потужності шуму N_0 , тому потрібно знати її оцінку для збереження оптимальності декодера.

Результат роботи MAP-декодера в каналі з AWGN на кожній ітерації (рис. 5) показує значення BER, що прямує до мінімуму, який визначений Union Bound (теоретично можливою межею для зазначеного коду, коли існує безпомилкове передавання та декодування інформації), і для турбокоду ці значення максимально наближені до зазначеної межі.

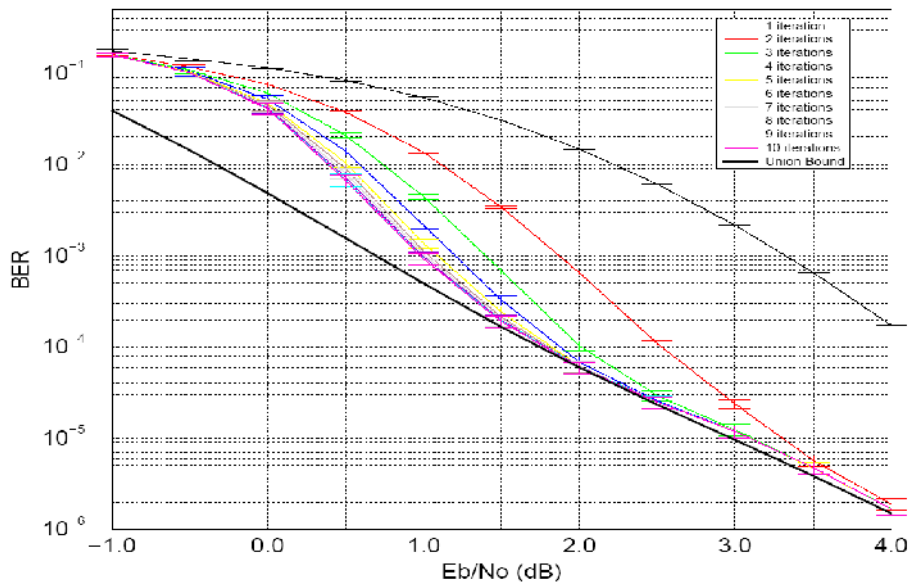


Рисунок 5 – Характеристики BER для декодування за MAP-алгоритмом

ВИСНОВКИ

Таким чином, ураховуючи складність задачі декодування та реалізації турбодекодера, визначені певні особливості, що призводять до її розв’язання. В каскадній схемі, такій як турбокод, для надійної роботи алгоритм декодування не повинен бути обмеженим поданням на декодери “жорсткої” схеми рішень. Тому для кращого використання інформації, що отримана з кожного декодера, застосовують “м’яку” схему декодування. Оптимальним є алгоритм BCJR, який формує основу для MAP-декодування турбокодів. Поданий алгоритм може бути використаний для побудови апаратно-програмних засобів декодування сигналів у системах зв’язку.

Як зазначалося раніше, турбокоди – перспективний метод роботи з інформацією, саме тому дослідження систем із застосуванням цих кодів актуальні. Таким чином, турбокоди поступово стають стандартом для кодування техніки цього тисячоліття, а можливо, й майбутнього.

SUMMARY

DECODING AND BCJR ALGORITHM IMPLEMENTATION IN CANONICAL DIGITAL INFORMATION TRANSFER SYSTEM WITH A DISCRETE GAUSSIAN CHANNEL WITHOUT MEMORY FOR TURBOCODE STANDARDIZED IN DVB-RCS

*A. Y. Kulyk, D.S Krivogubchenko, Y. Y. Ivanov,
Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa*

Considered problems, associated with modern methods of turbo-coding, promising for use in satellite networks, digital television, mobile communications. Proposed the using of generalized structure with AWGN. Displaying advantages and disadvantages of turbo codes, some principles for work with turbo codes in the satellite standard DVB-RCS and 3G networks. Considered the algorithm BCJR for Markov sources of information, that is transmitted discrete channel without memory with AWGN. Obtained a generalized expression for calculating the LLR in the MAP-decoding BCJR algorithm using probabilistic researches and energy characteristics of the transmission of information. Displaying ideas of MAP-decoder in the technique of using the computing power of technical means and proved the optimality of the algorithm.

Key words: *information, turbo-code, generalized structure for working with information, AWGN, MAP, BCJR, BER, LLR, DVB-RCS, 3G.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hanzo L. Turbo Coding, Turbo Equalisation and Space-Time Coding for Transmission over Wireless Channels / L. Hanzo, T. H. Liew, B. L. Year. – Southampton: Department of Electronics and Computer Science of UK, 2002. – 746 p.
2. Кулик А. Я. Турбокод: властивості та застосування для завадостійкого кодування / А. Я. Кулик, С. Г. Кривогубченко, Ю.Ю. Іванов // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – № 2(22). – С. 25 - 33.
3. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение: пер. с англ.; под ред. В.Б. Афанасьева / Р. Морелос-Сарагоса. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
4. Single- and Multi-Carrier CDMA. Multi-User Detection, Space-Time Spreading, Synchronisation and Standards / Hanzo L., Yang L-L., Kuan E-L., Yen K. – New York: John Wiley & Sons Inc, 2003. – 1077 p. – ISBN 0-470-86309-9.
5. Interaction Channel for Satellite Distribution Systems. Guidelines for the use of ETSI EN 301 790. ETSI TR 101 790V1.3.1 (2006-09) European Standard (Telecommunications series) [Web resource] / Digital Video Broadcasting (DVB). – Access mode: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101700_101799/101790/01.03.01_60/tr_101790v010301p.pdf.
6. Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate / L. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, J. Raviv // IEEE Transactions on Information Theory. – 1974. – V. 20. – P. 284–287.
7. Bahl, Cocke, Jelinek and Raviv (BCJR) Algorithm [Web resource] / BCJR Algorithm. – Access mode: http://www.comlab.hut.fi/opetus/311/Bahl_mod.pdf.

Надійшла до редакції 14 лютого 2012 р.