

УДК 621.391

О.І. Кушнір¹, О.В. Северінов², О.С. Жученко³¹Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків³Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

СПОСІБ ПОБУДОВИ КОДІВ ВЕЛИКОЇ ДОВЖИНИ

В роботі представлений спосіб побудови випадкових кодів великої довжини на базі рекурсивних згорточних кодів при використанні рівнобіжних каскадних кодових конструкцій типу турбокоди. Турбокод є хорошим способом побудови випадкового кода великої довжини. Головний принцип кодування турбокода – використання двох (або більш) паралельно працюючих елементарних кодерів. При цьому інформаційний блок кодується двічі, причому другий раз – після попереднього перемеження.

Ключові слова: завадостійке кодування, кодер, декодер, турбокод, згорточний код.

Вступ

У сучасних умовах вимоги до системи управління військами і зброєю істотно зросли. АСУВ повинна функціонувати із заданою якістю в умовах застосування супротивником високоточної зброї і веденням ним радіоелектронної боротьби. Основною підсистемою АСУВ, призначеною для якісної доставки передаваної інформації управління є система військового зв'язку. Однією з найважливіших вимог до якості доставки повідомлень є достовірність, під якою розуміють здатність військового зв'язку забезпечувати відтворення переданих повідомлень в пунктах прийому із заданою точністю. Правильність і своєчасність ухвалюваних командиром рішень безпосередньо залежить від достовірності зібраної їм інформації. Одним із способів забезпечення необхідної якості передаваної інформації є використання завадостійкого кодування. Вибір конкретного завадостійкого коду залежить від його коректної здатності, порівняльної складності програмно-апаратних засобів реалізації, можливості узгодження з вже існуючими системами модуляції-демоуляції. З цієї точки зору велими перспективні турбокоди – паралельні каскадні коди, утворені двома або більш становлячими згорточними кодами. Турбокодування є одним з найбільш ефективних методів підвищення достовірності передаваної інформації при низькому відношенні енергії, що доводиться на один біт (символ) передаваної інформації, E_b до спектральної щільності потужності шуму, $N_0 - E_b/N_0 < 1-3$ дБ (енергетичне відношення сигнал/шум).

Застосування турбокодів обумовлено їх позитивними властивостями [2]:

1. Зниження імовірності помилки декодування турбокодів досягається збільшенням довжини інформаційного блоку, яка не впливає на обчислювальну складність алгоритму декодування і, отже, може досягати великої величини.

2. При декодуванні турбокодів використовуються "м'які" рішення, що дозволяє підвищити імовірність правильного прийому інформації.

3. Критерієм вибору параметрів турбокодів є мінімум кількості кодових блоків з малою взаємною

відстанню при максимумі середньої відстані, що забезпечує вищу достовірність декодування, ніж критерій мінімуму максимальної відстані між кодовими блоками.

При декодуванні кодовий блок можна "розщепити" на два блоки, що дозволяє використовувати два декодери, кожен з яких виробляє декодування свого блоку. Декодована інформація з виходу першого (другого) декодера використовується як апіорна інформація для другого (першого) декодера з метою уточнення результату декодування. Ця операція повторюється кілька разів, збільшуючи на кожному кроці імовірність правильного прийому інформації.

Основний матеріал

Принцип побудови кодера турбокода. Кодер турбокода приведений на рис. 1 [3].

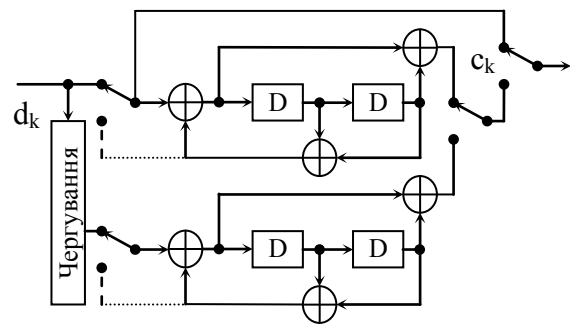


Рис. 1. Кодер турбокода

Із структури кодера видно, що турбокод є систематичним кодом, в якому перевірна група утворюється з перевірочних бітів (c_k), що генеруються двома кодерами складових рекурсивних згорточних кодів (РСК), причому послідовність інформаційних біт (d_k) подається в кодер першого РСК безпосередньо, а в кодер другого РСК через пристрій псевдовипадкового перемеження. Для регулювання загальної швидкості турбокода застосовується схема виколювання перевірочних біт.

Якщо при подачі певної інформаційної послідовності на вхід першого РСК вага його перевірконої послідовності виявляється малою, то переважаюча версія цієї інформаційної послідовності, що подається на вхід другого РСК, з високою імовірністю приведе до генерації перевірконої послідовності великої ваги через вказану вище властивість РСК.

Таким чином, якщо яка-небудь комбінація помилок не може бути виправлена одним РСК, то це майже напевно буде зроблено за допомогою перевірконої групи іншого РСК і навпаки. Використання у складі турбокода нерекурсивних згорткових кодів з такою ж коректуючою здатністю дає вигоду від кодування набагато менше. Це відбувається тому, що вага вихідної послідовності згорткових кодів в нерекурсивній формі слабо залежить від виду вхідної інформаційної послідовності, оскільки рекурсивний згортковий код має необмежену реакцію при дії на його вхід одиничного біта [1]. На рис. 2, а представлений рекурсивний згортковий кодер, на рис. 2, б – нерекурсивний згортковий кодер. З рисунка видно, що їх відмінність полягає в наявності зворотного зв'язку у рекурсивного згорткового кодера.

Принцип побудови декодера турбокода. Ітеративний декодер [4] (рис. 3) утворений послідовним з'єднанням декодерів двох елементарних код (РСД1 і РСД2) з м'яким вхідним і м'яким вихідним рішенням (МВМВ). На вхід кожного елементарного декодера подається м'яке рішення демодулятора (x_k ,

u_k) і зовнішня інформація (z_k), що отримується від декодера іншого елементарного кода.

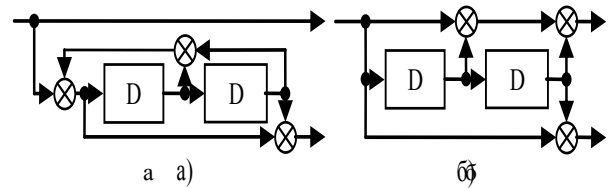


Рис. 2. Рекурсивний і не рекурсивний згорткові кодера з $R=1/2$

Істотним є те, що зовнішня інформація про кожен інформаційний біт виробляється декодером елементарного кода з використанням відомостей про інформаційні символи, що містяться тільки в перевірконій групі даного складного кода. Таким чином, зовнішня інформація виявляється некорельованою з м'якими рішеннями, вироблюваними демодулятором по кожному інформаційному біту і з інформацією про передавані інформаційні символи, що містяться в перевірконій групі іншого елементарного кода (якщо м'які рішення, вироблювані демодулятором по кожному біту, є статистично незалежними випадковими величинами). Це дозволяє використовувати зовнішню інформацію кожного елементарного кода як апіорні відомості про передавані інформаційні символи в процесі декодування в іншому елементарному декодері, що підвищує достовірність декодування.

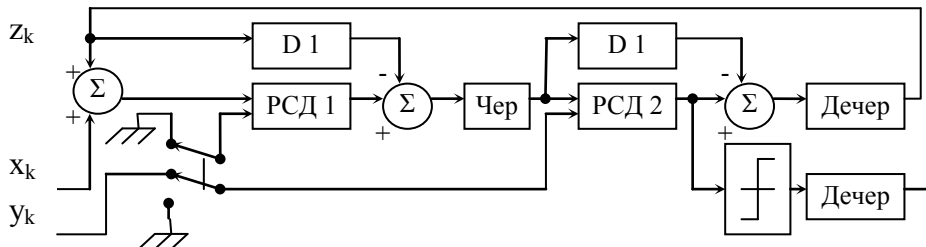


Рис. 3. Декодер турбокода

В процесі декодування турбокода елементарні декодери МВМВ обмінюються один з одним зовнішньою інформацією, з кожною ітерацією знижуючи середню імовірність помилки на біт в декодованій інформаційній послідовності (одна ітерація включає декодування РСД1 і РСД2). Проте величина імовірності помилки на біт, із збільшенням кількості ітерацій, прагне до певної межі. Остаточне (жорстке) рішення про передаванні інформаційні біти ухвалюється після завершення останньої ітерації РСД2.

Приклад турбокода. Турбокод, ефективність ітеративного алгоритму декодування якого наочно відображає рис. 4, має наступні параметри: кількість інформаційних символів $k=1000$, швидкість коду $r=1/3$. Висока ефективність турбокоду при малій величині E_b/N_0 і зниження ефективності при її збільшенні пояснюються принципом, згідно якому основним критерієм при виборі параметрів кодера є мінімізація числа кодових слів з малою взаємною відстанню, в протиле-

жність принципу максимуму мінімальної відстані d_{min} між кодовими словами. Тому при малій величині E_b/N_0 турбокод виявляється ефективним, проте із зростанням E_b/N_0 приріст ефективності сповільнюється.

Слід звернути увагу на зменшення ефективності ітеративного декодування із збільшенням числа ітерацій із зростанням величини E_b/N_0 – чим більше ця величина, тим менше потрібний ітерацій при декодуванні.

Висновки

Отже, одним із способів побудови випадкових кодів великої довжини є використання турбокодів на базі рекурсивних згорткових кодів. Турбокод є хорошим способом побудови випадкового кода великої довжини. Головний принцип кодування турбокода – використання двох (або більш) паралельно працюючих елементарних кодерів. При цьому інформаційний блок кодується двічі, причому другий раз – після попереднього перемеження.

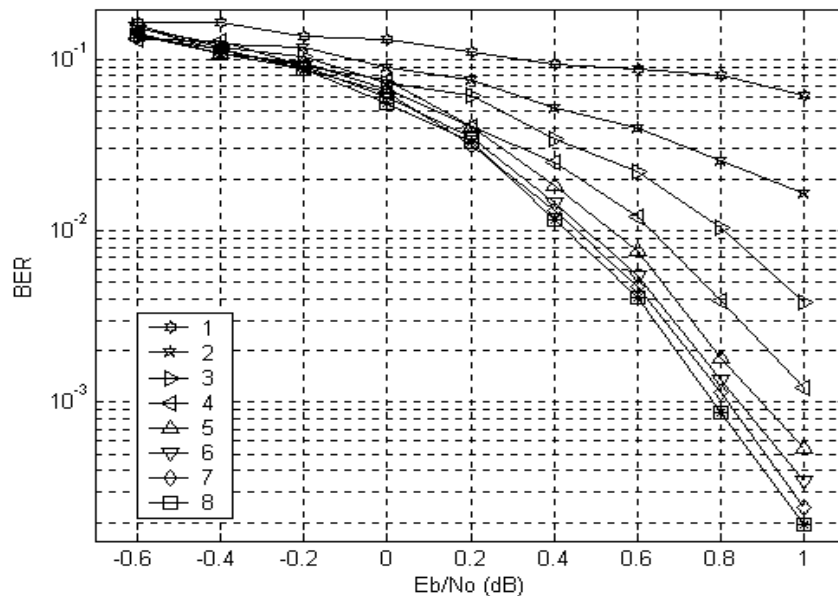


Рис. 4. Залежність імовірності помилкового прийому біта (BER) від відношення енергії сигналу, що доводиться на один інформаційний біт, E_b , до спектральної щільності потужності шуму N_0 при двійковій фазовій модуляції сигналу для різного числа ітерацій

Застосування рекурсивних згорткових кодів, що становлять турбокод, сумісне з процедурою перемешивання дозволяє забезпечити малу кількість кодів слів мінімальної відстані шляхом вибору структури перемешувача. При цьому ефективність кодування зростає із збільшенням довжини інформаційної послідовності.

Зважаючи на високу імовірність правильного прийому інформації і достатню високу швидкість передачі даних, турбокоди доцільно використовувати в сучасних системах зв'язку.

Список літератури

1. Andersen J.D. Selection of component codes for turbo coding based on convergence properties // *Annales des Telecommunications*. – Special issue on turbo codes, march-april 1999. – Vol. 54, No 3-4. – P. 125-150.

2. Berrou C., Glavieux A., Thitimajshima P. Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes // *Proc. of ICC 93, Geneva, Switzerland*. – May, 1993. – P. 1064-1070.

3. Berrou C., Glavieux A. Near Optimum Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes // *IEEE Trans. On Comm.* – October 1996. – Vol. 44, No. 10, – P. 88-102.

4. Hagenauer J., Offer E., Papke L. Iterative decoding of binary block and convolutional codes // *IEEE Trans. Inform. Theory*. – Mar. 1996. – Vol. 42, no. 2. – P. 429-445.

Надійшла до редколегії 3.03.2008

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. С.В. Смеляков, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ КОДОВ БОЛЬШОЙ ДЛИНЫ

А.И. Кушнир, А.В. Северинов, А.С. Жученко

В работе представлен способ построения случайных кодов большой длины на базе рекурсивных сверточных кодов при использовании параллельных каскадных кодовых конструкций типа турбокоды. Турбокод является хорошим способом построения случайного кода большой длины. Главный принцип кодировки турбокода – использование двух (или более) параллельно работающих элементарных кодеров. При этом информационный блок кодируется дважды, причем второй раз – после предыдущей перестановки.

Ключевые слова: помехоустойчивая кодировка, кодер, декодер, турбокод, сверточный код.

METHOD OF CONSTRUCTION OF KODAS OF LARGE LENGTH

A.I. Kushnir, A.V. Severinov, A.S. Zhuchenko

The way of construction of casual codes of the big length is submitted on the basis of recursive convolution codes at use of parallel cascade code designs of type turbo codes. Turbokod is the good method of construction of casual code of large length. Main principle of code of turbokodis the use of two (or more) parallel workings elementary coder. Thus an informative block is encoded twice, thus the second time – after previous transposition.

Keywords: antijamming code, кодер, декодер, турбокод, convolutional code.