

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Жученко Олександр Сергійович

УДК 621.391

**МЕТОД ІТЕРАТИВНОГО ДЕКОДУВАННЯ ТУРБОКОДІВ ЗМЕНШЕНОЇ
СКЛАДНОСТІ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків – 2006

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському університеті Повітряних Сил Міністерство Оборони України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Приходько Сергій Іванович, Харківський університет Повітряних Сил, начальник кафедри «Комп'ютерні системи»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Краснобаєв Віктор Анатолійович, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерні технології»;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Снісаренко Андрій Георгійович**, Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, м. Харків, начальник науково-дослідного управління.

Провідна установа:

Харківський національний університет радіоелектроніки, кафедра «Телекомунікаційні системи», Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Захист відбудеться «_____» _____ 2006 року о ____ годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 Українській державній академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, вул. Фейєрбаха 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, вул. Фейєрбаха 7.

Автореферат розісланий «_____» _____ 2006 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради _____ М.В. Книгавко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток і впровадження інформаційних технологій управління є необхідною умовою науково-технічного прогресу суспільства. Україна, яка є частиною світової суспільно-економічної системи, також реалізує програму загальної інформатизації. Згідно Концепції створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами створення Державної інтегрованої інформаційної системи дозволить на новому якісному рівні вирішити задачу інформаційного забезпечення вантажних перевезень, забезпечити взаємний обмін інформацією про місце розташування транспортних засобів і цілісність вантажу. Це приведе до зниження економічних витрат, значного скорочення простоїв транспортних засобів, підвищення рентабельності вантажних перевезень і т.д.

У зв'язку зі збільшенням вимог до ефективності процесів управління, постійним ростом об'єму й швидкості передачі інформації (дискретних повідомлень) істотно зросли вимоги й до вірогідності інформації, що передається (імовірність помилки не вище $10^{-6} \div 10^{-9}$). Розробка й реалізація у вітчизняному виробництві методів і технічних засобів підвищення вірогідності інформації, що передається, є одним з першочергових напрямків Концепції розвитку зв'язку в Україні. Областю реалізації методів і технічних засобів підвищення вірогідності інформації, що передається, є телекомунікаційні підсистеми Державної інтегрованої інформаційної системи, підсистеми зв'язку військового й урядового призначення, телекомунікаційні системи спеціального призначення.

Одним з найбільш ефективних методів підвищення вірогідності інформації, що передається, є завадостійке кодування. При високих вимогах до вірогідності й низькому енергетичному відношенні сигнал/шум, наприклад, у системах мобільного й супутникового зв'язку, доцільне застосування каскадних кодів, які на відміну від інших кодів, забезпечують високу ефективність кодування при меншій складності реалізації декодера. Особливістю каскадних схем кодування є кодування (декодування) інформації декількома складовими кодерами (декодерами).

В 1993 році був запропонований новий клас каскадних кодів – турбокоди. У цей час прийняті стандарти на використання турбокодів у системах супутникового зв'язку, телеметрії, цифрового супутникового телебачення й радіомовлення, системах мобільного зв'язку третього покоління.

На відміну від відомих послідовних каскадних кодів, турбокоди, що є паралельними каскадними кодами, дозволяють для їхнього декодування застосовувати процедуру ітеративного декодування. При цьому виявляється можливою передача інформації при енергетичному відношенні сигнал/шум близьким до гранично можливого значення, обумовленого теоремою Шеннона, оскільки характеристики ітеративного турбодекодера близькі до декодера максимальної правдоподібності. Тому використання турбокодування інформації, що

передається, є одним з перспективних напрямків.

Недоліком методу ітеративного декодування турбокодів є його висока складність, що приводить до зниження швидкості обробки інформації за рахунок збільшення кількості операцій декодування, що приходяться на один інформаційний символ (складності декодування), і збільшенню об'єму пам'яті турбодекодера, що підвищує витрати на його реалізацію. Виникає протиріччя між зростаючими вимогами до вірогідності інформації, що передається, й можливостями сучасної мікроелектроніки при реалізації методу ітеративного декодування турбокодів. Виникає проблемна ситуація, коли існуючий метод ітеративного декодування турбокодів не задовольняє висунутим до нього вимогам. Необхідна наукова розробка, реалізація якої дозволить розв'язати виявлене протиріччя й усунути проблемну ситуацію.

Актуальність теми дисертаційних досліджень обумовлюється необхідністю забезпечення заданої вірогідності інформації, що передається, при зменшенні складності декодування й об'єму пам'яті ітеративного турбодекодера на основі розробки методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводилися у відповідності з наступними нормативними актами.

1. Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р. N 75/98-ВР.

2. Концепція розвитку зв'язку України до 2010 року, затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про Концепцію розвитку зв'язку України до 2010 року» від 9 грудня 1999 р. №2238.

3. Концепція створення Державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження), схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 липня 2003 р. N 410-р.

4. Концепція наукової роботи в Збройних Силах України, затверджена наказом Міністра оборони України №154 від 07.05.97 р.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є зменшення складності методу ітеративного декодування турбокодів із забезпеченням заданої вірогідності інформації, що передається, в телекомунікаційних системах. Відповідно до мети роботи необхідно вирішити **наукове завдання**, що полягає в розробці методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності на основі комбінування алгоритмів декодування складових декодерів, введення процедури контролю якості декодування й зміни структури перемешувача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **часткові завдання**.

1. Розробити модифікований метод ітеративного декодування турбокодів зі зменшеною складністю декодування на основі комбінування складових декодерів

ітеративного турбодекодера з різними алгоритмами декодування.

2. Розробити метод оцінки дисперсії шуму каналу, що дозволяє ввести в турбодекодер контроль якості ітеративного декодування без збільшення складності апаратної реалізації турбодекодера для зменшення складності декодування.

3. Розробити метод формування структури перемешувача для перемешення послідовностей різної довжини, що дозволяє зменшити об'єм пам'яті кодека турбокодів.

4. Розробити програмну реалізацію й експериментально оцінити ефективність методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності; оцінити ефективність каскадної схеми кодування – турбокод і код Рида-Соломона; розробити алгоритм вибору параметрів кодів Рида-Соломона при використанні турбокодів у послідовних каскадних кодових конструкціях; розробити практичні рекомендації з використання методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності в телекомунікаційних системах.

Об'єкт дослідження. Процес декодування турбокодів у телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження. Метод ітеративного декодування турбокодів.

Методи дослідження. Дослідження властивостей турбокодів проведено з використанням методів теорії ймовірностей, комбінаторики, теорії множин, теорії кодування. Розробка методу ітеративного декодування турбокодів і методу формування структури перемешувача проводилася з використанням методів теорії ймовірностей і теорії множин. Оцінка енергетичної ефективності турбокодів проведена з використанням методів статистичної теорії зв'язку, теорії ймовірностей і математичної статистики.

Наукова новизна положень, розроблених особисто здобувачем. У ході рішення поставлених задач були отримані наступні результати.

1. **Одержав подальший розвиток** метод ітеративного декодування турбокодів, що відрізняється від відомого застосуванням процедури комбінування складових декодерів турбодекодера з різними алгоритмами декодування та дозволяє зменшити складність декодування при незначному збільшенні ймовірності помилки.

2. **Одержав подальший розвиток** метод оцінки дисперсії шуму каналу, що відрізняється від відомих урахуванням оцінки дисперсії м'яких рішень турбодекодера та дозволяє ввести в турбодекодер контроль якості ітеративного декодування без збільшення складності апаратної реалізації турбодекодера для зменшення складності декодування.

3. **Вперше отримано** аналітичний вираз для оцінки коефіцієнтів кореляції м'яких рішень ітеративного турбодекодера на другій ітерації, використання якого дозволяє підвищити точність оцінки впливу структури перемешувача на ефективність ітеративного декодування турбокодів. Удосконалено метод формування структури перемешувача для перемешення послідовностей різної довжини, що мінімізує кореляцію м'яких рішень турбодекодера й відрізняється від

відомого відсутністю обмеження на значення довжини послідовностей, що перемежують, та дозволяє зменшити складність методу ітеративного декодування турбокодів за рахунок зменшення об'єму пам'яті, необхідного для перемеження послідовностей різної довжини.

Практичне значення отриманих результатів досліджень полягає в наступному.

1. Розроблено програмну реалізацію методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності, що дозволяє зменшити складність декодування залежно від відношення сигнал/шум каналу в $2,0 \div 3,9$ рази й зменшити об'єм пам'яті, необхідний для реалізації перемеження послідовностей різної довжини, в $2 \div 5$ разів при незначному збільшенні ймовірності помилки.

2. Розроблені практичні рекомендації з використання методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності в телекомунікаційних системах. Застосування турбокодів дозволяє отримати енергетичний вигравш від кодування $6 \div 8$ дБ при значенні ймовірності помилки 10^{-5} . Розроблено алгоритм вибору параметрів кодів Рида-Соломона при використанні турбокодів у послідовних каскадних кодових конструкціях. Використання турбокодів у складі каскадних кодів разом з кодами Рида-Соломона дозволяє отримати енергетичний вигравш від кодування $9 \div 11$ дБ при значенні ймовірності помилки 10^{-9} .

3. Отримані результати використані в науково-дослідних роботах «Мрія», «Алгоритм» (Харківський університет Повітряних Сил, акт реалізації від 10.09.2005), «Інтеграція-А» (Харківський національний університет радіоелектроніки, акт реалізації від 21.09.2005), на виробництві при розробці апаратури передачі даних у НТ СКБ «Полісвіт» (акт реалізації від 06.10.2005) і в навчальному процесі Харківського університету Повітряних Сил (акт реалізації від 10.09.2005).

Особистий вклад здобувача. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 7 наукових статтях, опублікованих у наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України. У наукових статтях, що опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: у роботі [1] проведено аналіз принципів побудовання ітеративного декодера турбокодів; у роботі [2] запропонована процедура комбінування складових декодерів з різними алгоритмами декодування; у роботі [3] на основі аналізу числових характеристик логарифму відношення правдоподібності MAP декодера виявлена залежність дисперсії м'яких рішень MAP декодера від дисперсії шуму каналу; у роботі [4] запропоновано метод оцінки дисперсії шуму каналу на основі відомої залежності дисперсії м'яких рішень MAP декодера від дисперсії шуму каналу; у роботі [7] запропоновано алгебраїчний підхід при розробці метода формування структури перемежувача кодека турбокода для перемеження послідовностей різної довжини, розроблено алгоритм формування структури перемежувача.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися й були схвалені на наступних науково-технічних конференціях:

- IV наукова конференція молодих вчених Харківського військового університету (Харків, 2004);
- 8 Міжнародний форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харків, 2004);
- Перша науково-технічна конференція Харківського університету Повітряних Сил (Харків, 2005);
- Перша міжнародна наукова конференція „Теорія та методи обробки сигналів” (Київ, 2005);
- 18 міжнародна науково-практична конференція „Перспективні системи управління на залізничному, промисловому й міському транспорті” (Алушта, 2005).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 7 наукових статтях, 5 тезах доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку та додатків. Повний обсяг дисертації складає 201 сторінки, у тому числі 4 додатка на 28 сторінках, 68 рисунків, 8 таблиць, перелік використаних літературних джерел складається з 127 найменувань на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми, формулюється мета дисертаційної роботи, вказується наукова новизна, практичне значення та впровадження отриманих результатів.

У **першому розділі** на підставі аналізу літературних джерел, відомих теоретичних положень обговорюються шляхи підвищення вірогідності інформації, що передається, в телекомунікаційних системах, формулюються завдання дослідження.

Одним з найбільш ефективних методів підвищення вірогідності інформації, що передається, при низькому енергетичному відношенні сигнал/шум є турбокодування інформації. Турбокод являє собою паралельний каскадний код, утворений двома або більше складовими кодами (найчастіше рекурсивними згортковими кодами). Схема турбокодера з двома складовими кодерами представлена на рис. 1а.

Турбокоди дозволяють для їхнього декодування використовувати процедуру ітеративного декодування. Тому, на відміну від декодера каскадного коду, у якому складові декодери приймають незалежні рішення, складові декодери ітеративного турбокодера обмінюються м'якими рішеннями з метою уточнення результату декодування, як показано на рис. 1б. У цьому випадку під м'якими рішеннями розуміється відношення апостеріорних ймовірностей інформаційних символів (відношення правдоподібності) або його логарифм (логарифм відношення правдоподібності). Подібний обмін м'якими рішеннями між декодерами назвемо ітерацією. Остаточне (жорстке) рішення турбокодером приймається після деякої кількості ітерацій з використанням прийнятої інформаційної послідовності та м'яких рішень складових декодерів (див. рис. 1б).

Для оцінки ефективності телекомунікаційної системи були вибрані коефіцієнти β й γ , що визначають енергетичну й частотну ефективність: $\beta = R_{\text{инф}} / q_0$; $\gamma = R_{\text{инф}} / F$, де $R_{\text{инф}}$ – швидкість передачі інформації; q_0 – відношення сигнал/шум, $q_0 = P_c / N_0$, P_c – потужність сигналу, N_0 – спектральна щільність потужності шуму; F – смуга частот каналу. При використанні завадостійкого кодування та двійкової фазової маніпуляції (ФМ) коефіцієнти β й γ приймають вид: $\beta = (E_b / N_0)^{-1}$; $\gamma = 2R$, де E_b – енергія, що приходить на один біт (символ) інформації; R – відносна швидкість кодування.

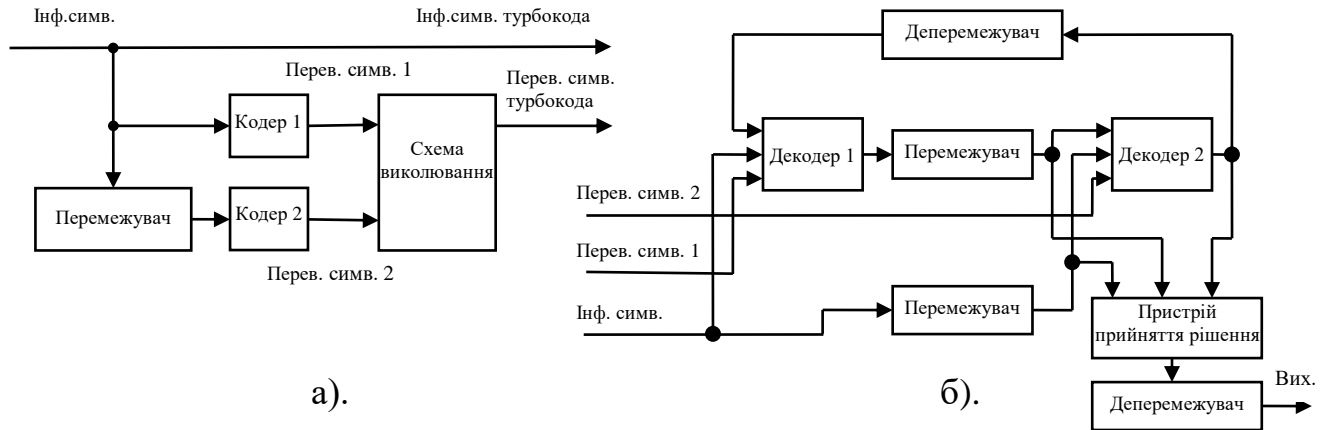


Рис. 1. Схема турбокодера та ітеративного турбодекодера

Узагальненим показником ефективності доцільно вибрати коефіцієнт використання пропускної спроможності каналу (інформаційну ефективність), який для каналу з адитивним білим гауссовським шумом (АБГШ) має вигляд: $\eta = R/C = \gamma / \log(\gamma / \beta + 1)$, де C – пропускна спроможність каналу.

Для порівняння показників ефективності системи з кодуванням і без нього визначимо енергетичний вигравш від кодування (ЕВК): $\Delta\beta = \beta / \beta_{\text{ст}}$, де β – енергетична ефективність обраної системи; $\beta_{\text{ст}}$ – енергетична ефективність еталонної системи.

При проведенні аналізу ефективності на основі узагальненого показника ефективності виберемо найбільш доцільний варіант системи виходячи із принципу мінімуму витрат, під якими будемо вважати складність декодування S , оскільки вона є основним обмежуючим фактором застосування турбокодів, наступним чином:

$$S_{\min} = \min_{x \in X} S(x),$$

$$\eta(x) \in \eta', P \leq P_{\text{зад}},$$

де η' – припустима область зміни інформаційної ефективності; $P_{\text{зад}}$ – припустиме (задане) значення ймовірності помилки.

Із проведеного аналізу відомих алгоритмів м'якого декодування згорткових кодів (MAP (maximum a posteriori probability), log-MAP, min-log-MAP і SOVA (soft output Viterbi algorithm)) впливає, що використання субоптимальних складових

декодерів з однаковими алгоритмами декодування (min-log-MAP, SOVA) не дозволяє зменшити складність декодування при збереженні низького значення ймовірності помилки.

При проведенні аналізу алгоритмів м'якого декодування передбачалося, що дисперсія шуму каналу точно відома. Однак у реальних умовах вона повинна бути оцінена по прийнятій послідовності символів з каналу. Із проведеного дослідження впливу відхилення оцінки дисперсії шуму каналу від істинного значення на ймовірність помилки декодування випливає, що оцінка дисперсії шуму каналу необхідна тільки для MAP або log-MAP декодерів, причому до точності оцінки не пред'являється високих вимог, що дозволяє використовувати субоптимальні методи оцінки дисперсії шуму каналу, які мають низьку обчислювальну складність.

Турбодекодер здійснює декодування одного кодового блоку за деяку кількість ітерацій для досягнення заданої якості декодування. З ростом кількості ітерацій ймовірність помилки зменшується до деякого граничного значення, а складність декодування збільшується. Із проведеного аналізу методів зупини процесу ітеративного декодування випливає, що при фіксованій кількості ітерацій спрощується апаратна реалізація турбодекодера. Вибір змінного числа ітерацій з контролем якості ітеративного декодування дозволяє значно знизити складність декодування, однак приводить до ускладнення апаратної реалізації турбодекодера за рахунок необхідності введення додаткового блоку оцінки якості декодування. Таким чином, введення додаткових блоків оцінки дисперсії шуму каналу і якості ітеративного декодування ускладнює апаратну реалізацію ітеративного турбодекодера.

Перемежувач є одним із ключових елементів кодека турбокоду. Перемежувач переставляє (перемежує) символи в послідовності деяким детермінованим образом. Деперемежувач здійснює зворотну перестановку й відновлює вихідний порядок символів. Якщо в телекомунікаційних системах передбачається передача інформації блоками різної довжини, то при цьому необхідно для кожної довжини блоку мати окремі перемежувачі й деперемежувачі, що приводить до збільшення об'єму пам'яті, необхідного для реалізації перемеження.

На основі проведеного аналізу, відповідно до мети дисертаційної роботи, були сформульовані завдання дослідження.

Другий розділ присвячений розробці модифікованого методу ітеративного декодування турбокодів та методу оцінки дисперсії шуму каналу для ітеративного турбодекодера з контролем якості декодування.

Проведений аналіз показав, що використання в турбодекодері тільки субоптимальних складових декодерів (min-log-MAP, SOVA) хоча й дозволяє зменшити складність декодування, але приводить до збільшення ймовірності помилки декодування. Відомо, що для поліпшення характеристик SOVA декодера його м'які рішення L_k^{SOVA} необхідно помножити на коефіцієнт $A \leq 1$, який залежить від середнього значення й дисперсії м'яких рішень: $L_k = AL_k^{SOVA}$, де $A = 2\mu_L / \sigma_L^2$, μ_L ,

σ_L^2 – середнє значення й дисперсія м'яких рішень SOVA декодера, L_k – логарифм відношення правдоподібності SOVA декодера. Однак з метою зменшення складності декодування можливе використання постійного значення цього коефіцієнта, що дозволяє поліпшити характеристики SOVA декодера при збереженні низької складності декодування. Це підтверджують результати моделювання для каналу з АБГШ та двійковою ФМ, представлені на рис. 2а.

Суть розробленого методу полягає в застосуванні різних складових декодерів у турбодекодері - log-MAP і SOVA, причому м'які рішення SOVA декодера помножуються на постійний коефіцієнт $A \leq 1$. Крім того, для однакового використання виправляючої здатності складових кодів на кожній ітерації змінюється алгоритм декодування складових кодів.

Результати оцінки складності декодування (кількість операцій/біт) для 8 ітерацій та $\nu = 2$, де ν – кількість елементів пам'яті складових згорткових кодерів турбокодера: $S_{ТД \log-MAP} = 1578$, $S_{ТД \min-log-MAP} = 1162$, $S_{ТД SOVA} = 666$, $S_{ТД мод} = 1122$. Із аналізу результатів моделювання турбодекодера для каналу з АБГШ та двійковою ФМ, представлених на рис. 2б, випливає, що модифікований турбодекодер має близьке до турбодекодера з log-MAP складовими декодерами значення ймовірності помилки декодування.

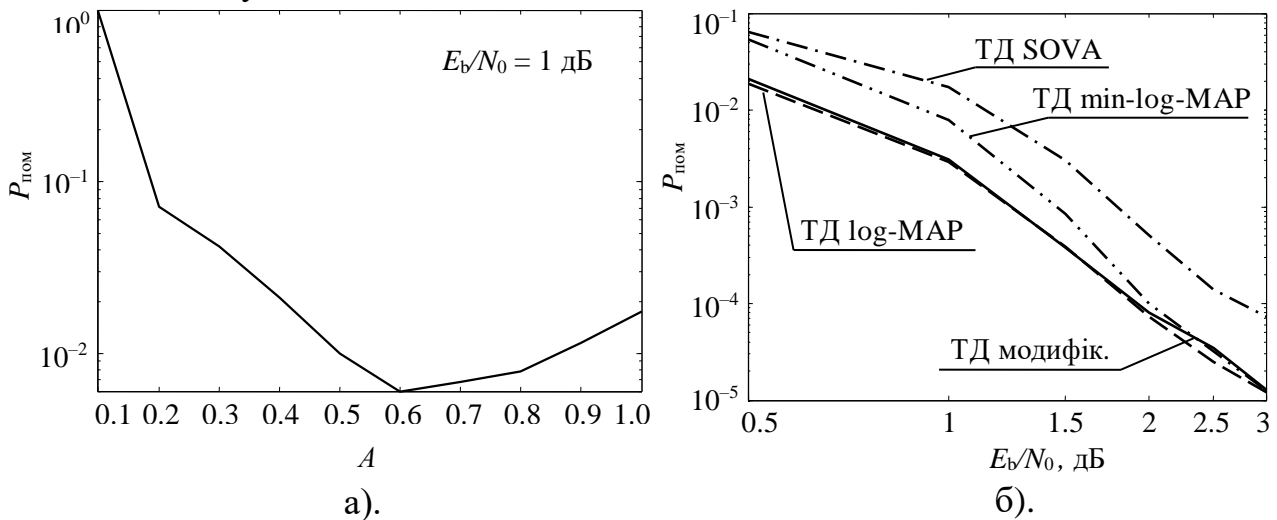


Рис. 2. Залежність $P_{\text{пом}}$ від коефіцієнта A та E_b / N_0 для модифікованого турбодекодера

Таким чином, модифікований метод ітеративного декодування турбокодів дозволяє зменшити на 30 % складність декодування з незначним збільшенням імовірності помилки декодування.

При проведенні дослідження числових характеристик м'яких рішень log-MAP і min-log-MAP декодерів був визначений зв'язок дисперсії шуму каналу з дисперсією м'яких рішень декодерів, що визначається наступними виразами. Для min-log-MAP декодера:

$$\sigma^2 \approx \sigma_L^2 / 4; \quad (1)$$

для log-MAP декодера:

$$\sigma^2 \approx \sigma_L^2 / 2, \quad (2)$$

де σ^2 – дисперсія шуму каналу; σ_L^2 – дисперсія м'яких рішень.

Суть розробленого методу полягає в непрямій оцінці дисперсії шуму каналу на підставі оцінки дисперсії м'яких рішень складового декодера на першій ітерації з використанням (1) або (2). Це дозволяє ввести в турбодекодер контроль якості декодування без збільшення складності апаратної реалізації турбодекодера й приведе в середньому до зменшення кількості ітерацій, необхідних для одержання заданої якості декодування одного кодового блоку. Проведені дослідження показали, що доцільно вибрати як критерій якості ітеративного декодування середнє значення м'яких рішень μ_L , що має найменшу обчислювальну складність в порівнянні з іншими критеріями.

Алгоритм оцінки дисперсії шуму каналу турбодекодера з контролем якості декодування полягає в наступному.

1. Нехай $L_c = 2/\sigma^2$. Перед початком декодування встановлюється $L_c = 1$.

2. На першій ітерації здійснюється декодування першим декодером з використанням min-log-MAP алгоритму.

3. Визначається дисперсія м'яких рішень для j -го блоку $\hat{\sigma}_{L_j}^2$ на виході першого складового декодера:

$$\hat{\sigma}_{L_j}^2 = M\{L_j^2\} - \hat{\mu}_{L_j}^2,$$

де

$$\hat{\mu}_{L_j} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{d}_{k,j} L_{k,j}, \quad M\{L_j^2\} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (L_{k,j})^2;$$

$L_{k,j}$ – м'яке рішення для k -го символу в j -му блоці, $\hat{d}_{k,j}$ – жорстке рішення для k -го символу в j -му блоці, N – кількість інформаційних символів в блоці.

4. Визначається \hat{L}_c :

$$\hat{L}_{c,j} \approx \frac{8}{\hat{\sigma}_{L_j}^2}.$$

5. На всіх наступних ітераціях перший декодер здійснює декодування з використанням log-MAP алгоритму й отриманого значення \hat{L}_c .

Схема ітеративного турбодекодера з контролем якості декодування й оцінкою дисперсії шуму каналу представлена на рис. 3. Оцінка L_c здійснюється після закінчення декодування декодера 1 під час першої ітерації. Після закінчення кожної ітерації здійснюється контроль якості декодування, шляхом порівняння $\hat{\mu}_{L_j}$ із заданим значенням.

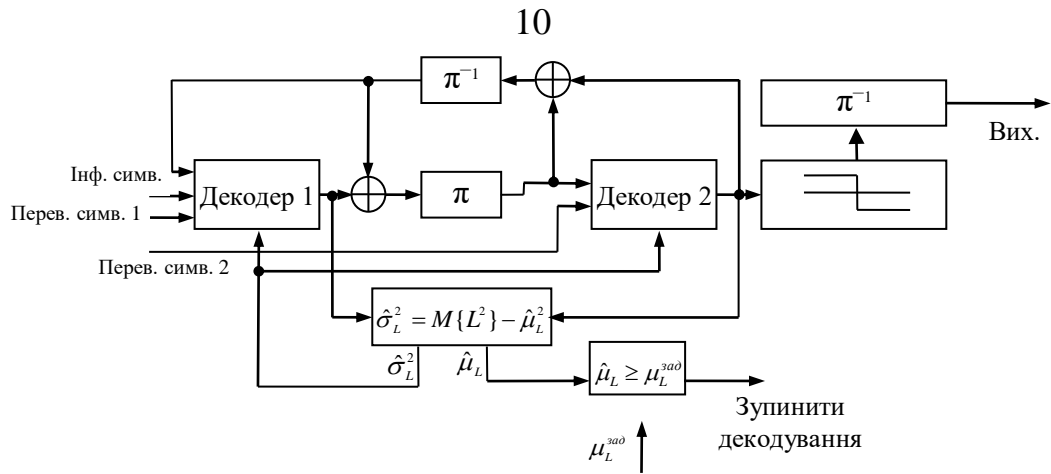


Рис. 3. Схема ітеративного турбодекодера з контролем якості декодування й оцінкою дисперсії шуму каналу

Таким чином, розроблений метод оцінки дисперсії шуму каналу дозволяє зменшити складність апаратної реалізації турбодекодера з контролем якості декодування за рахунок використання блоку оцінки дисперсії м'яких рішень як для оцінки якості декодування, так і для оцінки дисперсії шуму каналу (див. рис. 3). Введення в ітеративний турбодекодер контролю якості декодування дозволяє зменшити складність декодування в $1,6 \div 3,0$ рази за рахунок зменшення кількості ітерацій. Недоліком розробленого методу оцінки дисперсії шуму каналу є збільшення ймовірності помилки декодування при $E_b / N_0 < 1,3$ дБ.

Третій розділ присвячений розробці методу формування структури перемешувача для перемешення послідовностей різної довжини.

Характеристики ітеративного турбодекодера значною мірою залежать від кореляції м'яких рішень, якими обмінюються складові декодери. На коефіцієнт кореляції впливає структура перемешувача (під структурою перемешувача будемо розуміти сукупність зв'язків елементів вхідної й перемешеної послідовностей). У результаті, від вибору структури перемешувача залежить ефективність ітеративного декодування турбокодів. Таким чином, виникає задача оцінки впливу структури перемешувача на ефективність ітеративного декодування турбокодів.

Структуру перемешувача будемо задавати вектором π , а деперемешувача – вектором π^{-1} . Операцію перемешення представимо в такий спосіб: $x_{\pi(m)} = \tilde{x}_m$, де $x_{\pi(m)}$ – $\pi(m)$ -й елемент вхідної послідовності; \tilde{x}_m – m -й елемент перемешеної послідовності. Операція деперемешення, зворотна перемешенню, має вигляд: $\tilde{x}_{\pi^{-1}(m)} = x_m$.

Кожна ітерація складається із двох фаз. У першій фазі ітерації декодування здійснюється першим декодером. У другій фазі ітерації декодування здійснюється другим декодером з урахуванням м'яких рішень першого декодера.

Апроксимація для коефіцієнта кореляції k -го м'якого рішення (м'яке рішення для інформаційного символу d_k) на першій ітерації другої фази декодування з j -м прийнятим інформаційним символом визначається як

$$\hat{\rho}_{k,j}^{(2)}(1) = \frac{1}{2} a \exp\{-c|\pi^{-1}(j) - k|\} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^N a^2 \exp\{-c(|\pi(m) - j| + |k - m|)\}, \quad (3)$$

де $\pi^{-1}(j) \neq k$, $m \neq k$, $\pi(m) \neq j$, $k, j = 1, 2, \dots, N$. Коефіцієнти a й c залежать від обраних складових кодів і можуть бути оцінені експериментально.

Використання для одержання оцінки тільки виразу (3) приводить до зменшення точності оцінки, оскільки не враховується вплив деперемежувача на ефективність ітеративного декодування. Тому на основі відомої схеми ітеративного турбодекодера для першої ітерації була розроблена схема ітеративного турбодекодера для другої ітерації, що враховує як перемережувач, так і деперемережувач, на основі якої була отримана апроксимація для коефіцієнтів кореляції м'яких рішень із прийнятими інформаційними символами на другій ітерації другої фази декодування:

$$\hat{\rho}_{k,j}^{(2)}(2) = \sum_{b=1}^N \hat{\rho}_{\pi^{-1}(b),j}^{(2)}(1) \cdot \hat{\rho}_{k,b}^{(2)}(1). \quad (4)$$

Оцінка впливу структури перемережувача на ефективність ітеративного декодування визначається як $IDS = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N V_k''$, де $V_k'' = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\rho_{k,j}^{(2)}(2) - \overline{\rho_{k,j}^{(2)}(2)})^2$.

З аналізу результатів моделювання випливає, що перемережувач, який забезпечує менше значення ймовірності помилки, має менше значення оцінки IDS . Результати моделювання підтвердили, що оцінка впливу структури перемережувача на ефективність ітеративного декодування, що отримана з використанням (3) і (4) більш точна, чим оцінка, отримана з використанням тільки виразу (3). Це дозволяє провести порівняльну оцінку й вибір перемережувачів з різною структурою за критерієм мінімуму ймовірності помилкового декодування без проведення моделювання, яке вимагає великих часових витрат.

Якщо в телекомунікаційній системі передбачається передача інформації блоками різної довжини, то це приводить до збільшення об'єму пам'яті, оскільки для кожної довжини блоку необхідно мати окремі перемережувачі й деперемережувачі. З метою зменшення об'єму пам'яті був розроблений метод формування структури перемережувача, що дозволяє здійснювати перемереження послідовностей різної довжини.

Суть розробленого методу полягає в тому, що множина позицій вхідної й перемереженої послідовностей розбиваються на попарно непересічні класи, елементи яких задовольняють деякому відношенню еквівалентності. Причому кількість класів еквівалентності відповідає кількості послідовностей різних довжин, а довжини послідовностей визначаються кількістю елементів одного або декількох класів еквівалентності. Тому структура перемережувача може визначатися одним або декількома класами еквівалентності. Таким чином, вибираючи відповідне відношення еквівалентності, можливе формування структури перемережувача, що забезпечує перемереження послідовностей необхідної довжини. Формування елементів перемережувача, необхідних для перемереження послідовності більшої

довжини здійснюється з урахуванням елементів, необхідних для перемезження послідовності меншої довжини.

Нехай $N_k, k=1, \dots, K$ – значення довжини послідовностей, що перемежуються, K – кількість послідовностей різної довжини.

Нехай $\mathbf{I} = \{i_1, \dots, i_n, \dots, i_{N_K}\}$ – множина позицій перемежувача найбільшої довжини, $i_n = n, n=1, \dots, N_K, N_K$ – найбільша довжина послідовності, що перемежується. Нехай $\mathbf{P} = \{p_1, \dots, p_n, \dots, p_{N_K}\}$ – множина елементів перемежувача найбільшої довжини, $n=1, \dots, N_K$. Елементи множин \mathbf{I}, \mathbf{P} зв'язані співвідношенням $p_{\pi(n)} = i_n$.

Алгоритм формування перемежувача полягає в наступному.

1. Розбивається множина \mathbf{I} на класи еквівалентності $\Psi^k, k=1, \dots, K$:

$$i_n \in \Psi^k, \text{ якщо } i_n \sim \gamma^k,$$

де $n=1, \dots, N_K; i_n \sim \gamma^k$ – відношення еквівалентності; γ^k – представник k -го класу еквівалентності.

2. Визначаються множини Φ^k , здійснюється впорядкування елементів Φ^k по зростанню:

$$\begin{aligned} \Phi^k &= \Phi^{k-1} \cup \Psi^k, \\ \phi_1^k &< \phi_2^k < \phi_n^k < \dots < \phi_{N_k}^k, \end{aligned}$$

де $k=1, \dots, K$, для випадку $k=1$ – $\Phi^{k-1} = \Phi^0, \Phi^0$ – порожня множина.

3. Формується перемежувач довжини N_1 й визначаються множини:

$$\Theta^1 = \{\theta_1^1, \dots, \theta_n^1, \dots, \theta_{N_1}^1\}; \Omega^1 = \{\omega_1^1, \dots, \omega_n^1, \dots, \omega_{N_1}^1\},$$

де Θ^1 – множина позицій перемежувача довжини $N_1, \theta_n = n, n=1, \dots, N_1; \Omega^1$ – множина елементів перемежувача довжини N_1 .

4. Здійснюється перерахування елементів перемежувача довжини $N_k, k=1, \dots, K-1$ в елементи перемежувача довжини N_K :

$$\phi_n^k = \varphi_k(\theta_n^k); m_n^k = \varphi_k(\omega_n^k),$$

де $n=1, \dots, N_K, m_n^k \in \mathbf{M}^k; \mathbf{M}^k = \{m_1^k, \dots, m_n^k, \dots, m_{N_k}^k\}$ – множина елементів перемежувача довжини N_k , необхідна для перемезження послідовності довжини N_k .

5. Здійснюється перерахування елементів перемежувача довжини N_K в елементи перемежувача довжини N_{k+1} :

$$\theta_n^{k+1} = \mathcal{G}_{k+1}(\phi_n^{k+1}); \omega_n^{k+1} = \mathcal{G}_{k+1}(m_n^k),$$

де ω_n^{k+1} – елемент $\Omega'^{k+1}, \Omega'^{k+1} \subset \Omega^{k+1}, m_n^k \in \mathbf{M}^k$.

6. Формується перемежувач довжини N_{k+1} з урахуванням Ω'^{k+1} , визначаються множини $\Theta^{k+1}, \Omega^{k+1}$.

7. Перехід до п. 4, якщо $k < K-1$.

Вибір елементів перемежувача в межах одного або декількох класів еквівалентності здійснюється таким чином, щоб мінімізувати кореляцію м'яких рішень складових декодерів.

Застосування перемежувача довжиною $N=1024$, який дозволяє перемежати послідовності довжиною 128, 256, 384, 640, 768, 896, 968, 1024 приводить до незначного збільшення ймовірності помилки в порівнянні із застосуванням окремих перемежувачів, що підтверджується результатами моделювання для каналу з АБГШ та двійковою ФМ, представленими на рис. 4, та дозволяє скоротити об'єм пам'яті, необхідної для реалізації перемеження, в 4,5 рази.

У четвертому розділі проведена оцінка складності, ефективності та розроблені практичні рекомендації з використання методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності в телекомунікаційних системах.

Проведена оцінка складності декодування турбокодів показала, що застосування модифікованого методу ітеративного декодування турбокодів та контролю якості ітеративного декодування дозволяє знизити складність декодування в $2,0 \div 3,9$ рази.

Проведена оцінка ефективності розробленого методу ітеративного декодування турбокодів показала, що турбокоди з $R=1/3, 1/2$, $N=1000$ і псевдовипадковим перемежувачем дозволяють забезпечити енергетичну ефективність більшу на $0,8 \div 1,5$ дБ у порівнянні зі згортчними кодами при однаковій складності декодування. Використання розробленого перемежувача для перемеження послідовностей різної довжини дозволяє підвищити енергетичну ефективність ще на $0,2 \div 0,7$ дБ.

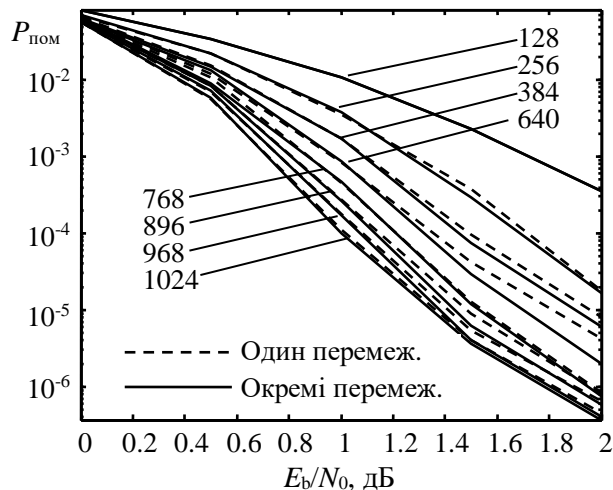


Рис. 4. Залежність $P_{\text{пом}}$ від E_b/N_0 ітеративного турбодекодера з одним перемежувачем та з окремими перемежувачами

Енергетична ефективність β максимальна при виборі турбокоду з $R=1/3$ при $v = \text{const}$, збільшення v приведе до збільшення β й зростанню складності декодування S . При виборі $R=1/2$ та $v=2, 3$ турбокоди забезпечують ЕВК $\Delta\beta = 6,5 \div 7,5$ дБ при $P_{\text{пом}} = 10^{-5}$, а при $R=1/3$ – $\Delta\beta = 7,7 \div 8,4$ дБ.

Результати вибору доцільного варіанта системи по двох показниках: η і S показали, що при фіксованій складності декодування для одержання найбільшої енергетичної ефективності необхідно використовувати турбокоди з $R=1/3$, а для одержання найбільшої інформаційної ефективності – турбокоди з $R=1/2$. Доцільно вибрати $\nu=2, 3$ для забезпечення прийнятної складності декодування.

Недоліком турбокодів є мала крутість кривої ймовірності помилки в області великих значень E_b/N_0 із-за обмеженого вибору ν . Тому турбокоди, маючи переваги перед згорточними кодами в області малих значень E_b/N_0 , не дозволяють забезпечити $P_{\text{пом}} < 10^{-6}$ при прийнятній складності декодування. Для усунення цього недоліку пропонується використовувати каскадну схему кодування – турбокод і код Рида-Соломона. Розроблено алгоритм вибору параметрів кодів Рида-Соломона при використанні турбокодів у каскадній схемі з кодами Рида-Соломона. Вибір параметрів коду Рида-Соломона здійснюється таким чином, щоб задане значення ймовірності помилки досягалося при найменшому значенні енергетичного відношення сигнал/шум. Каскадна схема кодування дозволяє забезпечити $P_{\text{пом}} < 10^{-9}$ при незначному збільшенні складності декодування.

Розроблено практичні рекомендації для вибору коефіцієнта підсилення сигналу перед квантуванням і розрядності квантування, вибору числа розрядів представлення цілих чисел для внутрішніх обчислень ітеративного турбодекодера. Вибір оптимального значення коефіцієнта підсилення сигналу перед квантуванням дозволяє обмежитися тільки чотирма розрядами квантування без значного збільшення $P_{\text{пом}}$. Кількість розрядів представлення цілих чисел для внутрішніх обчислень ітеративного турбодекодера доцільно обмежити значенням $14 \div 15$.

Розроблено практичні рекомендації по реалізації табличних обчислень log-MAP декодера. Відмінною рисою log-MAP декодера є здійснення обчислень у логарифмічній області. У цьому випадку всі операції множення й ділення MAP декодера замінюються операціями додавання й віднімання. Операція додавання перетвориться в **E** операнд:

$$a \mathbf{E} b = \mathbf{E}(a, b) = -\log_{\varepsilon}(\varepsilon^{-a} + \varepsilon^{-b}) = \min(a, b) - f(z),$$

де $f(z) = \log_{\varepsilon}(1 + \varepsilon^{-z}) = c \ln(1 + e^{-z/c})$; $c = 1/\ln \varepsilon = \log_{\varepsilon} e$, $z = |a - b|$.

Визначено мінімальну кількість розрядів для представлення функції виправлення $f(z)$. Розглянуто табличний спосіб завдання або апроксимацію функції $f(z)$. Достоїнством табличного способу завдання є мала обчислювальна складність і мала погрішність при виборі таблиці великого розміру, недоліком – збільшення об'єму пам'яті. При обмеженому об'ємі пам'яті доцільне використання апроксимації $f(z)$ з незначним погіршенням характеристик турбодекодера.

Розглянуто питання побудови системи синхронізації. Оскільки телекомунікаційні системи з турбокодуванням припускають роботу при низькому

енергетичному відношенні сигнал/шум, то найбільш доцільне використання синхронізації зі зворотним зв'язком за рішенням, що дозволить збільшити ефективність турбокодування.

У **додатках** представлена оцінка достовірності результатів моделювання й програмна реалізація алгоритмів м'якого декодування, які написані мовою програмування C та реалізовані у вигляді бібліотек, що динамічно підключають, (DLL) до ядра системи математичного моделювання MATLAB 6.5.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проведене теоретичне узагальнення й отримане нове рішення наукового завдання по розробці методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності на основі комбінування алгоритмів декодування складових декодерів, введення процедури контролю якості декодування й зміни структури перемикача із забезпеченням заданої вірогідності інформації, що передається.

Основними висновками по роботі є наступні.

1. Проведений аналіз показав, що на відміну від відомих послідовних каскадних кодів, турбокоди, що є паралельними каскадними кодами, дозволяють для їхнього декодування застосовувати процедуру ітеративного декодування. При цьому виявляється можливою передача інформації при енергетичному відношенні сигнал/шум близьким до гранично можливого значення, обумовленого теоремою Шеннона, оскільки характеристики ітеративного турбодекодера близькі до декодера максимальної правдоподібності. Недоліком відомого методу ітеративного декодування турбокодів є його висока складність, що приводить до зниження швидкості обробки інформації за рахунок збільшення складності декодування, і збільшенню об'єму пам'яті турбодекодера, що підвищує витрати на його реалізацію. Виявлено протиріччя між зростаючими вимогами до вірогідності інформації, що передається, й можливостями сучасної мікроелектроніки при реалізації метода ітеративного декодування турбокодів.

2. Найбільш важливими науковими результатами, які отримані в роботі, є наступні:

– одержав подальший розвиток метод ітеративного декодування турбокодів, що відрізняється від відомого застосуванням процедури комбінування складових декодерів турбодекодера з різними алгоритмами декодування та дозволяє зменшити складність декодування при незначному збільшенні ймовірності помилки;

– одержав подальший розвиток метод оцінки дисперсії шуму каналу, що відрізняється від відомих урахуванням оцінки дисперсії м'яких рішень турбодекодера та дозволяє ввести в турбодекодер контроль якості ітеративного декодування без збільшення складності апаратної реалізації турбодекодера для зменшення складності декодування;

– вперше отримано аналітичний вираз для оцінки коефіцієнтів кореляції м'яких рішень ітеративного турбодекодера на другій ітерації, використання якого дозволяє підвищити точність оцінки впливу структури перемешувача на ефективність ітеративного декодування турбокодів. Удосконалено метод формування структури перемешувача для перемешення послідовностей різної довжини, що мінімізує кореляцію м'яких рішень турбодекодера й відрізняється від відомого відсутністю обмеження на значення довжини послідовностей, що перемешують, та дозволяє зменшити складність методу ітеративного декодування турбокодів за рахунок зменшення об'єму пам'яті, необхідного для перемешення послідовностей різної довжини.

3. Найбільш важливими практичними результатами, які отримані в роботі, є наступні:

– розроблено програмну реалізацію методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності, що дозволяє зменшити складність декодування залежно від відношення сигнал/шум каналу в $2,0 \div 3,9$ рази й зменшити об'єм пам'яті, необхідний для реалізації перемешення послідовностей різної довжини, в $2 \div 5$ разів при незначному збільшенні ймовірності помилки;

– розроблені практичні рекомендації з використання методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності в телекомунікаційних системах. Застосування турбокодів дозволяє отримати енергетичний вигравш від кодування $6 \div 8$ дБ при значенні ймовірності помилки 10^{-5} . Розроблено алгоритм вибору параметрів кодів Рида-Соломона при використанні турбокодів у послідовних каскадних кодових конструкціях. Використання турбокодів у складі каскадних кодів разом з кодами Рида-Соломона дозволяє отримати енергетичний вигравш від кодування $9 \div 11$ дБ при значенні ймовірності помилки 10^{-9} ;

– отримані результати використані в науково-дослідних роботах «Мрія», «Алгоритм», «Інтеграція-А». Отримано акти реалізації результатів досліджень при проведенні науково-дослідних робіт, на виробництві при розробці апаратури передачі даних у НТ СКБ «Полісвіт» і в навчальному процесі Харківського університету Повітряних Сил.

4. Обґрунтованість отриманих результатів заснована на коректному застосуванні основних положень теорії кодування, теорії ймовірностей, статистичної теорії зв'язку, теорії множин, математичної статистики.

5. Достовірність отриманих результатів підтверджується збіжністю теоретичних результатів і результатів по обробці експериментальних даних, отриманих у ході функціонування розробленої програмної моделі.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Приходько С.И., Жученко А.С., Пархоменко Д.А. Один из способов построения случайных кодов большой длины // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004.– №1 – С. 19 – 21.

2. *Приходько С.И., Жученко А.С., Пархоменко Д.А.* Модифицированный метод декодирования турбокодов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 3. – С. 174 – 178.
3. *Приходько С.И., Жученко А.С., Пархоменко Д.А.* Анализ числовых характеристик логарифма отношения правдоподобия MAP декодера // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. – №2(27). – С. 109 – 112.
4. *Приходько С.И., Жученко А.С., Пархоменко Д.А.* Метод оценки дисперсии шума в турбодекодере // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 9(37). – С. 136 – 140.
5. *Жученко А.С.* Оценка влияния перемежителей на эффективность итеративного декодирования турбокодов // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 8(36). – С. 157 – 164.
6. *Жученко А.С.* Метод формирования перемежителя турбодекодера для перемежения последовательностей различных длин // Збірник наукових праць. – Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – Київ: НАН України, 2004. – Вип. 25. – С. 42 – 47.
7. *Приходько С.И., Жученко А.С.* Алгебраический метод формирования структуры перемежителя кодера турбокода // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005.– №3 – С. 44 – 48.
8. *Приходько С.И., Жученко О.С., Пархоменко Д.О.* Модифікований метод декодування турбокодів // IV наукова конференція молодих вчених Харківського військового університету, 14–15 квітня 2004 року. Тези доповідей. – Х.: ХВУ, 2004. – С. 59.
9. *Приходько С.И., Жученко О.С., Пархоменко Д.О.* Метод формування перемежувача турбодекодера для перемеження послідовностей різних довжин // Перша науково-технічна конференція Харківського університету Повітряних Сил, 16-17 лютого 2005 р. Тези доповідей. –Х.: ХУ ПС, 2005. – С. 212–213.
10. *Приходько С.И., Жученко А.С., Пархоменко Д.А.* Модифицированный метод декодирования турбокодов // Материалы 8-го международного форума «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». – Х.: ХНУРЭ, 2004. – Ч. 1. – С. 79.
11. *Приходько С.И., Жученко А.С.* Алгебраический метод формирования структуры перемежителя кодера турбокода // Перша міжнародна наукова конференція „Теорія та методи обробки сигналів”: Тези доповідей. – К.: НАУ, 2005. – С. 78–79.
12. *Приходько С.И., Жученко А.С., Гиневский А.М.* Метод итеративного декодирования турбокодов уменьшенной сложности в информационно-телекоммуникационных системах // Матеріали 18 міжнародної науково-практичної конференції „Перспективні системи управління на залізничному, промисловому й міському транспорті”. – Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005.– №5 – С. 91 – 92.

Жученко О.С. Метод ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності в телекомунікаційних системах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2005.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу ітеративного декодування турбокодів зменшеної складності, орієнтованого на застосування в телекомунікаційних системах, що функціонують в умовах малого енергетичного відношення сигнал/шум. Зменшення складності методу ітеративного декодування турбокодів досягається за рахунок зменшення кількості операцій декодування, що приходяться на один інформаційний символ (складності декодування) і об'єму пам'яті ітеративного турбодекодера із забезпеченням заданої вірогідності інформації, що передається.

Ключові слова: турбокод, турбокодер, турбодекодер, ітеративне декодування, складність декодування, якість ітеративного декодування, перемежувач, деперемежувач.

АННОТАЦІЯ

Жученко А.С. Метод итеративного декодирования турбокодов уменьшенной сложности в телекоммуникационных системах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2005.

Диссертационная работа посвящена разработке метода итеративного декодирования турбокодов уменьшенной сложности, ориентированного на применение в телекоммуникационных системах, функционирующих в условиях малого энергетического отношения сигнал/шум.

В отличие от известных последовательных каскадных кодов, турбокоды, являющиеся параллельными каскадными кодами, позволяют для их декодирования применять процедуру итеративного декодирования. При этом оказывается возможной передача информации при энергетическом отношении сигнал/шум близким к предельно возможному значению, определяемому теоремой Шеннона, поскольку характеристики итеративного турбодекодера близки к декодеру максимального правдоподобия. Недостатком известного метода итеративного декодирования турбокодов является его высокая сложность, что приводит к снижению скорости обработки информации за счет увеличения количества операций декодирования, приходящихся на один информационный символ (сложности декодирования), и увеличению объема памяти турбодекодера, что повышает затраты на его реализацию. Таким образом, целью диссертационной работы является уменьшение сложности метода итеративного декодирования

турбокодов с обеспечением заданной достоверности передаваемой информации.

На основе проведенного анализа алгоритмов мягкого декодирования сверточных кодов, которые используются в качестве составляющих турбокод кодов, было установлено, что использование в турбодекодере только субоптимальных декодеров сверточных кодов не позволяет уменьшить сложность декодирования при сохранении низкого значения вероятности ошибки. Разработанный метод итеративного декодирования турбокодов, отличающийся от известного применением процедуры комбинирования составляющих декодеров турбодекодера с различными алгоритмами декодирования, позволяет уменьшить сложность декодирования при незначительном увеличении вероятности ошибки.

Турбодекодер осуществляет декодирование одного кодового блока за некоторое количество итераций до достижения заданного качества декодирования. С увеличением количества итераций вероятность ошибки уменьшается до некоторого предельного значения, а сложность декодирования увеличивается. Уменьшить сложность декодирования возможно за счет введения в турбодекодер контроля качества итеративного декодирования, что приведет к сокращению необходимого количества итераций для декодирования одного кодового блока. Однако это увеличивает сложность аппаратной реализации турбодекодера за счет введения дополнительного блока оценки качества итеративного декодирования.

При проведении анализа алгоритмов мягкого декодирования сверточных кодов предполагалось, что дисперсия шума канала точно известна. Однако в реальных условиях она должна быть оценена по принятой последовательности символов из канала. Исследование влияния отклонения оценки дисперсии шума канала от истинного значения на вероятность ошибки декодирования показало, что к точности оценки не предъявляется высоких требований, что позволяет использовать субоптимальные методы оценки дисперсии шума канала, обладающие низкой вычислительной сложностью. Разработанный метод оценки дисперсии шума канала, отличающийся от известных учетом оценки дисперсии мягких решений турбодекодера, позволяет ввести в турбодекодер контроль качества итеративного декодирования без увеличения сложности аппаратной реализации турбодекодера.

Характеристики итеративного турбодекодера в значительной мере зависят от корреляции мягких решений, которыми обмениваются составляющие декодеры. На коэффициент корреляции мягких решений оказывает влияние структура перемежителя. В результате, от выбора структуры перемежителя зависит эффективность итеративного декодирования турбокодов. Полученное аналитическое выражение для оценки коэффициентов корреляции мягких решений итеративного турбодекодера на второй итерации позволяет повысить точность оценки влияния структуры перемежителя на эффективность итеративного декодирования турбокодов по критерию минимума вероятности ошибочного декодирования без проведения моделирования, требующего больших временных затрат.

Реализация передачи информации блоками различной длины приводит к

увеличению объема памяти, поскольку для каждой длины блока необходимо иметь отдельные перемежители и деперемежители. Для уменьшения объема памяти разработан метод формирования структуры перемежителя для перемежения последовательностей различной длины, минимизирующий корреляцию мягких решений турбодекодера и отличающийся от известного отсутствием ограничения на значения длины перемежаемых последовательностей.

Ключевые слова: турбокод, турбокодер, турбодекодер, итеративное декодирование, сложность декодирования, качество итеративного декодирования, перемежитель, деперемежитель.

ABSTRACT

Zhuchenko A.S. Method of iterative decoding turbo codes with reduced complexity in telecommunication systems. – Manuscript.

The thesis for candidate degree of the technical science competition by specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. – the Ukrainian state academy of a railway transportation, Kharkov, 2005.

The thesis is devoted to development of a method of iterative decoding turbo codes to the reduced complexity, oriented on application in the telecommunication systems functioning in conditions of a small power signal to noise ratio. Reduction complexity of a method iterative decoding turbo codes is reached at the expense reduction of quantity operations of the decoding one information bit (decoding complexity), and memory size iterative decoder turbo codes with provision of preset reliability of the transmitted information.

Keywords: turbo code, turbo coder, turbo decoder, iterative decoding, decoding complexity, quality of iterative decoding, interleaver, deinterleaver.

Підписано до друку 10.01.2006 р.
Формат 60x84 1/16 Папір друк. офсетний
Друк. ризограф Умов. друк. арк. 0,9
Тираж 100 прим. Ціна договірна.

61166, м. Харків, просп. Леніна, 36, оф. 420
Тел. (057)717-60-02, 717-58-26
