

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГРАТЧАСТОГО КОДУВАННЯ В ЗАХИЩЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ РАДІОСИСТЕМАХ З КОРЕЛЯТИВНОЮ ОБРОБКОЮ СИГНАЛУ

СКОПА О.О.

Одеський державний економічний університет
Кафедра Інформаційних систем в економіці

Загальні положення

Постановкою проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними задачами є випадки суцільно практичного характеру при вирішенні задач підвищення завадостійкості захищених каналів телекомунікацій. Відомо [1, 7-9], що завадостійке кодування є практичною технікою для підвищення ефективності передачі цифрової інформації в каналах зв'язку загального користування при обмеженнях по потужності та смузі частот. Смугоефективні види модуляції, (наприклад, квадратурна амплітудна модуляція (КАМ), квадратурна передача з парціальним відгуком (QPRS) [1] і т.д.) спільно з завадостійким кодуванням все частіше застосовуються для підвищення надійності передачі інформації в каналах радіозв'язку. В останні роки проводилися численні дослідження з метою знаходження ефективного підходу для застосування гратчастого кодування в системах з КК та в системах з парціальним відгуком (PRS). В загальному випадку, застосування ГК для підвищення надійності або вірності цифрової передачі інформації в каналах з КК ґрунтується на використанні згорткових кодів.

Згорткові коди часто використовуються в практичних системах зв'язку для захисту переданих сигналів від помилок. Однак, *раніше невирішеною частиною загальної проблеми* є завдання узгодження згорткового коду з модулятором (чи каналом), що має пам'ять. Однак, аналіз систем передачі, в яких спільно використовуються кодування і модуляція – досить складна задача. Враховуючи це, *постановкою завдання* для подальшого вирішення є завдання раціональної побудови таких сигнально-кодових конструкції (СКК) (методи кодування-модуляції) [2], які сполучають у собі якості, як багатопозиційних ансамблів, так і завадостійких кодів. Вони допускають досить прості в практичній реалізації алгоритми декодування і при використанні їх в системах радіозв'язку дозволяють істотно приблизитися до теоретичних меж ефективності. Спільне застосування КК і гратчasto-кодованої модуляції (TCM) [4] найбільш ефективно для мобільних систем зв'язку, а також для каналів з нелінійностями і замираннями. Об'єднання ГК і QPRS одержало назву квадратурної гратчasto-кодованої модуляції з парціальним відгуком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких покладено початок рішення проблеми, а також пропонуються багато неординарних шляхів її рішення, показав перспективність проведення подальших досліджень в згаданій області, їх актуальність і доцільність. Перша робота за аналогічною тематикою [3], присвячена розробці ГК для каналів з КК, базувалася на ідеях, викладених в [4], з урахуванням положень про двійкове згорткове кодування з T станами [2]. Зокрема, для класу IV PRS з передатною функцією (ПФ) $(1-D)^2$, Wolf і Ungerboeck [3] запропонували створити канал як транспонування двох каналів з ПФ $(1-D)$ і використати попередній кодер (предкодер) з ПФ $(1\oplus D)^{-1}$. В цьому випадку, реалізується декодер Вітербі з 2^{V+1} станами. Такий декодер є оптимальним [3]. Однак, можна знайти приклади, коли для деякого класу згорткових кодів, що мають 2^V станів, число станів декодера максимальної правдоподібності, погодженого з кодом, предкодером і каналом КК, складає не більше, ніж 2^V . Такий декодер прийнято називати погодженим. Відзначимо, що в системах з КК застосовуються також інші завадостійкі методи кодування [5, 6, 7].

Перейдемо до викладу *основного матеріалу* з математичним обґрунтуванням отриманих результатів.

Особливості застосування ґратчастих кодів для захищених каналів з КК

Суть таких ГК складається у використанні згорткового коду, кодуванні вихідної послідовності предкодером і передачею цієї послідовності по каналу з КК. Основна ідея застосування ЗК полягає в тому, що при відповідному виборі методу КК збільшується мінімальна вільна евклідова відстань (МСЕР) між дозволеними послідовностями. Асимптотичний енергетичний вииграш кодування (АЕВК-G) складає 2 – 6 дБ у порівнянні з некодованою системою при використанні кодів середньої складності [1, 2, 6].

Методи ГК застосовуються в системах КК для підвищення надійності за рахунок досягнення, в основному, двох цілей:

а) підвищення завадозахищеності систем з КК шляхом виключення деяких небажаних послідовностей, які виникають при проходженні кодуючої решітки. Це робиться з метою підвищення МСЕР між дозволеними вихідними послідовностями каналу, щоб вииграш кодування був вище, ніж у системі без ГК;

б) усунення появи необмежених небажаних послідовностей однакових символів на виході каналу. Остання властивість необхідна для забезпечення нормальної роботи систем синхронізації та автоматичного регулювання підсилення (АРП). Ці два пункти досягнення більшої надійності забезпечуються за рахунок втрат швидкості передачі та застосуванні складних кодерів і декодерів максимальної правдоподібності.

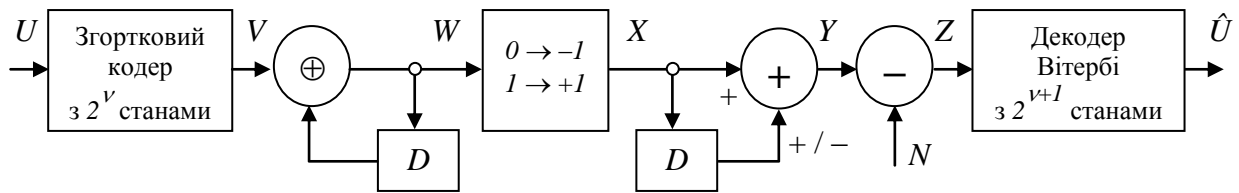
Основна ідея застосування ґратчастих кодів для каналів з КК полягає в тому, що декодер максимальної правдоподібності, що використовує алгоритм Вітербі (АВ), повинен бути погодженим як з надмірністю згорткового коду і предкодером, так і з величиною межсимвольної інтерференції (МСІ), що вводиться каналом з КК. Отже, застосування ЗК, предкодера та декодера Вітербі може забезпечити надійну та ефективну передачу цифрової інформації в каналах з КК.

З точки зору застосування багаторівневої передачі, спільне використання корелятивної техніки кодування і ЗК дає надію на ефективне використання спектра і потужності сигналу, а також забезпечує такий же АЕВК, як системи з нульовою пам'яттю при еквівалентній складності устаткування. Однак, є приклади, коли досягнутий АЕВК для систем PRS з використанням двійкових згорткових кодів при однаковій складності декодерів виходить меншим, ніж для звичайних двійкових каналів з повним відгуком та без МСІ [7].

Зазвичай, при застосуванні коригувальних кодів у двійкових системах ймовірність помилки системи поліпшується за рахунок розширення спектра та (або) ускладнення апаратури. Однак, в даному випадку, недолік, який є результатом підвищення швидкості передачі через введення захисних бітів, зникає, тому що КК використовує багаторівневу передачу. Другий недолік усувається сумісним застосуванням ЗГ та КК в каналах з пам'яттю, і, тому як відзначалося раніше, не призводить до збільшення складності устаткування. Отже, ГК може підвищити надійність передачі інформації без розширення смуги частот при незмінній структурі приймача, хоча може змінити число станів декодера.

Модель сімбіозного каналу

Відомо [6-8], що КК вводить в сигнал встановлену керовану міжсимвольну інтерференцію (МСІ). Загальна структурна схема системи передачі з парціальним відгуком (PRS) з предкодером і ГК (сімбіозний канал) показана на мал. 1.



Малюнок 1

У передавачі двійкова некодована послідовність $U = \{u_k\}$ є вхідною послідовністю, де кожен її елемент відповідає вектору з m бітів, тобто:

$$U \{u_k\} = \begin{pmatrix} m & m-1 & & 1 \\ u_k & u_k & \dots & u_k \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Ця послідовність U за допомогою згорткового кодера зі швидкістю R і з довжиною кодового обмеження v , (тобто маючого 2^v станів протягом кожного $m+1$ символного інтервалу) кодується в послідовність $V \{v_k\}$

$$V = \{v_k\} = \begin{pmatrix} m & m-1 & 0 \\ v_k & u_k & \dots & u_k \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Швидкість визначається як $\frac{m}{(m+1)}$. Згортковий кодер приймає m інформаційних бітів U

і видає $(m+1)$ кодованих бітів V . Швидкість коду позначимо $R = \frac{k}{n}$. При цьому кодер перетворює множину k вхідних символів у множину n вихідних символів. Вільну відстань Хемінга для цього коду позначимо через d_n . Враховуючи, що вихідна послідовність, отримана після згорткового кодера, пропускається через предкодер $(I-D)^{-1}$ то, кодовані біти передаються послідовно у вигляді

$$\{v_k\} = \dots \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & m \\ v_k & v_k & \dots & v_k \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ v_{k+1} & v_{k+1} & \dots \end{pmatrix}, \dots \quad (3)$$

по кожному з каналів $(1 \mp D)$ з відповідним предкодером. На виході предкодера буде створена двійкова послідовність $W = \{w_k\}$. Предкодер $(I-D)^{-1}$ описується як:

$$w_k = (v_k - w_{k-1}) \text{ по модулю } M. \quad (4)$$

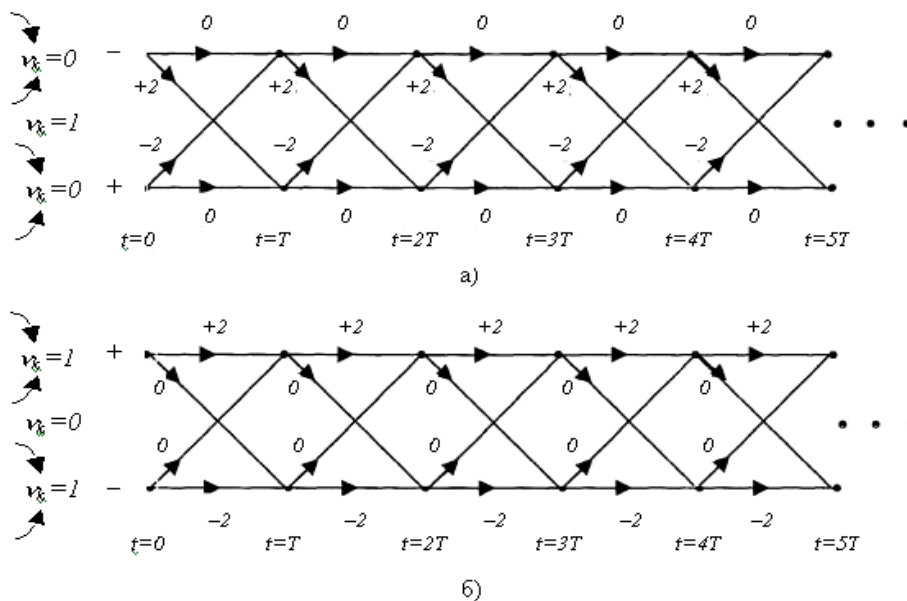
Таким чином, w_k є цілим числом в діапазоні $[0, 2^{m+1} - 1]$, який відповідає $v_k - w_{k-1}$ по модулю M . Задачею предкодера є усунення квазікатастрофічного поширення помилки. Отже, w_k перетвориться в M -ичний символ x_k , де $M=2^{m+1}$. Швидкість передачі при цьому буде визначатися $m = \log \frac{M}{2} \left(\frac{\text{á}^{\text{3d}}}{\text{ñèì âî è} } \right)$. Передбачається, що U , V і W є елементами з кінцевої області $GF(2)$. Варто підкреслити, що попереднє кодування (предкодування) не збільшує число станів решітки кодування, завдяки еквівалентності сигналів, які одночасно зберігаються в

пам'яті предкодера і каналу $(1 \mp D)$. Ця властивість ілюструється на мал.1, де представлені предкодер і канал $(1 \mp D)$.

Символи W перетворюються в двійкову послідовність X , елементи якої належать множині $(+1, -1)$, шляхом перетворення символу 0 у реальне число -1 і символу 1 у реальне число $+1$ чи навпаки. При багаторівневій передачі вхідна послідовність каналу $X = \{x_k\} \in \{\pm 1, \pm 3, \dots, \pm(M-1)\}$. Символи X передаються в каналі $(1 \mp D)$ з відповідним предкодером. Тоді для каналу $(1 \pm D)$:

$$y_k = x_k \pm x_{k-1} \quad (5)$$

При цьому для багаторівневої передачі на виході каналу буде послідовність $Y = \{y_k\}$ з елементами, що належать множині $(0, \pm 2, \dots, \pm 2(M-1))$. Послідовність Y передається через тракт з адитивним шумом $N = \{n_k\}$. Таким чином, послідовність Z буде сумою Y з шумом N . Передбачається, що шум буде статистично незалежним гаусовським шумом з середнім значенням, що дорівнює нулю з нульовою середнім і дисперсією σ^2 . Мал. 2(а) і 2(б) показують ґратчасті діаграми каналів $(1 \mp D)$ з предкодуванням.



Малюнок 2

У приймачі декодер оцінює послідовність максимальної правдоподібності U , що позначається \hat{U} , тобто знаходить двійкову інформаційну послідовність, що найближча до прийнятої послідовності з шумом в змісті найменшої евклідової відстані.

Висновок

Проведені дослідження і аналіз літературних джерел показали, що основною системою є система без СК, показана на мал. 1. Розрахунки показують, що застосування декодера Вітербі для систем з КК дозволяє поліпшити запас по шуму приблизно на 2-3 дБ в порівнянні з посимвольним детектуванням, який приймає незалежні рішення для кожного вихідного відліку сигналу. Таким чином, **перспективним положенням для подальшого дослідження**, є розробка алгоритму та математичного апарату щодо поліпшення запасу по завадостійкості на основі декодера Вітербі.

Література

1. Михайлов Н.К., Эль-Дакдуки А.С. Приемник Витерби для систем радиосвязи с коррелятивным кодированием // Тр. III Международной конференции по электросвязи, телевизионному и звуковому вещанию «Укр-ТелеКонф-97»: Одесса, 9-12 сент. 1997 г. – Одесса. – УНИИРТ. – С. 142-146.
2. Эль-Дакдуки А.С. Анализ применения алгоритма Витерби для коррелятивного кодирования // Праці УНДІРТ. – 1996-97. – №4-№1. – С.107-112.
3. Эль-Дакдуки А.С. Декодирование по Витерби с разностью метрик для дуобинарного кодирования // Праці УНДІРТ. – 1999. – №1. – С.79-82.
4. Ferguson M.J., Optimal reception for binary partial response channels, B.S.T.J., vol. 51, pp. 493-505, Feb. 1972.
5. Olcer S., Ungerboeck G. Difference-metric Viterbi decoding of multilevel class-IV partial-response signals, IEEE Trans. Commun., vol. 42, pp.1558-1570, NO.2/3/4, Feb./March/Apr. 1994.
6. Cideciyan R.D., Olcer S., Codes preventing guasi-catastrophic error propagation in partial response systems, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 41, pp. 600-603, March 1995.
7. Литвак О.А., Минкин В.М., Скопа А.А. Сравнительная оценка коррелятивных методов кодирования // Труды НИИР. – 1988. – №2. – С.6-10.
8. Сукачев Э.А., Скопа А.А. Оценка искажений сигналов в системах с коррелятивным кодированием и угловой модуляцией. Ч.1. // Труды УНИИРТ. – 1995. – №3. – С.22-28.
9. Сукачев Э.А., Скопа А.А., Гардыман Ж.А. Оценка искажений сигналов в системах с коррелятивным кодированием и угловой модуляцией. Ч.2. // Праці УНДІРТ. – 1996-97. – №4-№1. – С.97-104.