

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ І ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ OFDM

А. А. Астраханцев

Доцент*

Контактний тел.: (057) 702-14-29

E-mail: astrahkture@mail.ru

А. А. Войтюк*

*Кафедра “Мережі зв’язку”

Харківський національний університет радіоелектроніки
пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166

В статті розглядаються питання вибору оптимального за критеріями частотної та енергетичної ефективності підканального алгоритму модуляції та згорткового кодування в технології OFDM

Ключові слова: алгоритм OFDM, DMT, ефективність, завадостійкість, згортковий код

В статье анализируются вопросы выбора оптимального по критериям частотной и энергетической эффективности подканального алгоритма модуляции и типа сверточного кодирования в технологии OFDM

Ключевые слова: алгоритм OFDM, DMT, эффективность, помехоустойчивость, сверточный код

In paper the questions of choice optimum by criteria of frequency and power efficiency sub-channel algorithm of modulation and such as convolution encoding in technology OFDM are parsed

Keywords: an algorithm for OFDM, DMT, efficiency, noise immunity, a convolutional code

Вступ

За останні роки розвиток цифрової передачі даних, а в особливості бездротового стандарту 802.11a став дуже стрімким. У стандарті 802.11a немає чітких рекомендацій з використання конкретного виду алгоритму модуляції в каналі чи підканалі передачі, а також типу згорткового коду, тому розв’язання завдань, пов’язаних з вибором оптимальних рішень для забезпечення максимальної якості передачі та збільшенням завадостійкості мережі, є одними з найбільш важливих в теорії й практиці бездротових мереж.

1. Мета роботи

Дослідження характеристик завадозахищеності та ефективності алгоритму модуляції OFDM у бездротових мережах стандарту IEEE 802.11a.

2. Постановка задачі

Для того, щоб скласти гідну конкуренцію безлічі мереж передачі даних, бездротові мережі повинні постійно вдосконалюватися. Тому для бездротових мереж в наш час актуальною є задача забезпечення, по-перше, якнайбільшої швидкості передачі, по-друге – високої якості передачі і по-третє – мінімальної вартості. Підвищення швидкості призводить до погіршення якості сигналу, що приймається та підвищенню рівня міжканальних завад.

У зв’язку з цим виникає необхідність знаходження оптимального рішення задачі, зв’язаної з підвищенням завадостійкості за рахунок вибору підканальних алгоритмів модуляції (BPSK, QPSK, QAM-16 чи QAM-64) та дозволених стандартом типів згорткового кодування (1/2 або 3/4) з найбільшою ефективністю.

Аналіз підканальних алгоритмів технології OFDM дозволить порівняти кожний з цих алгоритмів за показниками частотної та енергетичної ефективності, що дозволить обґрунтовано обрати алгоритм обробки сигналу.

3. Алгоритм OFDM

Метод OFDM-модуляції (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональний частотний розподіл з мультиплексуванням) є спрощеним варіантом алгоритму DMT і заснований на поділі потоку вхідних даних на множину паралельних потоків, кожний з яких передається на своїй (ортогональній) частоті носія.

Це забезпечує високу швидкість і завадостійкість передачі інформації, зокрема, стосовно провалів у спектрі переданих сигналів, тому що вузькосмугове загасання може виключити тільки одну або кілька частот-носіїв з їхнього великого числа (сотні – тисячі). Оскільки модуляція OFDM використовує для передачі ортогональні носійні коливання, то можлива демодуляція модульованих сигналів навіть в умовах часткового перекриття смуг окремих носіїв.

OFDM становить великий інтерес для наукових досліджень. Технологія використовується в системах цифрового телебачення, системах стільникового зв'язку WiMAX, MobileWiMAX, MBWA, автоматизованих системах контролю й обліку електроенергії, системах типу «інтелектуальний будинок» та ін. На ній базуються стандарти бездротового зв'язку Інституту інженерів по електротехніці й електроніці (IEEE) 802.11a, e, g, n; 802.16a, d, e; 802.20.

OFDM може бути також розглянутий як спосіб модуляції або мультиплексування. Одна з головних причин використання OFDM полягає в тому, щоб збільшити завадостійкість при постійно мінливій частоті або при вузькій смузі пропускання.

При бездротовій передачі сигналів той самий сигнал у результаті багаторазового відбиття може приходити в приймач різними шляхами. Тому в точці приймання результуючий сигнал являє собою суперпозицію (інтерференцію) багатьох сигналів з різними амплітудами й початковими фазами. Багатопронена інтерференція властива будь-якому типу сигналів, але особливо негативно вона позначається на широкосмугових сигналах. При використанні широкосмугового сигналу в результаті інтерференції одні частоти складаються синфазно, що приводить до збільшення сигналу, а інші, навпаки, протифазно, викликаючи ослаблення сигналу на даній частоті. Тому одним з основних елементів OFDM-модуляторів є блок додавання циклічного префікса. Принцип його формування показаний на рис. 1.



Рис. 1. Додавання циклічного префікса

Останні відліки CP беруться з кінця блоку й дублюються на початку його, після чого сигнал стає схожим на періодичний. Очевидно, що в часовій області створюється захисний інтервал між сусідніми переданими символами. Це дозволяє ефективно боротися з міжсимвольною інтерференцією у часовій області, концентруючи її в циклічному префіксі, який відкидається на приймальному боці. Використання ЦП також полегшує синхронізацію і її відновлення, але додавання ЦП має й інший бік: зменшується відношення сигнал/шум, оскільки витрачається енергія на передачу надлишкового змісту.

Не менш важливим компонентом схем OFDM-модуляторів є блок згорткового кодування. Суть згорткового кодування полягає у тому, що до послідовності переданих бітів додаються службові біти, значення яких залежить від декількох попередніх переданих біт. Використання згорткового кодування дозволяє не тільки виявити, але і в більшості випадків виправити помилки передачі на прийомній стороні.

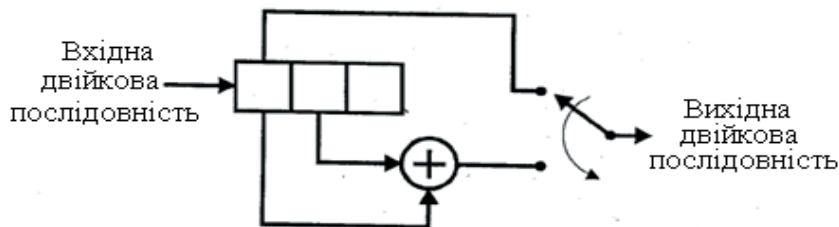


Рис. 2. Схема утворення коду

4. Дослідження завадостійкості

В каналах зв'язку постійно виникають завади, які негативно впливають на якість інформації, що приймається. Найпоширенішою завадою, що діє в каналах зв'язку є білий гаусівський шум. За допомогою Matlab для алгоритму модуляції OFDM побудована залежність коефіцієнту BER (Bit Error Rate) від стану каналу, моделюючи канал з частотно-незалежним загасанням – загасанням, яке послаблює сигнал в каналі поступово та однаково по всій довжині лінії передачі (Flat fading). В досліджуваній моделі Flat fading є аналогом білого гаусівського шуму.

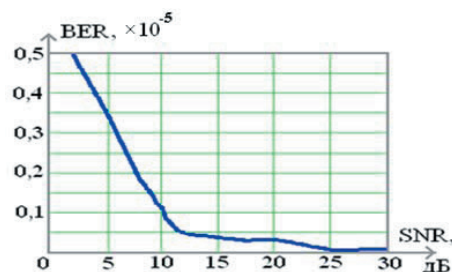


Рис. 3. Залежність коефіцієнта бітових помилок (BER) від відношення сигнал/шум (Signal Noise Rate - SNR) для досліджуваного режиму загасання Flat fading

З графіку видно, що тільки при відношенні сигнал/шум (SNR), що дорівнює 25-30 дБ коефіцієнт бітових помилок (BER) прагне до нуля. Такі характеристики систем з OFDM модуляцією вже не задовольняють сучасним умовам завадостійкості бездротових мереж, тому однією з задач наукового дослідження було виявлення найбільш ефективних методів підканальної модуляції та найбільш ефективного типу згорткового коду для забезпечення оптимальної завадостійкості мережі.

5. Дослідження ефективності

Для оцінки ефективності систем зв'язку використовуються коефіцієнт використання каналу по частоті γ (частотна ефективність) і коефіцієнт використання каналу по потужності β (енергетична ефективність).

Коефіцієнт використання каналу по частоті (частотна ефективність) визначається виразом:

$$\gamma = \frac{R}{F}$$

де R – швидкість передачі інформації з каналу;
F - ширина смуги частот, що займається сигналом.

Коефіцієнт використання каналу по потужності β (енергетична ефективність) визначається за формулою:

$$\beta = \frac{R}{\rho_0}$$

де $\rho_0 = P_s / N_0$ – відношення потужності сигналу до спектральної щільності потужності шумів.

Результати досліджень частотної та енергетичної ефективності у каналі та підканалі передачі даних зведені в табл. 1-4.

Таблиця 1

Частотна ефективність у підканалі

Тип модуляції	Швидкість згорткового кодування		$R_{\text{підканалу}}$
	1/2	3/4	
	Частотна ефективність		
BPSK	- 4 дБ	- 2,2 дБ	250 кбіт/с
QPSK	- 1,0 дБ	0,8 дБ	500 кбіт/с
QAM-16	2,1 дБ	3,8 дБ	1000 кбіт/с
QAM-64	5,1 дБ	5,6 дБ	1500 кбіт/с

Таблиця 2

Енергетична ефективність у підканалі

Тип модуляції	Швидкість згорткового кодування		Енергетична ефективність
	1/2	3/4	
	Енергетична ефективність		
BPSK	- 13,5 дБ	- 11,7 дБ	
QPSK	- 11,2 дБ	- 10,3 дБ	
QAM-16	- 9,4 дБ	- 7,7 дБ	
QAM-64	- 26 дБ	- 23,5 дБ	

Таблиця 3

Енергетична ефективність у каналі

Тип модуляції	Швидкість згорткового кодування		$R_{\text{каналу}}$
	1/2	3/4	
	Частотна ефективність		
BPSK	- 6,2 дБ	- 4,4 дБ	12 Мбіт/с
QPSK	- 3,2 дБ	- 1,4 дБ	24 Мбіт/с
QAM-16	- 0,2 дБ	1,6 дБ	48 Мбіт/с
QAM-64	2,8 дБ	3,3 дБ	72 Мбіт/с

Таблиця 4

Енергетична ефективність у каналі

Тип модуляції	Швидкість згорткового кодування		Енергетична ефективність
	1/2	3/4	
	Енергетична ефективність		
BPSK	- 13,8 дБ	- 12,1 дБ	
QPSK	- 12,4 дБ	-10,7 дБ	
QAM-16	- 9,9 дБ	-8 дБ	
QAM-64	-26,4 дБ	-23,7 дБ	

Графічні розраховані характеристики зручно зобразити у вигляді точок на площині з границею Шеннона, по мірі близькості точок до якої можна оцінити ефективність досліджуваних алгоритмів.

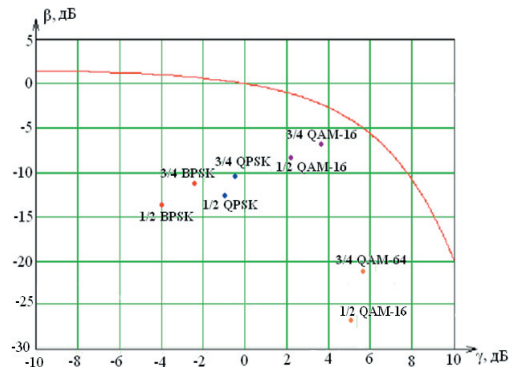


Рис. 4. Ефективність алгоритмів модуляції для підканалу

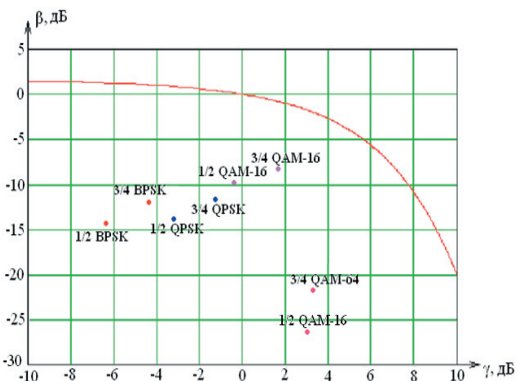


Рис. 5. Ефективність алгоритмів модуляції для всієї системи OFDM

В результаті дослідження ефективності виявили, що у підканалі:

- найвищу компактність спектру забезпечує алгоритм модуляції QAM-64 з надмірністю згорткового коду 3/4 ($\gamma = 5,6\text{дБ}$);
- найвищу завадостійкість - алгоритм QAM-16 з надмірністю згорткового коду 3/4 ($\beta = - 7,7$ дБ).

У каналі:

- найвищу компактність спектру забезпечує алгоритм модуляції QAM-64 з надмірністю згорткового коду 3/4 ($\gamma = 3,3\text{дБ}$);
- найвищу завадостійкість – алгоритм QAM-16 з надмірністю згорткового коду 3/4 ($\beta = - 8$ дБ).

Висновки

Практичну значимість проведених досліджень обумовлюють сформовані рекомендації по досягненню найбільшої ефективності за рахунок використання алгоритму QAM-16 з надмірністю згорткового коду 3/4.

До наукової новизни можна віднести дослідження підканалних методів модуляції алгоритму OFDM з різними типами згорткового кодування на тлі адитивних завад, імпульсних шумів та завад, зосереджених у спектрі.

Література

1. Прокис, Дж. Цифровая связь [Текст] / Прокис Дж. – М. : Радио и связь, 2000. – 800 с.
2. Гепко, И. А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития [Текст] / И. А. Гепко, В. Ф. Олейник. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.
3. Ramirez-Mireles F. The benefits of DMT modulation for VDSL systems [Text] / F. Ramirez-Mireles, Q. Albrudi, S. Heidari, P. Sevalia. – Ikanos: Communications, 2002.

У статті наведено основні вимоги до систем електронного голосування. Запропоновано архітектура та структурна схема системи електронного голосування

Ключові слова: системи електронного голосування, вибори, структура

В статье приведены основные требования, предъявляемые к системам электронного голосования. Предложена архитектура и структурная схема системы электронного голосования

Ключевые слова: системы электронного голосования, выборы, структура

In the article main requests to e-voting systems were provided. The architecture and structure were proposed

Keywords: electronic voting, election, structure

УДК 681.176

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГОЛОСОВАНИЯ

С. П. Новоселов

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: (057) 702-14-86

E-mail: nsoft72@mail.ru

Ю. И. Богдан*

Контактный тел.: 097-377-33-57

E-mail: dancelusinda@gmail.com

О. О. Веселая*

*Кафедра «Технологии автоматизации производства»

Контактный тел.: (057) 702-14-86

E-mail: olga.veselaya@gmail.com

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Автоматизация процессов является важной составляющей развития современного общества, охватывающий все сферы его деятельности. Современные технологии позволяют автоматизировать множество задач в различных отраслях, где традиционно человек играл важную роль.

Человеческий фактор, пожалуй, один из главных факторов, оказывающий как положительное, так и отрицательное влияние на процесс производства. И чем ответственнее его роль, тем выше цена ошибки. Ярким примером этой закономерности может служить процесс выборов в правительственные органы.

Одним из перспективных направлений применения новых технологий является автоматизация процесса голосования. В ряде стран за последние десятилетия были разработаны и внедрены различные модификации системы электронного голосования (СЭГ). Это объясняется тем, что, в первую очередь, при использовании СЭГ существенно снижаются временные затра-

ты на обработку результатов, а также снижается роль влияния человеческого фактора на процесс и результат подсчета голосов. Кроме того, СЭГ позволяет учесть потребности людей с ограниченными возможностями.

Уровень автоматизации различных социальных процессов в стране, отражает общий уровень развития технологий и требует значительных капиталовложений. Это является одной из причин, почему на сегодняшний день в Украине не было попыток внедрения данных систем.

Опыт использования систем электронного голосования в различных странах показал, насколько высоки требования, которым они должны соответствовать для обеспечения честных и открытых выборов.

Выделим главные требования, предъявляемые к системе электронного голосования:

- 1) обеспечение анонимности голосования;
- 2) исключение фальсификаций;
- 3) точность подсчета;
- 4) высокая надежность программного и аппаратного обеспечения;