

УДК 621.396.967

Смоляр В.Г., к.т.н., доцент,

Слюсарь І.І., к.т.н., доцент,

Васильєв К.О., к.т.н.,

Грішин П.О., студент,

Леуш Д.Г. студент,

Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

## ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛІВ QAM ШЛЯХОМ МОДИФІКАЦІЇ АЛГОРИТМУ

*Анотація.* В роботі проведений аналіз особливостей визначення завадостійкості QAM модуляції та методів безперервного кодування на основі алгоритму Вітербі. В результаті аналізу запропоновано модифікований алгоритм QAM модуляції, що поєднує властивості безперервного кодування та повторної передачі сигналів.

*Ключові слова:* алгоритм Вітербі, імовірність помилки, активний маршрут, гратчаста діаграма, сигнальне сузір'я, QAM.

### Вступ

В ході аналізу характеристик та властивостей систем зв'язку з Квадратурною амплітудною модуляцією (Quadrature Amplitude Modulation) (QAM) було запропоновано спосіб який заснований на модифікації сузір'я QAM для підвищення завадостійкості, що збільшує загальний об'єм інформації яка передається в каналі [1]. За основу розглядається згорткові коди, а саме алгоритм Вітербі [2].

## Основна частина

Суть алгоритму Вітербі [2] полягає в заміні кожного інформаційного біта з одного на два сформовані за певним алгоритмом, а саме алгоритм підбирає маршрут через гратчасту діаграму, кодована версія якого відрізняється від отриманої найменшим числом елементів. Як тільки обрано правильний маршрут, декодер може відновити вхідні біти даних з вихідних бітів коду. Загальна формула імовірності помилки алгоритму Вітербі має вигляд:

$$P_w = \sum_{k=1}^{\infty} (w_k \cdot P_k) \quad (1)$$

де  $P_k$  – ймовірність помилки у виборі шляху по решітці коду;  $w_k$  – спектр ваг помилкового шляху.

Для кожного моменту часу  $i$  для кожного стану розраховується активний маршрут.

Активний маршрут розраховуємо через відстань за Хемінгом – число позицій, в яких відповідні символи двох слів однакової довжини різні [6]. Цю відстань можна знайти за формулою:

$$d = \sum_{k=1}^{\infty} (x_{ik} \cdot x_{yk}) \quad (2)$$

При умові, що відстань Хемінга завжди  $d(x, y) \leq n$ , де  $n$  – довжина слів в символах.

У даному випадку, активний маршрут – це коректний маршрут через гратчасту діаграму, для якого відстань за Хеммінгом до отриманого слова мінімальна до моменту часу  $i$ . У момент часу  $i$  позначимо кожний стан відстанню від його активного маршруту до отриманого слова. Використовується наступне співвідношення:

відстань до отриманого слова = відстань на попередньому кроці +  
 + відстань для останнього переходу.

Алгоритм виконується в  $(b + 1)$  крок, де  $b$  – визначений розмір вікна. Для коду  $(n, k, K)$  декодування першого блоку відбувається таким чином.

- Крок 0. Початковий стан ґрат у момент часу 0 позначається нулем, оскільки в цей момент маршрути не відрізняються.

- Крок  $i + 1$ . Для кожного стану  $S$  у момент часу  $(i + 1)$  за допомогою рівняння (1) знаходяться всі активні маршрути, які ведуть до нього. Стан  $S$  позначається довжиною даного маршруту (маршрутів).

- Крок  $b$ . Алгоритм припиняється в момент часу  $b$ . Якщо в цей момент часу всі активні маршрути починаються з одного відрізка, і мітка цього відрізка –  $x_0x_1x_2\dots x_{n-1}$ , то перший кодовий блок  $w_0w_1w_2\dots w_{n-1}$  виправляється на  $x_0x_1x_2\dots x_{n-1}$ . Якщо ж існують два активних початкових відрізки, помилка не виправляється.

Після прийняття й виправлення, при необхідності, першого кодового блоку вікно декодування зсувається на  $n$  бітів вправо, після чого виконується декодування наступного блоку.

Принцип декодування показано за допомогою ґратчастої діаграми (рис. 1).

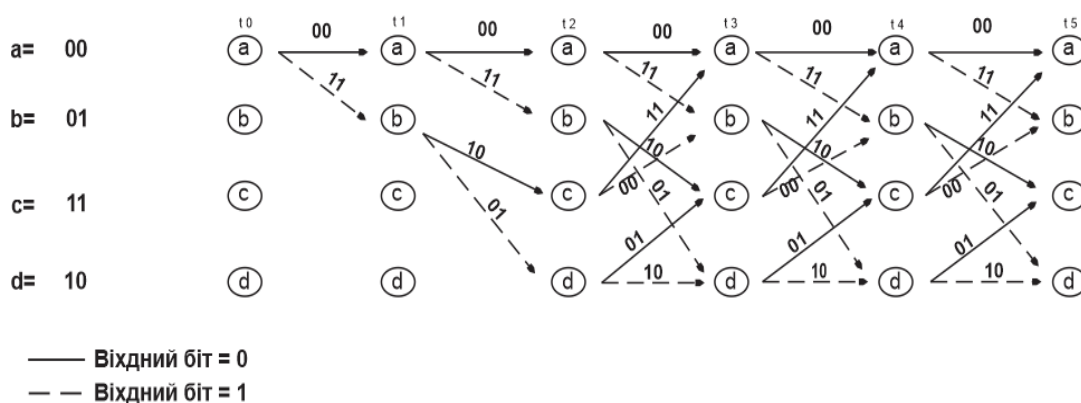


Рис.1. Ґратчаста діаграма станів алгоритму Вітербі

В результаті об’єм інформації яку передають в каналі збільшиться відносно потоку який передав абонент вдвічі [2].

Проте якщо необхідно зберегти швидкість передачі у каналі, потрібно

перейти на більш високо рівневі види модуляції, наприклад не фазову модуляцію, а у найпростішому варіанті алгоритм QAM-4.

При QAM змінюється як фаза, так й амплітуда сигналу, що дозволяє збільшити кількість кодованих бітів і при цьому істотно підвищити стійкість перед завадами.

Квадратурне уявлення сигналів є зручним і досить універсальним засобом їх опису (рис. 2). Воно полягає у виразі коливання лінійною комбінацією двох ортогональних складових – синусоїдальної і косинусоїдальної.

При виборі типу сузір'я основна увага повинна бути приділена наступним моментам.

1. Мінімальна відстань між векторами (сигнальними точками). Вона повинна бути якомога більше в рамках інших обмежень, так як її значення визначає величину ймовірності помилки при прийомі одного символу.

2. Різниці фаз між векторами. Вони повинні бути якомога більше в рамках інших обмежень, так як це визначає стійкість коливання фази і, отже, стійкість схеми фазової синхронізації на приймальній стороні.

3. Середня потужність вектору. Вона повинна бути якомога менше в рамках інших обмежень.

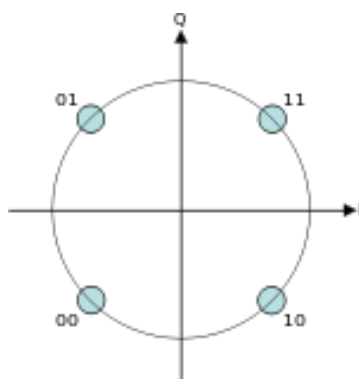


Рис. 2. Сигнальне сузір'я QAM-4

Відношення пікової потужності сигналу до середньої потужності кожного вектору (пік-фактор), який характеризує ступінь нелінійного спотворення сигналів, викликаного обмеженням амплітуди в підсилювачі потужності. Ця

величина повинна бути якомога ближче до одиниці, наскільки можливо відповідно до іншими обмеженнями.

Складність реалізації.

Інші властивості, такі як стійкість до впливу завмирань сигналів на шляху поширення від передавача до приймача.

Результати досліджень показали, що квадратне сузір'я є найбільш вдалим підходящим вибором в каналах з постійними параметрами і адитивним білим гаусовим шумом (Additive white Gaussian noise, AWGN). Таке сузір'я може бути легко сформовано як два сигналу АМ модульовані двома квадратичними несучими. Воно може бути легко демодульоване, для отримання двох квадратурних складових. Кожна квадратурна складова може демодулювати індивідуально, з подальшим порівнянням з набором порогових значень. Деякі інші сузір'я дозволяють досягти меншого значення ймовірності помилкового прийому символу, але при цьому мають більш складну технічну реалізацію. Тому в подальшому в основному розглядається саме це сузір'я.

Оскільки необхідно зберегти швидкість передачі у каналі, потрібно перейти на більш високо рівневі види модуляції, наприклад не фазову модуляцію, а у найпростішому варіанті алгоритм QAM-4. Було обрано саме цей варіант тому що сигнали рівня кабельних передач не накладають особливих вимог до якості розподільного тракту і, як правило, можуть бути додані в уже існуючі мережі.

За наявності запасу завадостійкості за Шеноном для QAM використано теорему Шенона-Хартлі, тобто для того щоб знайти модуляції число «М», її розрядність, використовуючи Формулу Хартлі, ми можемо знайти ефективне число рівнів (М), які можна знайти за формулами [8, 9]:

$$2B \log_2 M = B \log_2 \left( 1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right), \quad (3)$$

$$M = \sqrt{1 + \frac{P_c}{P_{ш}}}, \quad (4)$$

де  $B$  – смуга пропускання в Герцах,  $M$  – число рівнів.

Через вирази (3), (4) можна знайти ефективне число рівнів  $M$ , а отже визначає яку розрядність QAM можна використовувати. І лише при наявності цього запасу можна перейти на QAM модуляцію. А отже передавати кожен біт двічі.

Як наслідок, пропонується модифікувати алгоритм формування сузір'я QAM таким чином, щоб не збільшуючи швидкість передачі, використовувати принципи кодування алгоритму Вітербі забезпечити процес виявлення і виправлення одинарних помилок за рахунок повторної передачі. Формула імовірності одинарних помилок представлена нижче:

$$P_{\text{пом}} = (1 - \Phi(\sqrt{0,2q})) \quad (5)$$

де  $\Phi$  – функція Крампа, а  $q$  – дисперсія шуму.

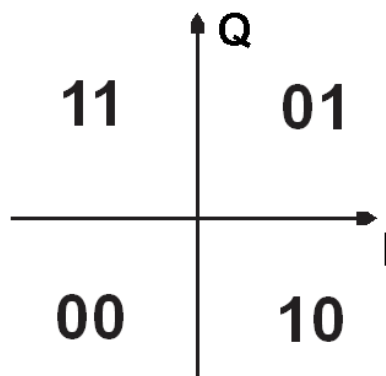


Рис. 3. Модифіковане сузір'я QAM-4

Сутність запропоновано методу полягає в тому, щоб модифікувати алгоритм QAM таким чином щоб кожна наступна пара бітів буде залежати від попереднього інформаційного блоку, аналіз поєднання можливих і неможливих пар бітів дає змогу виявляти, та виправляти помилки за принципами схожими на ті, які використовуються в алгоритмі Вітербі, для того щоб мати можливість знаходити та виправляти помилки використовуються принципи повторної передачі.

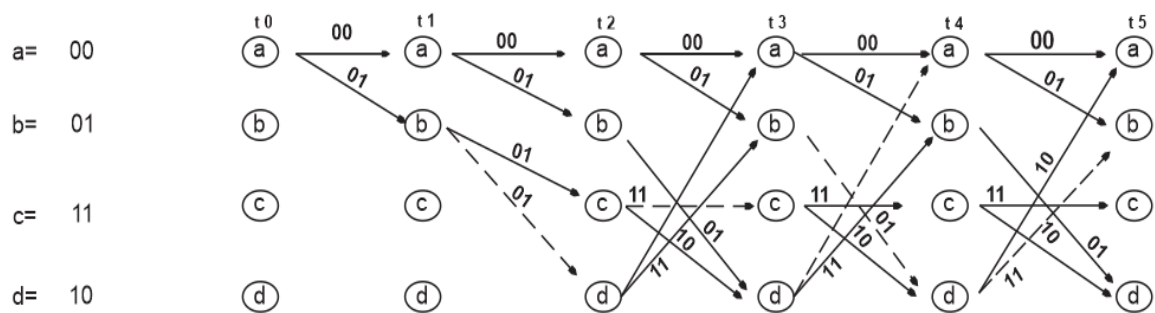


Рис. 4. Ґратчаста діаграма станів сузір'я QAM-4

## ВИСНОВКИ

В статті були розглянуті стандарт QAM та алгоритм згорткових кодів Вітербі. Було запропоновано новий метод який в собі буде об'єднувати базові принципи обох методів в одному. А саме поєднання модифікованого сузір'я алгоритму QAM та принципів алгоритму Вітербі – пошуку і виправлення помилок, а також принципів повторної передачі дозволить підвищити достовірність передачі інформації. Даний метод дозволяє теоретично підвищити завадостійкість передачі інформації, детальне дослідження його граничних можливостей буде проведено в подальших дослідженнях.

## Посилання

1. Деев, В.В. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи / В.В. Деев. – СПб.: Наука, 2007. – 267 с.
2. Волков, Л.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. пособие / Л.С. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
3. Банкет в.Л. Дискретная математика в задачах теории цифровой связи: учеб. пособ. / в.Л. Банкет – Одесса: ОНАС, 2008. – 118 с.
4. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки / У. Питерсон, Э Уэлдон; Пер. с англ. под ред. Р.Л. Добрушина. М.: Мир, 1976. – 594 с.
5. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации /А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов, и др.]; под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 282 с.

6. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки./ Блейхут Р.; Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 576 с.

8. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963. – 830 с.

9. Рассел Дж. Теорема Шеннона-Хартли./ Рассел Дж. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 581 с.

**Authors:**

Smolar V.G., Sliusar I.I., Vasiliev K.A., Grishin P.A., Leush D.G.

**INCREASING NOISE IMMUNITY OF QAM SIGNALS BY MODIFYING THE ALGORITHM**

**Abstract.** In the analysis of the characteristics and properties of quadrature amplitude modulation (QAM) systems, a method was proposed that is based on the modification of the QAM constellation to increase the noise immunity, which increases the total amount of information transmitted in the channel. The basis is considered convolution codes, namely the Viterbi algorithm.

**Keywords:** antenna, directional diagram, fractal, MMANA, SWR.

**Авторы:**

Смоляр В.Г., Слюсарь И.И., Васильев К.А., Гришин П.А., Леуш Д.Г.

**ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИГНАЛОВ QAM ПУТЕМ МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА**

**Аннотация.** В работе проведен анализ особенностей определения помехоустойчивости QAM модуляции и методов непрерывного кодирования на основ алгоритму Витерби. В результате анализа предложено модифицированный алгоритм QAM, объединяющий свойства непрерывного кодирования и повторной передачи сигналов.

**Ключевые слова:** алгоритм Витерби, вероятность ошибки, активный маршрут, решетчатая диаграмма, сигнальное созвездие, QAM.