

УДК 621.391

О.С. Бойченко, В.В. Воротніков, В.В. Умінський

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова НАУ, Житомир

АНАЛІЗ ПЕРЕШКОДОСТІЙКОСТІ ЗАХИЩЕНИХ ПРОТОКОЛІВ ОБМІНУ ДАНИМИ

В статті проводиться розгляд та аналіз перешкодостійкості методів модуляції, що використовуються у захищених протоколах обміну персональними даними бездротових мереж стандартів IEEE 802.11a/b/g.

Ключові слова: перешкодостійкість, бездротові мережі, захищені протоколи, модуляція.

Вступ

Постановка проблеми. Переваги бездротових інформаційно-комунікаційних мереж спричинили їх швидке поширення та розвиток нових й удосконалення існуючих стандартів. Кожен стандарт визначає швидкість та дальність обміну персональними даними.

Організація обміну даними в WIFI [2] встановлюється стандартами бездротових мереж IEEE 802.11 a/b/g. Проблема вибору захищеного протоколу, який забезпечує кращу перешкодостійкість в бездротових мережах, що постає при організації обміну даними в мережах WIFI, є актуальною задачею.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Перешкодостійкість (P_n) однозначно визначається енергією сигналів [3], що можна представити функціональною залежністю величини відношення енергії сигналу до енергії перешкоди на вході приймача [5]:

$$P_n = f(q_{вх}) = f\left(\frac{E_c}{E_n}\right),$$

де E_c – енергія сигналу; E_n – енергія перешкоди.

Для знаходження та кількісної оцінки перешкодостійкості використовується геометричне представлення сигналів в гільбертовій площині [5].

Враховуючи те, що до стандартів бездротових мереж в сучасному світі висуваються вимоги щодо підвищення швидкості обміну даними, за умови, що

енергія сигналу на відповідних частотах повинна бути однаковою для різних видів модуляції, вибір виду модуляції визначається енергетичними характеристиками передавача [4].

Методика вибору відповідного захищеного протоколу має два напрямки. Перший напрямок [3] пропонує обирати види модуляції для покращення перешкодостійкості. Другий підхід [4] пропонує використання різних технологій передачі сигналів, серед яких варто відмітити такі, як розширення спектру сигналу [5], ортогональне мультиплексування з розділенням по частоті [1] тощо.

Формулювання завдання та цілей статті. Метою роботи є розгляд та порівняльний аналіз перешкодостійкості видів модуляції, що використовуються для передачі даних у захищених протоколах.

Виклад основного матеріалу

Бездротові мережі для обміну даними використовують різні види модуляції для забезпечення безпеки та захисту [1, 4]. Безпосередній вибір модуляції залежить від того, яка необхідна швидкість передачі даних та ступінь захищеності інформації. Стандарт 802.11 визначає теоретичні аспекти функціонування радіомереж. А стандарти 802.11a, 802.11b, 802.11g – це доповнення до основного стандарту, в яких використовуються різні види модуляції. В табл. 1 наведено, який вид модуляції в якому стандарті використовується [6].

Таблиця 1

Види модуляцій для стандартів IEEE 802.11

Стандарт	Діапазон частот (ГГц)	Швидкість передачі (МБіт/с)	Радіус дії	Модуляція
802.11a	5.15-5.35 та 5.725-5.825	6,9,12,18,24,36,48,54	До 50м	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
802.11b	2.4-2.483	До 11	До 100м	BPSK, QPSK
802.11g	2.4-2.483	1,6,9,11,12,18,22,36,48,54	До 100м	QPSK, 16-QAM 64-QAM

Таким чином початковими умовами для аналізу перешкодостійкості є:

1. Сигнали з двох та чотирьох позиційною фазовою модуляцією, сигнали з 16-ти та 64-х позиційною квадратурно-амплітудною модуляцією.

2. Базис ортонормованих функцій для кожного з n сигналів, який передається кожні T_s секунд представлено функціями $\{\varphi_1(t), \dots, \varphi_n(t)\}$, які в свою чер-

гу повинні задовольняти таким умовам:

$$\int_0^{T_s} \varphi_i(t) * \varphi_j^*(t) dt = 0 \text{ для будь-якого } i \neq j \text{ (умова ортогональності функцій);}$$

$$\int_0^{T_s} |\varphi_i(t)| dt = 1 \text{ для будь-якого } i \text{ (умова нормування функцій);}$$

$$S_n(t) = \sum_{i=1}^n S_{n,i} \varphi_i(t) \leftrightarrow S_{n,i} = \int_0^{T_s} S_n(t) * \varphi_i^*(t) dt \quad (1)$$

(узагальнений ряд Фур'є).

Розклад неперервних сигналів в ряд (1) зручно представити геометричною інтерпретацією в n -вимірному просторі.

Для сигналів з фазовою модуляцією BPSK, QPSK [5] вираз промодульованого сигналу представлено у вигляді:

$$S_n(t) = A \cos(\omega_c t + \theta_n) = A \cos(\theta_n) \cos(\omega_c t) - A \sin(\theta_n) \sin(\omega_c t),$$

де A – амплітуда сигналу; ω_c – несуча частота; θ_n – значення початкових фаз, які визначаються кодом модульованого сигналу $\theta_n \in \left\{ \frac{2\pi i}{H}; i = 0, 1, 2, \dots, H-1 \right\}$ [4].

Базис ортонормованих функцій можна представити у вигляді

$$\begin{aligned} \varphi_1(t) &= \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(\omega_c t); \\ \varphi_2(t) &= \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(\omega_c t), \end{aligned} \quad (2)$$

де T_s – тривалість вихідного сигналу, яка визначає тривалість одного біта вихідного сигналу

$$T_B = \frac{T_s}{\log_2 H}.$$

Таким чином отримано:

$$S_n = \sqrt{E_s} (\cos(\theta_n) \varphi_1(t) - \sin(\theta_n) \varphi_2(t)), \quad (3)$$

де $E_s = \frac{A^2 T_s}{2}$ – енергія сигналу [3].

Енергія, що припадає на один біт інформації,

$$\text{дорівнює } E_B = \frac{A^2 T_B}{2} \text{ або } E_B = \frac{E_s}{\log_2 H} \quad [3].$$

Вираз (1) у символічному поданні має вигляд:

$$S_n = \sqrt{E_s} \{ \cos(\theta_n), -\sin(\theta_n) \},$$

де вираз в фігурних лапках є координатами точки в H -вимірному просторі, а величина $\sqrt{E_s}$ – довжина вектору.

Враховуючи, що ортонормований базис складається з двох функцій, то даний простір є двовимірним ($H=2$). Геометричне місце точок в сузір'ї є колом, що пояснюється зміною лише фази [4].

На рис. 1 зображені сузір'я двох- та чотирих-позиційних типів фазової модуляції.

Поставлена задача зводиться до визначення мінімальної відстані між можливими станами сигналу a_{\min} , який представлено через середню енергію, що припадає на один біт E_B :

$$a_{\min} = a \sqrt{E_B}. \quad (4)$$

Для сигналів фазової модуляції BPSK та QPSK за теоремою косинусів маємо (рис. 1):

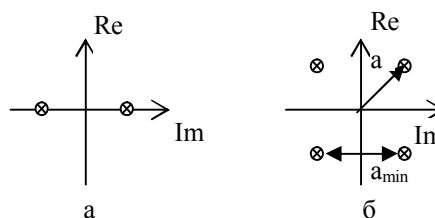


Рис. 1. Сузір'я сигналів а – BPSK та б – QPSK

$$a = \sqrt{2(1 - \cos \theta)}, \text{ де } \theta = \frac{360}{H}.$$

Для BPSK $H=2$, тоді $\theta = \frac{360}{2} = 180$.

Для QPSK $H=4$, тоді $\theta = \frac{360}{4} = 90$.

Для розглянутих типів фазової модуляції визначено, що геометрична відстань $a = 2$ для BPSK та $a = \sqrt{2}$ для QPSK, відповідно.

Знаходження a_{\min} буде зведено до наступного:

$$a_{\min} = a \sqrt{E_s}, \quad E_s = 4E_B$$

за умови $T_s = 4T_B$.

Тому $a_{\min} = 2\sqrt{E_s} = 2\sqrt{E_B}$ для BPSK та $a_{\min} = \sqrt{2E_s} = 2\sqrt{E_B}$ для QPSK.

Для квадратурно-амплітудної модуляції сигнал (1) має наступний вигляд:

$$S_n(t) = A_n \cos(\omega_c t + \theta_n) + B_n \sin(\omega_c t + \theta_n), \quad (5)$$

де $A_n, B_n \in \{\pm A, \pm 3A\}$.

При використанні квадратурно-амплітудної модуляції відбувається одночасно зміна амплітуди та фази несучого коливання.

Для цього типу модуляції базис ортонормованих функцій може бути подано у вигляді

$$\begin{aligned} \varphi_1(t) &= \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(\omega_c t + \theta), \\ \varphi_2(t) &= \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(\omega_c t + \theta), \end{aligned}$$

що дозволяє представити сигнал, як

$$S_n = A_n \sqrt{\frac{T_s}{2}} \varphi_1(t) + B_n \sqrt{\frac{T_s}{2}} \varphi_2(t).$$

Тому, промодульований сигнал може бути поданий як функція від амплітуди гармонік та інтервалу передачі сигналів:

$$S_n(t) = \left(A_n \sqrt{\frac{T_s}{2}}, B_n \sqrt{\frac{T_s}{2}} \right). \quad (6)$$

На рис. 2 зображена сукупність точок, координати яких визначаються виразом (5).

Для сигналу 16-QAM всі точки в сузір'ї розташовані на одній відстані одна від одної, тому a_{\min} знаходиться як:

$$a_{\min} = 2A \sqrt{\frac{T_s}{2}} = \sqrt{2A^2 T_s}. \quad (7)$$

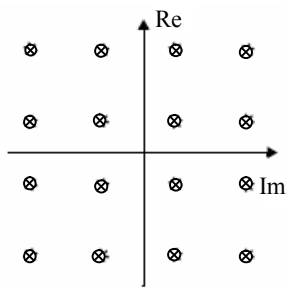


Рис. 2. Сузір'я сигналу 16-QAM

Для того, щоб привести вираз для a_{\min} до виду (4), необхідно визначити E_B . В даному випадку середню енергію сигналу

$$E_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{ср}}^2 T_s}{2},$$

де $A_{\text{ср}} = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$ [3].

В якості A_n та B_n обираються відповідно максимальне та мінімальне за модулем значення.

$$A_{\text{ср}} = \sqrt{A^2 + 3A^2} = \sqrt{10A^2},$$

$$E_{\text{ср}} = \frac{10A^2 T_s}{2} = 5A^2 T_s.$$

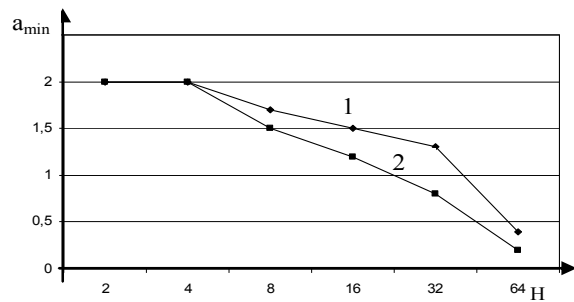
Залежність середньої енергії сигналу від амплітуди та тривалості передачі символу наведено як

$$A^2 T = \frac{E_{\text{ср}}}{5}. \quad (8)$$

Мінімальна відстань a_{\min} між можливими станями сигналів для 16-QAM визначається як:

$$a_{\min} = \sqrt{\frac{2}{5}} E_{\text{ср}} \quad \text{або} \quad a_{\min} = \sqrt{\frac{8}{5}} E_{B\text{ср}} = 1,265 \sqrt{E_{B\text{ср}}}.$$

Розрахунок для інших видів модуляції проведено аналогічним чином. За результатами аналізу побудовано залежність перешкодостійкості різних видів модуляції a_{\min} від кількості позицій модуляції N , яка зображена на рис. 3. Зі збільшенням кількості позицій модуляції перешкодостійкість нелінійно зменшується, що пояснюється зменшенням мінімальної відстані між точками в сузір'ях сигналів. В такому випадку для підвищення перешкодостійкості сигналу необхідно збільшити енергію переданого сигналу, що неприпустимо для стандартів бездротових мереж IEEE 802.11 a/b/g.

Рис. 3. Залежність перешкодостійкості від кількості позицій модуляції N : 1 – QAM; 2 – PSK

ВИСНОВКИ

Аналіз видів модуляції сигналів, використовуваних при обміні персональними даними в бездротових мережах стандартів IEEE 802.11 a/b/g свідчить про те, що їх перешкодостійкість нелінійно зменшується зі збільшенням кількості позицій модуляції. Задача вибору виду модуляції залежить від мети та призначення інформаційно-комунікаційної мережі, визначається вимогами до швидкостей та достовірності обміну даними і є задачею оптимального рішення.

Список літератури

1. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневський, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
2. Восколович О.И. Анализ основных методов формирования та обробки сигналів в радіоканалах із зашумленням / О.И. Восколович, О.И. Волков, О.М. Макачук // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 2. – С. 21-27.
3. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи / И.А. Голяницкий; под ред. Ю.А. Громакова. – М.: Техносфера, 2005. – 392 с.
4. Пахомов С. Анатомия беспроводных сетей / С. Пахомов // КомпьютерПресс. – 2002. – №7. – С. 167-175.
5. Пеннин П.И. Радиотехнические системы передачи информации: учеб. пособие для вузов / П.И. Пеннин, Л.И. Филипов. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
6. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. – М.: Сов. радио, 1970. – 727 с.
7. Широков И.Б. Выбор вида модуляции для цифровых систем передачи данных / И.Б. Широков, М.А. Дурманов // Збірник наукових праць. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2008. – С. 114-118.

Надійшла до редколегії 15.02.2010

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. В.О. Василець, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ЗАЩИЩЕННЫХ ПРОТОКОЛОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ

О.С. Бойченко, В.В. Воротников, В.В. Уминский

В статье проведен анализ помехоустойчивости методов модуляции, которые используются в защищенных протоколах обмена персональными данными беспроводных сетей стандартов IEEE 802.11a/b/g.

Ключевые слова: помехоустойчивость, беспроводные сети, защищенные протоколы, модуляция.

ANALYSIS OF ANTIJAMMINGNESS OF THE PROTECTED PROTOCOLS OF EXCHANGE BY INFORMATION

O.S. Boychenko, V.V. Vorotnikov, V.V. Uminskiy

In the article the analysis of antijammingness of methods is conducted modulations which are in the protected protocols of exchange the personal information of wireless networks of standards IEEE 802.11a/b/g.

Keywords: antijammingness, wireless networks, protected protocols, modulation.