

УДК 621.396.662.072.078

О.Г. Варфоломеева¹, О.І. Чумак², Н.М. Довженко¹, Є.В. Литка¹¹ Державний університет телекомунікацій, Київ² Воєнно-Дипломатична Академія імені Є. Березняка, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ І МЕТОДІВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ В МЕРЕЖАХ LTE

В статті обґрунтовано актуальність дослідження завадостійкості і методів оптимального прийому сигналів в мережах LTE. Визначено переваги переходу до мереж майбутнього покоління FN (Future Networks). Розглянуто архітектуру мережі LTE та широкосмугові системи зв'язку. Досліджено алгоритми визначення ймовірності помилки при різних методах прийому складених сигналів при флуктуаційних завадах. Наведено графіки ймовірностей помилок при різних методах прийому сигналів.

Ключові слова: мережа LTE, широкосмугова система, складений сигнал, флуктуаційна завада.

Вступ

Постановка задачі. Архітектура мережі LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з так званою "плавною" ("безшовною", seamless) мобільністю, мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування.

Технологія LTE базується на трьох основних технологіях: мультиплексування за допомогою ортогональних OFDM (Orthogonal Frequency - Division Multiplexing) несучих, що транслюються за допомогою багатопробієвих систем MIMO (MultipleInput Multiple Output) та на еволюційній системній архітектурі мережі SAE (System Architecture Evolution). SAE (System Architecture Evolution) - це мережна архітектура, розроблена з метою безшовної інтеграції мобільної мережі з іншими мережами, що працюють за протоколом IP [6,8].

Фізичний рівень мереж LTE реалізований на базі технології OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним рознесенням – Orthogonal Frequency Division Multiplexing) і технології SC-FDMA (мультиплексування з частотним рознесенням з передачею на одній несучій - Single-Carrier Frequency Division Multiple Access). Основною метою використання технології OFDM є усунення впливу завад, викликаних багатопробієвим поширенням сигналу.

Широкосмугові системи зв'язку використовуються в різних каналах зв'язку. Для кожного з цих каналів зв'язку характерні свої види завад. Тому дослідження питань завадостійкості широкосмугових систем зв'язку при різних методах прийому є надзвичайно актуальним.

Широкосмугові системи дозволяють ефективно боротися з зосередженими завадами і завадами, викликаними багатопробієвим характером поширення сигналу. Проте вплив цих завад усувається не

повністю і вони знижують достовірність передачі інформації. Тому виникають труднощі, з якими стикаються при дослідженні реальної завадостійкості широкосмугових систем зв'язку. Хоча якісно картина представляється зрозумілою, розмаїття завад і специфічність впливу деяких з них на широкосмугові системи зв'язку не дозволяють кількісно врахувати одночасно вплив усіх завад. Цьому заважає ще відсутність достатньо повних відомостей про ряд завад (наприклад, зосереджених), про характеристики замирань, взаємне розташування променів при багатопробієвому поширенні та ін [2].

Основна частина

Розглянемо когерентний прийом в цілому і некогерентний прийом в цілому з когерентним накопиченням та автокореляційні методи прийому складених сигналів [1, 3, 4].

При когерентному прийомі в цілому і некогерентному прийомі з когерентним накопиченням складений сигнал приймається як єдине ціле. Ці методи прийому складених сигналів в цілому відрізняються від відповідних методів поелементного прийому тим, що елементарний сигнал замінюється складеним. Структура і властивості складеного сигналу не впливають на завадостійкість методів прийому при флуктуаційних завадах; вона визначається виключно відношенням енергії сигналу $Q^2 = P_c T$ до спектральної щільності потужності завади, тобто:

$$h^2 = \frac{Q^2}{v_0^2} \quad (1)$$

Енергія складеного сигналу дорівнює:

$$\sum_{k=1}^W Q_k^2 \quad (2)$$

тому

$$h^2 = \frac{\sum_{k=1}^W Q_k^2}{v_0^2} \quad (3)$$

При рівній енергії елементів складеного сигналу маємо:

$$h^2 = \frac{Q^2}{v_0^2} = \frac{NQ_k^2}{v_0^2} = Nh_k^2. \quad (4)$$

Розглянемо вирази для ймовірностей помилки при когерентному і оптимальному некогерентному методах прийому деяких видів складених сигналів у двійкових системах, відповідно перетворивши відомі вирази для поелементного прийому [6,7].

1. Когерентний метод прийому в цілому. Вираз ймовірності помилки для даного випадку

$$\rho_{KM} = F(\gamma\sqrt{Nh_k}), \quad (5)$$

де $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$,

γ – коефіцієнт, що дорівнює $\sqrt{2}$ для систем з протилежними сигналами; 1 – для систем з ортогональними сигналами з активною паузою; $1/\sqrt{2}$ – для систем з пасивною паузою.

Для систем з однократною ФРМ:

$$\rho_{KM} = 2F(\sqrt{2}\sqrt{Nh_k}). \quad (6)$$

2. Некогерентний прийом з когерентним накопиченням. При прийомі ортогональних в посиленому сенсі сигналів з активною паузою ймовірність помилки дорівнює

$$\rho_{опт} = \frac{1}{2} \exp\left(-\frac{Nh_k}{2}\right). \quad (7)$$

При прийомі сигналів з однократною ФРМ

$$\rho_{ФРМ} = \frac{1}{2} \exp(-Nh_k^2). \quad (8)$$

У багатопозиційних системах з числом варіантів сигналу m ймовірності помилки будуть визначатися наступними виразами, для двох видів прийому.

1. Когерентний прийом в цілому при прийомі ортогональних у посиленому сенсі сигналів з активною паузою

$$\rho_{KM} = F(\gamma\sqrt{Nh_k}). \quad (9)$$

де $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$.

При прийомі складених сигналів з багатократною ФРМ

$$\rho_{ФРМ} \approx 2F\left(\sqrt{2}\sqrt{Nh_k} \sin\left[\frac{\pi}{2^n}\right]\right), \quad (10)$$

де n – кратність системи, $m = 2^n$.

2. Некогерентний прийом з когерентним накопиченням при прийомі ортогональних в посиленому сенсі сигналів з активною паузою:

$$\rho_{опт} = \sum_{n=1}^{m-1} (-1)^{n+1} C_{m-1}^n \frac{1}{n+1} \exp\left(-\frac{n}{n+1} Nh_k^2\right). \quad (11)$$

де $C_{m-1}^n = \frac{(m-1)!}{n!(m-1-n)!}$.

Тому можемо зробити висновок, що у відповідності з виразами (5) - (11) ймовірність помилки при когерентному та некогерентному з когерентним накопиченням методах прийому при рівній енергії складених сигналів не залежить від бази і смуги частоти сигналу [9, 10].

У випадку автокореляційного методу прийому (оптимального прийому сигналів невідомої форми)

сигналів із частотною модуляцією (ЧМ) є широко-смуговий прийом з інтегруванням після детектора. Отриманий вираз для ймовірності помилки при прийманні за цим методом двійкових сигналів ЧМ із більшим рознесенням (сигналів ортогональних у посиленому змісті). Даний вираз доцільний при прийманні сигналів з великою базою і в наших позначеннях має вигляд

$$\rho_{опт} = F\left(\frac{h}{\sqrt{2}\sqrt{1+\frac{FT}{h^2}}}\right). \quad (12)$$

де F – смуга пропущення фільтра приймача; T – тривалість послілки сигналу.

При прийманні сигналів з однократною ФРМ

$$\rho_{ФРМ} = F\left(\frac{h}{\sqrt{2}\sqrt{1+\frac{FT}{2h^2}}}\right). \quad (13)$$

Проаналізуємо завадостійкість автокореляційного методу прийому двійкових сигналів з кореляційно-часовою модуляцією. Алгоритм роботи приймача в цьому випадку записується у вигляді

$$\text{sign } l = \text{sign} \int_{[T]}^{T+\tau} x(t-\tau)x(t)dt. \quad (14)$$

Обчислимо інтеграл у виразі (14). Вважаємо, що був переданий перший варіант сигналу:

$$\begin{cases} x(t) = s(t) + s(t-\tau) + \xi(t) \\ x(t-\tau) = s(t-\tau) + s(t-2\tau) + \xi(t-\tau) \end{cases} \quad (15)$$

При однократній ФРМ у якості варіантів використовуються наступні сигнали:

$$\begin{cases} S_1(t) = \begin{cases} s(t) & 0 \leq t \leq T \\ s(t+T) & T \leq t \leq 2T \end{cases} \\ S_2(t) = \begin{cases} s(t) & 0 \leq t \leq T \\ -s(t+T) & T \leq t \leq 2T \end{cases} \end{cases} \quad (16)$$

де $S(t)$ – сигнал, що повторюється до послілки.

Алгоритм кореляційного прийому сигналів з однократною ФРМ має аналогічний вид, але в цьому випадку час затримки дорівнює тривалості послілки T . Подальший аналіз приймання сигналів із ФРМ аналогічний представленому вище, але в цьому випадку величини $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_6, \theta_7$ дорівнюють нулю (відсутні). Випадкова величина θ має дисперсію:

$$M_2(\theta) = v_c^2 v_0^2 M\left(1 + \frac{v_0^2}{2v_c^2}\right). \quad (17)$$

Ймовірність помилки при прийманні із ФРМ

$$\rho_{ФРМ} = F\left(\frac{h}{\sqrt{2}\sqrt{1+\frac{FT}{2h^2}}}\right). \quad (18)$$

На рис. 1 наведено криві, що характеризують ймовірність помилок при різних методах прийому складених сигналів у двійкових системах зв'язку.

Як видно з порівняння відповідних виразів і графіків, складені сигнали із ФРМ при всіх методах прийому забезпечують вигравш по енергії у два рази,

порівняно із системами з ортогональними сигналами. Це справедливо як для взаємкореляційних, так для автокореляційних методів прийому.

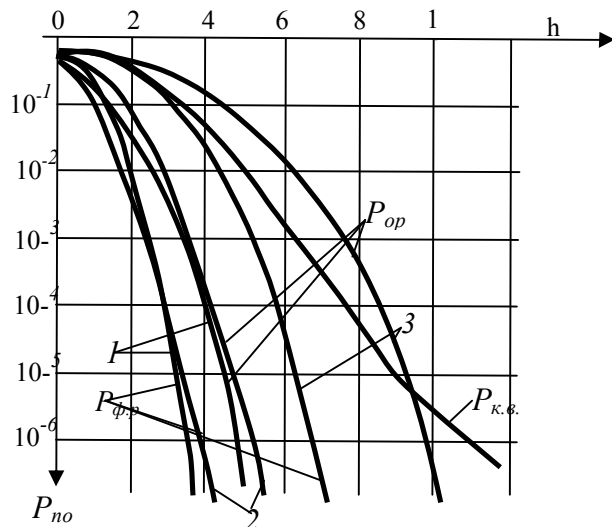


Рис. 1. Імовірності помилок при прийманні двійкових складених сигналів: 1 – когерентний прийом в цілому, 2 – некогерентний прийом з когерентним накопиченням, 3 – некогерентний прийом з некогерентним накопиченням; автокореляційний прийом $N(FT)=100$

Висновки

При дослідженні завадостійкості і методів оптимального прийому сигналів в мережах LTE визначено:

- технологія LTE базується на трьох основних технологіях: OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) MIMO (Multiple Input Multiple Output) мережі SAE (System Architecture Evolution);
- імовірність помилки при когерентному та некогерентному з когерентним накопиченням методах прийому при рівній енергії складених сигналів не залежить від бази і смуги частоти сигналу;

- складені сигнали із ФРМ при всіх методах прийому забезпечують вигравш по енергії у два рази, у порівнянні із системами з ортогональними сигналами.

Список літератури

1. Беркман Л.Н. Методы когерентного приема многопозиционных АФМ сигналов многоканальных модемов /Л.Н. Беркман// Сб. научных трудов (Центр научно-исследовательский институт связи). – 1987. – С. 44-50.
2. Варакин Л.Е. Интеллектуальная сеть: эволюция сетей и услуг связи / Л.Е. Варакин // Электросвязь.– 1992.– № 1.– С. 22-24.
3. Варфоломеева О.Г. Методика розрахунку пропускної спроможності каналів системи управління телекомунікаційними мережами /Варфоломеева О.Г., Мніщенко С.І., Чумак О.І.// Достижения в телекоммуникациях за 10 лет независимости Украины: сборник докладов V Международной научно-практической конференции (Часть 1), 21-22 августа.– Одесса, 2001. – С. 79-80.
4. Витерби Э.Д. Принципы когерентной связи / Э.Д. Витерби. – М.: Сов. радио, 1970. – 392с.
5. Гинзбург В.В. Использование многоканальных модемов для высокоскоростной передачи дискретной информации / В.В. Гинзбург, В.С. Гиришов, Ю.Б. Окунев// Электросвязь. – 1984. –№10. – С.42-47.
6. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Л.М. Невдяев.– М.: МЦНТИ, 2000. – 208 с.
7. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции / Ю.Б.Окунев. – М.: Связь, 1979.–215с.
8. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [Поповський В.В., Олійник В.Ф. та ін.]. – Х.: СМІТ, 2006. – 564 с.
9. Стеклов В.К. Оптимізація параметрів багатоканальних модемів / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, О.І. Чумак // Вісник. – 2002. – №2. – С. 124-131.
10. Стеклов В. К. Проектування телекомунікаційних мереж /В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман/ – К.: Техніка, 2002. – 792 с.

Надійшла до редколегії 20.05.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Н. Беркман, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И МЕТОДОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ В СЕТЯХ LTE

О.Г. Варфоломеева, О.І. Чумак, Н.М. Довженко, Є.В. Литка

В статье обоснована актуальность исследования помехоустойчивости и методов оптимального приема сигналов в сетях LTE. Определены преимущества перехода к сетям будущего поколения FN (Future Networks). Рассмотрена архитектура сети LTE и широкополосные системы связи. Исследованы алгоритмы определения вероятности ошибки при различных методах приема составных сигналов при флуктуационных помехах. Приведены графики вероятностей ошибок при различных методах приема сигналов.

Ключевые слова: сеть LTE, широкополосная система, составной сигнал, флуктуационная помеха.

RESEARCH OF NOISE IMMUNITY AND METHODS OF OPTIMAL RECEPTION IN LTE NETWORK

O.G. Varfolomeyeva, A.I. Chumak, N.M. Dovzhenko, E.V. Lytka

The article emphasizes that the development of telecommunication networks is impossible without the creation of qualitative information channels with high noise immunity. The analysis of the architecture of telecommunications networks in the transition to the Global information infrastructure has been done. The application of access systems based on LTE has been substantiated. The algorithms of optimal reception of composite signals in broadband communications have been studied, including coherent reception in general and incoherent reception as a whole with coherent accumulation and autocorrelation methods of receiving composite signals. Graphs containing probability of errors with different methods of signal reception are presented.

Keywords: convergent network, multiservice network, IP-technology, telecommunications service, IP-network, OFDM technology, LTE network, coherent reception, incoherent reception, autocorrelation method.