

Рецензент: доктор техн. наук Н. В. Федорова, Государственный университет телекоммуникаций, Київ.

Elissawi Kamal Khalifa A.

ПРИНЦИПИ МЕРЕЖНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МАКРОМЕРЕЖАХ

Розглянуто принципи здійснення мережної синхронізації в мультисервісній макромережі мобільного оператора. Визначено основні та додаткові способи синхронізації в зазначеній мережі. Наведено базові конфігурації мереж синхронізації з використанням протоколу PTP.

Ключові слова: мультисервісна макромережа; мережна синхронізація; принципи мережної синхронізації; мережні елементи; конфігурація мереж.

Elissawi Kamal Khalifa A.

PRINCIPLES OF NETWORK SYNCHRONIZATION IN MULTISERVICE MACRO NETWORKS

The principles of the distribution of network synchronization in the multiservice macro network of the mobile operator are considered. The main methods of network synchronization are indicated. Additional types of synchronization in the multi-service macros-network of the mobile operator are given. Basic configurations of synchronization networks using PTP are shown.

Keywords: multiservice macro network; network synchronization; principles of network synchronization; network elements; network configuration.

УДК 621.398.96

Є. О. ЛОСЄВ, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИНТЕЗОВАНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ КОНКРЕТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методику розрахунку завадостійкості синтезованого алгоритму для конкретних систем при використанні багатопозиційних сигналів.

Запропонований алгоритм когерентної обробки багатопозиційних АФМ сигналів особливо зручний для багатоканальних (багаточастотних) систем з ортогональними каналними сигналами, оскільки в цих системах для розділення ортогональних сигналів використовуються відомі процедури обчислення проєкцій прийнятого сигналу на два взаємно ортогональні опорні коливання з довільною початковою фазою.

Активне становлення цифрових мереж як альтернативи існуючим аналоговим каналам зв'язку має на меті забезпечення техніко-технологічного розвитку телекомунікацій. Статтю присвячено дослідженню та розробці методів оптимального прийому багатопозиційних сигналів демодуляторами багатоканальних модемів, котрі сприяють поліпшенню показників якості передавання інформації в цифровій формі каналами зв'язку різних типів.

Ключові слова: завадостійкість систем; багатопозиційні сигнали; ансамблі дискретних сигналів; ансамблі двовимірних сигналів; відношення сигнал/шум; коефіцієнт завадостійкості; рівномірні сигнали; імовірність помилки.

Вступ

Оцінюючи нинішній стан телекомунікаційних мереж України, доходимо незаперечного висновку: перспективи розвитку галузі визначаються тим, наскільки продумано й зважено вдасться об'єднати наявні можливості традиційних мереж із перспективними можливостями телекомунікацій на базі новітніх технологій. Вивчення досвіду провідних країн дає змогу вдосконалити системи управління та інформаційного забезпечення всіх галузей народного господарства країни.

Вітчизняна галузь зв'язку останніми роками суттєво змінила структуру і зміст розв'язуваних завдань. Складність сучасних проблем полягає в стрімкому зростанні обсягів інформації, що підлягає аналізу та обробці, коли йдеться про задово-

лення нагальних потреб щодо своєчасного, повного й достовірного прийняття рішення в небагато стислі терміни. Для вирішення проблем розвитку та вдосконалення єдиної національної системи зв'язку необхідною умовою є сучасна телекомунікаційна мережа, в архітектурі якої вирішальну роль відіграє комп'ютер, а невід'ємною частиною комунікаційного обладнання є модем.

Одним із найважливіших питань різномірної телекомунікаційної мережі є цифровізація місцевих (міських і сільських) мереж зв'язку. Саме багатоканальні модеми за своїми параметрами найбільш адекватні реальним каналам цих мереж.

Основна частина

У сучасних системах передавання інформації використовуються різноманітні ансамблі дискрет-

© Є. О. Лосєв, 2018

них сигналів. Розглянемо ансамбль, який містить M сигналів

$$S_1(t), \dots, S_M(t).$$

Нехай через інтервал часу T йде посылка того чи іншого сигналу. Для визначення сигналів будемо використовувати низку наведених далі характеристик.

Енергія сигналу:

$$E_i = \int_0^T S_i^2(t) dt. \quad (1)$$

Взаємна енергія сигналів $S_i(t)$ та $S_j(t)$

$$E_{ij} = \int_0^T S_i(t) S_j(t) dt. \quad (2)$$

Енергія різниці між сигналами $S_i(t)$ та $S_j(t)$

$$E_{i-j} = \int_0^T [S_i(t) - S_j(t)]^2 dt = E_i + E_j - 2E_{ij}. \quad (3)$$

Коефіцієнт взаємної кореляції сигналів E_i та E_j

$$c_{ij} = \frac{E_{ij}}{\sqrt{E_i E_j}}. \quad (4)$$

Згідно з теорією потенційної завадостійкості мінімум імовірності P_0 помилки відображення сигналу на виході приймача для рівноймовірних сигналів забезпечується оптимальним приймачем, алгоритм роботи якого подається у вигляді

$$\int_0^T [X(t) - S_i(t)]^2 dt < \int_0^T [X(t) - S_j(t)]^2 dt; j = 1, \dots, M; i \neq j.$$

У разі виконання цієї нерівності приймач виносить рішення про передавання сигналу $S_i(t)$.

Приймач містить M каналів, у кожному з яких розраховується квадрат відстані

$$\|X - S_i\|^2 = \int_0^T [X - S_i(t)]^2 dt; i = 1, \dots, M,$$

а також пристрій, де здійснюється порівняння відстаней та приймається рішення щодо надісланого сигналу. Для сигналів з однаковими енергіями алгоритм набирає вигляду

$$\int_0^T X(t) S_i(t) dt < \int_0^T X(t) S_j(t) dt. \quad (5)$$

У загальному випадку алгоритм подається так:

$$Y_i > Y_j, i = 1, \dots, M, j = 1, \dots, M; i \neq j. \quad (6)$$

Тут Y_i, Y_j — результати обробки сигналів і завад у каналах приймача. Рішення щодо надісланого сигналу виноситься з огляду на вихід каналу, в якому Y має найбільше значення.

Якщо надіслано сигнал S_i , то ймовірність $P_{\text{пр}}$ правильного прийому дорівнює ймовірності одночасного виконання $M - 1$ нерівностей:

$$P_{\text{пр}}(S_i) = P\{Y_i > Y_1, \dots, Y_i > Y_{i-1}, Y_i > Y_{i+1}, \dots, Y_i > Y_M\}.$$

Імовірність $P_0(S_i)$ помилки у відображенні сигналу S_i на виході приймача

$$P_0(S_i) = 1 - P_{\text{пр}}(S_i). \quad (7)$$

У разі великого відношення сигнал/шум розрахунок імовірності помилки в багатопозиційній системі можна оцінити сумарною ймовірністю помилки, що створюється сигналом S_i та кожним з $(M - 1)$ інших сигналів:

$$P_0(S_i) \leq \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N P_{0ij}. \quad (8)$$

При $M > 8$ значення P_0 обчислюємо за формулою

$$P_0 = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[1 - \Phi \left(\alpha_{ij} \sqrt{\frac{2E_0}{N_0}} \right) \right]. \quad (9)$$

Якщо розглянути ансамблі двовимірних сигналів, то в загальному випадку завадостійкість залежить як від виду сигналів, що передаються, так і від способу прийому. При оптимальному прийомі реалізується потенційна завадостійкість. Тому подальша оптимізація системи передавання має здійснюватись вибором найкращого ансамблю сигналів.

За одного й того самого способу прийому різні ансамблі забезпечують різну завадостійкість. Це зумовлено особливостями розташування меж областей, які оточують кожний сигнал. Імовірність правильного відтворення будь-якого сигналу можна збільшити, якщо розсунути межі області цього сигналу. Адже тоді зменшаться обсяги області сусідніх сигналів, а отже, збільшиться ймовірність помилки відтворення цих сигналів.

Мінімум середньої ймовірності помилки досягається при розміщенні меж на рівних відстанях від сигнальних точок.

Оптимізація ансамблю зводиться до знаходження такого розміщення сигнальних точок, за якого області сигналів мають найбільші розміри, які при цьому найближчі один до одного і мають форму, близьку до форми кола.

Якщо кількість сигналів в ансамблі, побудованому на основі мережі найбільшої щільності вкладання, достатньо велика, то таке розміщення сигнальних точок може бути достатньо близьким до оптимального. Області сигналів у цьому разі однакові, за винятком крайніх областей.

За великої кількості M сигналів в ансамблі ймовірність помилки залежить від відстані b між найближчими сигнальними точками. Тому порівняння ансамблів можна здійснювати коефіцієнтом α завадостійкості, що визначається так:

$$\alpha = \frac{d}{2\sqrt{E_0}}. \quad (10)$$

У цьому разі відстань b вимірюється разом з енергетичними витратами на передавання одного двійкового символу (біта):

$$E_{\delta} = \frac{E_c}{\log_2 M}, \quad (11)$$

де E_c — середня енергія сигналу.

У системах з обмеженою середньою потужністю (в одноканальних системах із лінійним каналом та обмеженим енергоресурсом передавача, у багатоканальних системах із розподілом каналів за частотою тощо) використовується середня енергія E_{δ} . У системах з обмеженою піковою потужністю завадостійкість оцінюють за відношенням до максимальної енергії сигналу з ансамблю $E_{\delta \max}$.

За мінімальної відстані d між сигналами та рівноймовірного передавання сигналів середня енергія

$$E_c = \frac{d}{2M} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} (2i-1)^2, \quad (12)$$

де M — парне число.

У цьому разі середнє значення коефіцієнта завадостійкості

$$\alpha_c = \frac{d}{2\sqrt{E_{\delta c}}} = \frac{\sqrt{M \log_2 M}}{\sqrt{2 \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} (2i-1)^2}}. \quad (13)$$

Максимальна енергія E_M сигналу, найбільш віддаленого від початку координат, визначається так:

$$E_M = \frac{[(M-1)d]^2}{4}. \quad (14)$$

Тоді коефіцієнт α_m завадостійкості за максимальною енергією

$$\alpha_m = \frac{d}{2\sqrt{E_{\delta \max}}} = \frac{\sqrt{\log_2 M}}{\sqrt{(M-1)^2}}. \quad (15)$$

Криві, що характеризують імовірність помилки в разі оптимального прийому багатопозиційних сигналів, наведено на рис. 1.

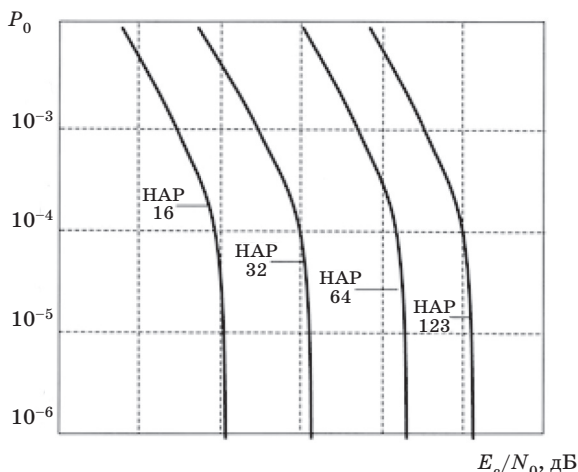


Рис. 1. Імовірність помилки в разі оптимального прийому багатопозиційних сигналів різної конструкції

Значення середнього α_c і максимального α_m коефіцієнта завадостійкості для багатопозиційних сигналів подано на рис. 2.

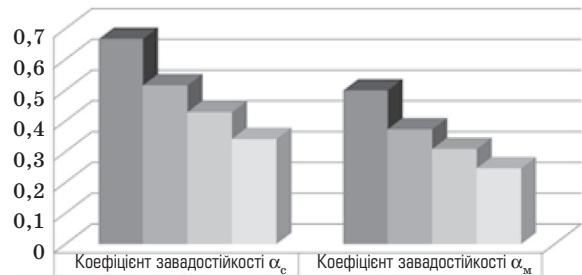


Рис. 2. Коефіцієнти завадостійкості для NAP 16, 32, 64, 128

У разі двійкового передавання $E_c = E_M$. При цьому $\alpha_c = \alpha_m = 1$.

Зі зростанням кількості M сигналів в ансамблі значення коефіцієнтів α_c і α_m поступово зменшуються, але натомість питома швидкість γ_c як характеристика ансамблю зростає:

$$\gamma_c = \gamma_{0\max} = \max H(S)/N = \log M/N.$$

Питома швидкість є характеристикою ансамблю сигналів. Вона визначає продуктивність джерела рівноймовірних сигналів, що подається в бітах на один відлік. Значення коефіцієнтів завадостійкості для $M = 16, 32, 64, 128$ наведено в таблиці.

Коефіцієнт завадостійкості	$M = 16$	$M = 32$	$M = 64$	$M = 128$
α_c	0,667	0,516	0,429	0,342
α_m	0,500	0,373	0,309	0,246

Висновок

Перспектива активного становлення цифрових мереж як альтернатива щодо існуючих аналогових каналів зв'язку окреслюється дедалі чіткіше завдяки здобуткам науковців у розробці методів оптимального прийому багатопозиційних сигналів демодуляторами багатоканальних модемів, що сприяють поліпшенню показників якості передавання інформації в цифровій формі каналами зв'язку різних типів.

Список використаної літератури

1. Балашов В. А., Копейка О. В., Ляховецкий Л. М. VDSL — Ближайшее будущее цифрового абонентского доступа // Зв'язок. 2005. №7. С. 8–13.
2. Беркман Л. Н. Методы когерентного приема многопозиционных АФМ сигналов многоканальных модемов: монография. Харьков, 1987. 250 с.
3. Система управління сучасними телекомунікаційними мережами: монографія / Л. Н. Беркман, В. Г. Кривуца, М. Н. Кли- маш [та ін.]. Київ: ДУІКТ, 2009. 268 с.
4. Лесная Н. Н. Сравнительный анализ методов оценки характеристик интеллектуальной сети // Наук. записки УНДІЗ. 2009. №2(10). С. 97–102.
5. Управление псевдосервисами в защищенных информационных системах на основе теории конфликта / Н. А. Вино- градов, Г. В. Данилина, Д. В. Домарев, Я. В. Милокум // Наук. записки УНДІЗ. 2014. № 6. С. 5–12.

Рецензент: доктор техн. наук, професор **К. С. Козелкова**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Е. А. Лосев

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИНТЕЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена методика расчета помехоустойчивости синтезированного алгоритма для конкретных систем при использовании многопозиционных сигналов.

Предложенный алгоритм когерентной обработки многопозиционных АФМ сигналов особенно удобен для многоканальных (многочастотных) систем с ортогональными канальными сигналами, так как в этих системах для разделения ортогональных сигналов используются известные процедуры вычисления проекций принятого сигнала на два взаимно ортогональных опорных колебания с произвольной начальной фазой.

Активное становление цифровых сетей в качестве альтернативы существующим аналоговым каналам связи имеет целью обеспечение технико-технологического развития телекоммуникаций. Статья посвящена исследованию и разработке методов оптимального приема многопозиционных сигналов демодуляторами многоканальных модемов, которые способствуют улучшению показателей качества передачи информации в цифровой форме по каналам связи различных типов.

Ключевые слова: помехоустойчивость систем; многопозиционные сигналы; ансамбли дискретных сигналов; ансамбли двумерных сигналов; отношение сигнал/шум; коэффициент помехоустойчивости; равновероятные сигналы; вероятность ошибки.

Е. О. Losev

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE NOISE IMMUNITY OF A SYNTHESIZED ALGORITHM FOR SPECIFIC INFORMATION SYSTEMS

In the article the method of calculation of noise immunity of the synthesized algorithm for the concrete systems at use of multiposition signals is considered.

The proposed algorithm for coherent processing of multiposition AFMs or signals is particularly suitable for multi-channel (multi-frequency) systems with orthogonal channel signals, because in these systems, the same procedures for calculating the projections of the received signal into two mutually orthogonal reference oscillations with an arbitrary initial phase are used in these systems for the orthogonal signal section.

Perspective of the active formation of digital networks as an alternative to existing analogue communication channels, in order to ensure the technical and technological development of telecommunications. This article is devoted to the research and development of methods for optimal reception of multiposition signals by demodulators of multichannel modems, which contribute to improving the quality of information transmission in digital form by communication channels of various types.

Keywords: noise immunity systems; multiposition signals; discrete signaling ensembles; two-dimensional signaling ensembles; signal/noise ratio; noise immunity coefficient; probabilistic signals; error probability.

УДК 004.94

О. М. ШУШУРА, канд. техн. наук, доцент,
Державний університет телекомунікацій, Київ

Структури даних інформаційної технології нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів

Проблема управління системами зі складною структурою зв'язків між характеристиками може бути розв'язана за рахунок розробки інформаційних технологій за допомогою апарату нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів. У статті наведено структуру правил нечіткого виводу на основі зазначених функцій належності. Для подання цих правил в інформаційних системах розроблено відповідні структури даних та алгоритми. Здобуті результати можуть бути використані при розробці інформаційних технологій для автоматизації завдань керування складними системами.

Ключові слова: інформаційна технологія; структура даних; нечітке управління; функція належності багатьох змінних.

Постановка проблеми

Розширення сфери використання інфокомунікаційних систем та кола задач, розв'язуваних за їх допомогою, вимагає постійного вдосконалення методологічних основ побудови інформаційних технологій. Один з актуальних напрямків застосування інформаційних технологій полягає в їх за-

лученні до розв'язання задач автоматизації керування системами зі складною структурою зв'язків між характеристиками, яка важко піддається формалізації. Для розв'язання задач такого типу є сенс використовувати інформаційні технології на основі нечіткого логічного виводу із залученням функцій належності багатьох аргументів (ФНБА) [1].

© О. М. Шушура, 2018