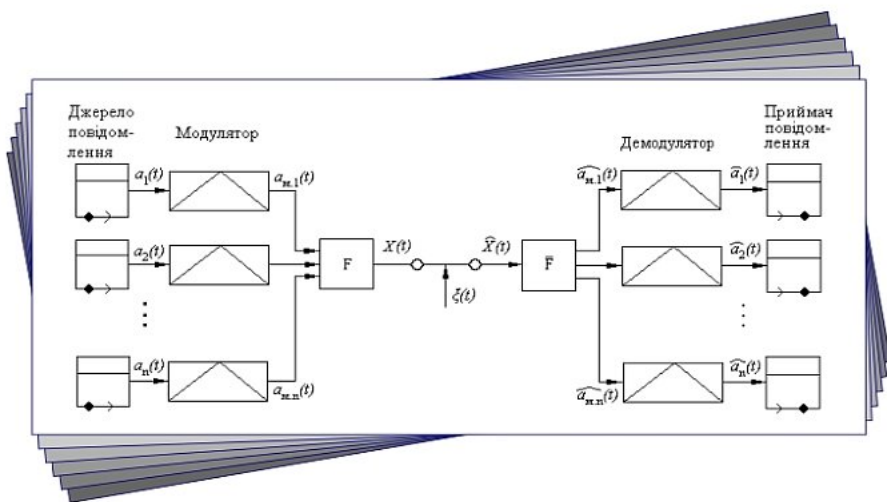


Р. Н. Кветний, А. Я. Кулик

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Р. Н. Квстний, А. Я. Кулик

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ
У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ**

Монографія

Вінниця
ВНТУ
2010

УДК 621.3
ББК 32.811я73
К70

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 5 від 24 грудня 2009 р.)

Рецензенти:

А. М. Петух, доктор технічних наук, професор

Ю. С. Яковлєв, доктор технічних наук, с.н.с

Квстний, Р. Н.

К 70 Методи та засоби передавання інформації у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах : монографія / Р. Н. Квстний, А. Я. Кулик. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 362 с.

ISBN 978-966-641-372-0

В монографії розглядаються теоретичні засади і практичні аспекти реалізації методів передавання інформації. Призначена для магістрів, аспірантів та наукових працівників технічного напрямку.

УДК 621.3
ББК 32.811я73

ISBN 978-966-641-372-0

© Р. Квстний, А.Кулик, 2010

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АДАПТИВНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	9
1.1. Аналіз методів розподілу каналів зв'язку	11
1.2. Аналіз методів організації ширококугової модуляції	14
1.3. Аналіз ортогональних кодових послідовностей, використовуваних для організації ширококугової модуляції (OCDM)	21
1.4. Аналіз апріорної завадозахищеності систем зв'язку для різних умов передавання	29
1.5. Аналіз методів адаптивного передавання даних	38
2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АДАПТИВНИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	50
2.1. Загальні теоретичні передумови побудови приймача	51
2.2. Математична модель комп'ютерної системи передавання інформації	68
2.3. Визначення енергетичних характеристик сигналів для забезпечення їх стійкої ідентифікації	79
3. ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОГО ДЕКОДУВАННЯ ДАНИХ	106
3.1. Аналіз особливостей завадозахищеного кодування даних у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах	107
3.2. Визначення основних характеристик блока даних, що передається, та вибір методів кодування	117
3.3. Методи кодування для забезпечення необхідних умов передавання даних у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах	141
4. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ФІЛЬТРАЦІЇ ШУМІВ В АДАПТИВНИХ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ	

РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ	159
4.1. Спектральний аналіз формованих сигналів та їх взаємодія з каналом зв'язку	160
4.2. Приймання інформації з урахуванням впливу завад та взаємодії із сигналами різних видів маніпуляції	174
4.3. Виділення інформативного сигналу на фоні завад	190
5. МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ	209
5.1. Процедура тестування каналу зв'язку	210
5.2. Система передавання інформації з використанням вейвлет-функцій	225
5.3. Підвищення швидкості передавання інформації	234
5.4. Адаптація системи передавання до параметрів каналу зв'язку з визначенням швидкості передавання та потужності сигналів	242
5.5. Адаптація пристрою передавання інформації до параметрів каналу в умовах його несиметричності	253
5.6. Передавання інформації в умовах кодування з повторюванням і арбітражем	260
5.7. Передавання інформації в умовах інформаційної адаптації системи передавання до параметрів каналу зв'язку	270
5.8. Розроблення методики побудови засобів адаптивного передавання інформації	282
6. РЕАЛІЗАЦІЯ АДАПТИВНИХ ПРИСТРОЇВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО- ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І МЕРЕЖ. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	286
6.1. Визначення підходів до реалізації пристроїв передавання інформації	286
6.2. Медіанний фільтр зі швидким оброблюванням значень	291

6.3. Моделювання алгоритмів фільтрації з використанням середовища MatLab	294
6.4. Експериментальні дослідження каналів зв'язку	296
ВИСНОВКИ	307
Додаток А. Результати досліджень медіанних фільтрів	308
Додаток Б. Результати досліджень вейвлет-пакетних фільтрів	311
Додаток В. Результати моделювання вузькосмугових фільтрів	318
ЛІТЕРАТУРА	320

ВСТУП

Терміни „комп'ютерні системи” та „комп'ютерні мережі” сформувались останнім часом і підкреслюють спорідненість (за певними ознаками) структур процесорних засобів, призначених для збирання та оброблення інформації. Так, всі сучасні системи будуються з використанням мікропроцесорних засобів, а це, в свою чергу, передбачає використання типових модулів, що призначаються для виконання певних чітко окреслених функцій. Вони можуть входити до складу комп'ютера або розроблятися для використання у мікропроцесорних контролерах.

Для розподілених систем прийнятне все висловлене вище, але особливого значення набуває процес передавання інформації. Суто інформаційні системи призначаються для циркулярного виведення інформації і передбачають використання симплексного режиму. Адресне опитування давачів або каналів у розподілених інформаційно-вимірювальних системах та автоматизованих системах управління вимагає використання напівдуплексного режиму. Комп'ютерні мережі потребують задіяння повнодуплексного режиму.

Серед вищевказаних розподілених комп'ютерних систем і мереж можна виділити мережі загального призначення, які формуються для вирішення задач інформаційного характеру; проблемно-орієнтовані системи, які використовуються для вирішення обмеженого кола прикладних задач певного виду (системи автоматизованого управління та контролю, інформаційно-вимірювальні та довідкові, системи охоронної сигналізації, відеоспостереження тощо); спеціалізовані системи, призначені для вирішення конкретних задач з фіксованими алгоритмами функціонування (зв'язкові процесори, технологічні контролери тощо).

Стрімкий прорив в галузі інформатизації різних видів діяльності людини є найбільш характерною ознакою сучасного суспільства. Це означає, що вже на початку XXI сторіччя інформація з категорії допоміжного засобу перейшла до категорії стратегічного, а економічний та соціальний прогрес досягається при активному, цілеспрямованому та

ефективному використанні сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій.

Процес інформатизації суспільства нерозривно пов'язаний як з широкою побудовою комп'ютерних систем різного типу, так і з бурхливим розвитком засобів зв'язку, широким використанням мережних технологій, появою нових методів та засобів передавання та розподілу інформації, що базуються на останніх досягненнях електроніки, волоконно-оптичної техніки та програмування. Прийняті національні програми розвитку галузей пов'язані, з одного боку, з національною програмою інформатизації, а з другого, – з існуючими проблемами зв'язку та інформаційного забезпечення [1]. Вагомим чинником є високі темпи розвитку цієї галузі. Так, за даними Федеральної комісії зв'язку на 30.06.2001 в США нараховувалось 9,6 млн високошвидкісних ліній зв'язку, які з'єднували будинки та комерційні організації з мережею Internet, що за півтора роки склало приріст 250%. За даними Держкомстату темпи розвитку галузі в Україні в останні роки не менші, а за деякими показниками і вищі.

Питаннями передавання інформації та цифрового оброблення сигналів в тій чи іншій мірі займалися багато провідних вчених, що працювали в галузі технічних наук. Розвиток теорії побудови засобів передавання інформації поданий у фундаментальних працях К. Шеннона, В. А. Котельнікова, Р. М. Хеммінга, Л. М. Фінка, А. А. Харкевича, І. В. Кузьміна, Б. Я. Советова, А. І. Велікіна, В. М. Муттера, В. О. Шварцмана, Г. А. Ємельянова, Ф. Дж. Мак-Вільямса, Н. Дж. Слоена, Дж. Прокіса. Питання побудови ширококутових систем зв'язку висвітлені в працях Х. Ф. Хармута і Л. Є. Варакіна. Оброблення сигналів різної природи розглядаються в роботах Л. М. Голденберга, А. В. Оппенгейма, Р. В. Шафера, А. В. Давидова, Б. І. Мокіна, Ж. Макса та ін. Кореляційне оброблення сигналів по суті є узгодженою фільтрацією, яку можна здійснювати в будь-якому ортогональному базисі, в тому числі і вейвлетному. Принципи вейвлет-аналізу сигналів, який останнім часом довів свою ефективність і перспективність використання, розглянуті у працях І. Добеши, К. Чуї, В. І. Вороб'йова, В. Г. Грибуніна, В. П. Дьяконова, А. Н. Яковлева тощо.

Процес передавання інформації регламентований стандартами, протоколами та рекомендаціями, які визначають відповідні технології побудови технічних засобів. Вони задають необхідні умови зв'язку, параметри та характеристики каналу та сигналів. Так, технологія xDSL вимагає співвідношення сигнал/шум на рівні 21,3 дБ, що забезпечує імовірність появи помилок (BER – Bit Error Rate) не більше 10^{-7} . Зменшення співвідношення сигнал/шум визначає складні умови зв'язку і, відповідно, нештатний режим роботи обладнання, яке не може гарантовано забезпечити необхідну вірогідність передавання. Для таких випадків розглядаються питання визначення окремих параметрів передавання, але *основною проблемою* є недостатньо ефективне передавання інформації в розподілених комп'ютерних системах при складних умовах зв'язку внаслідок обмеженого регулювання параметрів передавання інформації між компонентами систем в режимі реального часу.

Особливо гострою вона є для проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних систем та мереж завдяки різноманітності їх функціонального призначення, відмінності природи використовуваних каналів, великій кількості стандартів, протоколів та рекомендацій різного рівня, а також відсутності зацікавленості великих компаній-розробників у розробленні єдиної концепції побудови засобів зв'язку для використання у вищезгаданих галузях. Саме для цих випадків використання адаптивних методів управління процесом передавання інформації є необхідним і може дати найбільший ефект.

Монографія написана за результатами, викладеними у докторській дисертації, яка висвітлює основні проблеми в галузі передавання інформації і перспективні шляхи їх вирішення. Автори будуть дуже вдячні за відгуки на дану книгу, які можна направити за адресою: кафедра АІВТ, ВНТУ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021 або kulyk@inaeksu.vstu.vinnica.ua

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АДАПТИВНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Велика різноманітність засобів передавання інформації, незважаючи на природу середовища передавання, і сигналів дозволяє визначити узагальнену структуру розподіленої багатоканальної комп'ютерної системи (додаток А) для забезпечення передавання інформації у вигляді, поданому на рис. 1.1.

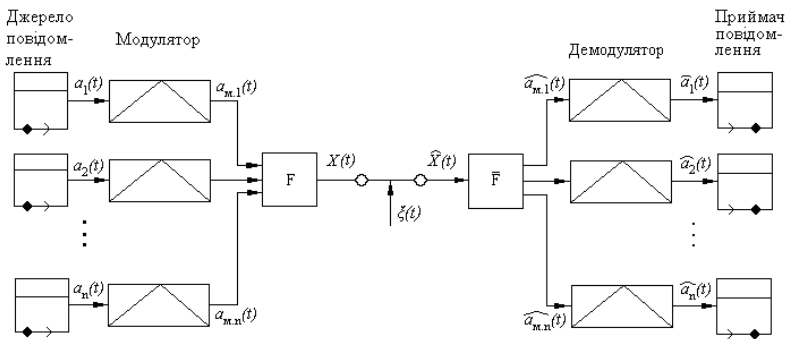


Рис. 1.1. Узагальнена структура цифрової системи передавання інформації

Кожен з каналів передавальної частини вміщує в собі джерело повідомлення і модулятор, а приймальної частини – відповідно демодулятор і приймач повідомлення. Джерело втілює повідомлення s_i в сигнал $a_i(t)$. Модулятор призначений для формування за певним алгоритмом первинних модульованих сигналів згідно з операцією $a_{m,i}(t) = \phi_m(a_i(t))$, які потім перетворюються на сукупний каналний сигнал $X(t)$. Під час передавання сигналу $X(t)$ каналом зв'язку на нього впливають зовнішні чинники $\zeta(t)$ і на вхід приймальної частини надходить сигнал $\hat{X}(t)$. На приймальній частині перетворення здійснюються у зворотному порядку з формуванням модульованих сигналів $\hat{a}_{m,i}(t)$, виконання операцій демодуляції-декодування з отриманням сигналів $\hat{a}_i(t) = \phi_o(\hat{a}_{m,i}(t))$. Ці сигнали перетворюються на повідомлення \hat{s}_i ,

отримання яких є метою побудови системи. Таким чином, сигнали на виході приймача можна описати функціоналом:

$$\hat{a}_i(t) = \phi_o(\phi_k(\xi(t), \phi_m(a_i(t)))) \quad (1.1)$$

Виходячи з вищевикладеного, задача отримання повідомлень \bar{s}_i , які якнайменше відрізняються від s_i зводиться до вибору сигналів $a_{m,i}(t)$, аналізу взаємодії цих сигналів із завадами $\zeta(t)$ в каналі зв'язку з визначенням функціонала ϕ_k , а також пошуку оптимальних функціоналів ϕ_m та ϕ_o . Не дивлячись на значний розвиток теорії передавання інформації та оброблення сигналів, в загальному вигляді така задача практично не вирішується. Але для отримання практичних результатів задачу можна розділити. Перш за все, необхідно вибрати вид переносників (інформативних сигналів) $a_i(t)$. Взаємодію каналного сигналу $X(t)$ із завадами $\zeta(t)$ в каналі зв'язку вважають відомою або проводять її аналіз. Вважаючи відомим сигнал на вході демодулятора $\hat{a}_{m,i}(t)$, намагаються побудувати оптимальний приймач [2]. При цьому потрібно прагнути того, щоб сигнали, які втілюють різні повідомлення та належать до різних каналів, якнайбільше відрізнялися один від одного та щоб завади якнайменше впливали на цю відмінність. Під час побудови приймача необхідно намагатися, щоб він максимально придушував заваду, тобто компенсував спотворення, викликані нею. Це дозволяє отримати якщо не найкращі, то принаймі працездатні системи передавання, які можуть задовольняти досить високі вимоги за всіма основними показниками.

Таким чином, основними модулями, які визначають характер передавання інформації є формувачі, які визначають принцип розподілу каналів зв'язку, та модулятори, які задають принцип інформативного перетворення сигналу-носія. Виходячи з цього, доцільно розглянути їх більш докладно.

1.1. Аналіз принципів розподілу каналів зв'язку

Характер формування сукупного каналного сигналу визначається принципом розподілу каналів зв'язку [3–7]:

- частотним, який в деякій літературі ще називають FDMA (Frequency Division Multiple Access);
- часовим (TDMA – Time Division Multiple Access);
- кодовим (CDMA – Code Division Multiple Access).

При частотному розподілі у вигляді переносника інформації вибирають коливання-носії з різними частотами. Канальний сигнал $X(t)$ після перетворення являє собою сукупність первинних модульованих сигналів $a_{m,i}(t)$, кожний з яких розташовується в окремій смузі частот $[f_{i,n}; f_{i,e}]$, як це показано на рис. 1.2.

Між утворюваними частотними каналами $[f_{i,n}; f_{i,e}]$ та $[f_{i+1,n}; f_{i+1,e}]$ обов'язково повинна бути смуга розфільтрування $\Delta f_{p,i}$, ширина якої визначається параметрами приймально-передавального обладнання за умови неперекриття смуг частот каналів, що розташовуються поряд. В іншому випадку в системі будуть утворюватися перехресні каналні завади, які можуть призвести до спотворення інформації під час передавання.

При часовому розподілі кожному з каналів для передавання надається вся смуга частот, але на певний, чітко визначений проміжок часу, як це показано на рис. 1.3.

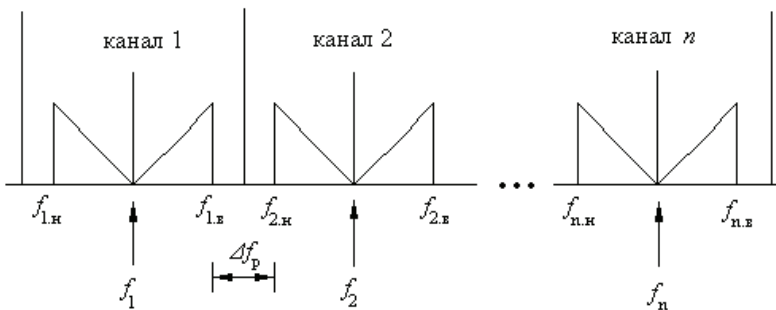


Рис. 1.2. Частотний розподіл каналів зв'язку

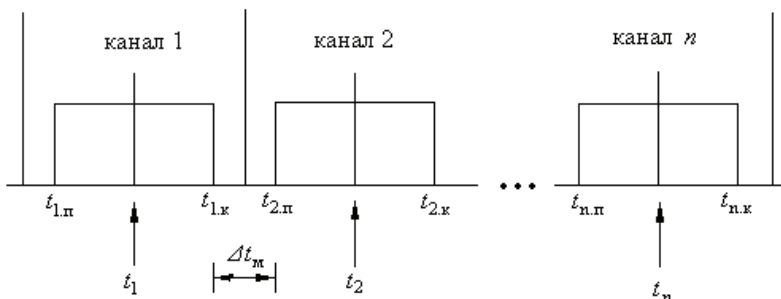


Рис. 1.3. Часовий розподіл каналів зв'язку

Як і в попередньому випадку між інтервалами часу $[t_{i,n}; t_{i,k}]$ та $[t_{i+1,n}; t_{i+1,k}]$ обов'язково повинна бути смуга мультимплексування $\Delta t_{m,i}$. Її тривалість визначається швидкодією приймально-передавального обладнання, а призначається вона для уникнення спотворення первинних сигналів в каналі передавання, яке може утворитися за рахунок перекриття часу надання каналу різними джерелами повідомлень.

Принцип кодового розподілу каналів є стандартом мобільного зв'язку і широко використовується в техніці передавання інформації [8–13], але в теперішній час часто використовується і для побудови локальних комп'ютерних мереж RadioEthernet з передаванням даних радіоканалами. Аналогічні стандарти розроблені і для оптичних ліній зв'язку. За рахунок використання ортогональних (квазиортогональних) функцій або псевдовипадкових послідовностей з малим рівнем взаємної кореляції інформація різними каналами зв'язку може передаватися одночасно із використанням всієї смуги частот.

Порівняння методів розподілу доцільно здійснювати за коефіцієнтом ефективності використання каналу, який являє собою:

$$E = \frac{\sum_i V_{c,i}}{V_k}, \quad (1.2)$$

де $V_{c,i}$ – об'єм сигналу, призначеного для передавання інформації i -тим каналом; V_k – ємність каналу зв'язку, який надається для передавання інформації.

Для різних видів розподілу сумарне значення об'єму сигналу буде визначатися по-різному. Для проведення оцінки ефективності часового розподілу каналів можна припустити, що інформація передається протягом кінцевого часу, за який середнє значення співвідношення потужностей *сигнал/шум* не змінюється, а оскільки для передавання використовується вся смуга частот, то коефіцієнт ефективності використання каналу буде мати вигляд [14]

$$E_{TDMA} = \frac{\sum_i V_{c.i.TDMA}}{V_{k.TDMA}} = \frac{\sum_i T_{i.TDMA} \cdot F_{TDMA} \cdot 10 \cdot \lg \frac{P_{TDMA}}{P_{\xi.TDMA}}}{T_{TDMA} \cdot F_{TDMA} \cdot 10 \cdot \lg \frac{P_{TDMA}}{P_{\xi.TDMA}}} = \frac{\sum_i T_{i.TDMA}}{T_{TDMA}}, \quad (1.3)$$

де $T_{i.TDMA}$ – час, на який канал надається для передавання i -го сигналу; T_{TDMA} – повний час надання каналу для передавання інформації; F_{TDMA} – смуга частот, яку займає канал; P_{TDMA} – потужність сигналу в каналі під час передавання; $P_{\xi.TDMA}$ – потужність завад в каналі під час передавання.

Для оцінки ефективності частотного розподілу можна припустити, що середнє співвідношення потужностей *сигнал/шум* на каналних частотах однакове і за час передавання не змінюється

$$E_{FDMA} = \frac{\sum_i V_{c.i.FDMA}}{V_{k.FDMA}} = \frac{T_{FDMA} \cdot \sum_i F_{i.FDMA} \cdot \left(10 \cdot \lg \frac{P_{FDMA}}{P_{\xi.FDMA}}\right)_{cep}}{T_{FDMA} \cdot F_{FDMA} \cdot \left(10 \cdot \lg \frac{P_{FDMA}}{P_{\xi.FDMA}}\right)_{cep}} = \frac{\sum_i F_{i.FDMA}}{F_{FDMA}}. \quad (1.4)$$

Відповідно для кодового розподілу використовується вся смуга частот і весь час надання каналу, тоді

$$E_{CDMA} = \frac{\sum_i V_{c.i.CDMA}}{V_{k.CDMA}} = \frac{T_{CDMA} \cdot F_{CDMA} \cdot 10 \cdot \lg \frac{P_{CDMA}}{P_{\xi.CDMA}}}{T_{CDMA} \cdot F_{CDMA} \cdot 10 \cdot \lg \frac{P_{CDMA}}{P_{\xi.CDMA}}} = 1. \quad (1.5)$$

Потенційна ефективність використання кодового розподілу каналів передавання інформації становить одиницю, а за рахунок наявності смуг розфільтрування при частотному і мультиплексуванні при часовому розподілах, їх ефективність буде меншою, оскільки $\sum_i F_{i,FDMA} < F_{FDMA}$ та $\sum_i T_{i,TDMA} < T_{TDMA}$. Таким чином, найбільш ефективним принципом розподілу каналів потенційно є кодовий.

Разом з тим необхідно відзначити, що кодовий принцип розподілу каналів забезпечує високу порогову чутливість. Так, для забезпечення фактичної працездатності обладнання CDMA необхідно забезпечити співвідношення рівнів *сигнал/шум* на вході приймача 6–7 дБ, порівняно з тим, що FDMA вимагає 15, а TDMA – 19 дБ [15].

Оскільки кодовий розподіл каналів використовується для організації широкосмужової модуляції, то необхідно приділити увагу аналізу саме цих методів.

1.2. Аналіз методів організації широкосмужової модуляції

Огляд методів побудови широкосмужових (шумоподібних) модульованих сигналів докладно розглянутий у фундаментальних працях [15–19], хоча в останні роки, в зв'язку з бурхливим розвитком засобів передавання інформації і мережних технологій, з'являються не лише методи, пов'язані з комбінацією широкосмужової модуляції та класичних методів [4, 7, 20–31], але за рахунок їх розвитку з'являються нові [32–35], хоча і вміщують вони відомі принципи.

Методи побудови широкосмужових модульованих сигналів можна класифікувати до певної міри умовно (рис. 1.4) [36], використавши для їх порівняння базу сигналу, яка визначається виразом

$$B = F \cdot T, \quad (1.6)$$

де F – смуга частот, яку займає сигнал; T – час передавання.

Для оцінки цього параметра доцільно визначити розподіл енергії за частотами і часом передавання.

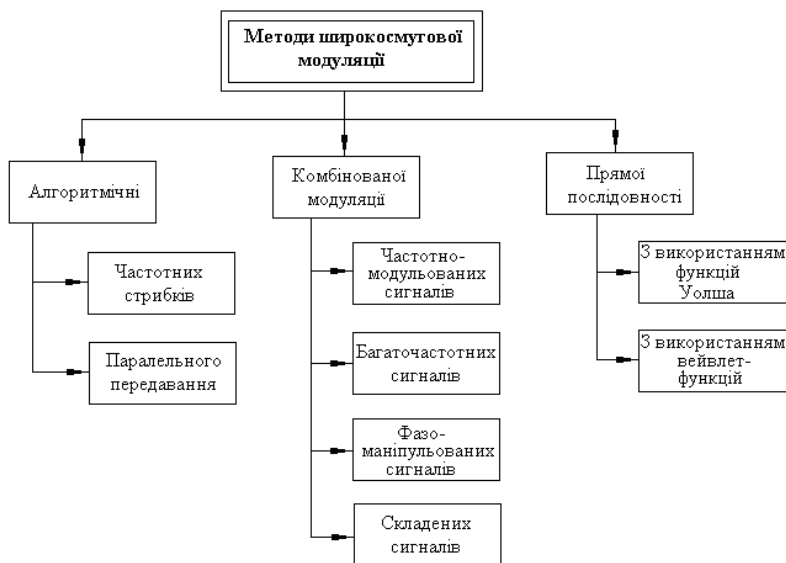


Рис. 1.4. Класифікація методів формування широкосмугових модульованих сигналів

Відповідно до принципу побудови всі методи створення можна розподілити на:

- алгоритмічні, до яких можна віднести метод частотних стрибків (FHSS) та метод паралельного передавання (DHSS);
- методи, побудовані на використанні комбінованої модуляції, найбільш поширеними серед яких є методи частотної модуляції, багато-частотних сигналів, фазової маніпуляції та складених сигналів;
- методи прямої послідовності, які базуються на використанні ортогональних функцій (DSSS).

Перша група методів відрізняється суто алгоритмічним підходом до розширення смуги сигналу. Так, *метод частотних стрибків (FHSS)* полягає в тому, що передавач і приймач синхронно через декілька мілісекунд переналаштовуються на різні частоти-носії, що визначаються псевдовипадковою послідовністю [18–28].

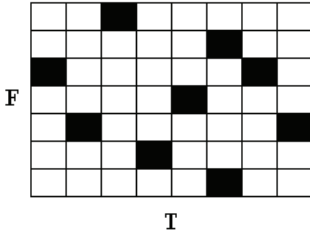


Рис. 1.5. Розподіл енергії під час передавання сигналу з частотними стрибками

При цьому кожному з приймачів надано власний алгоритм перемикання і передбачено алгоритм вирішення конфліктних ситуацій, коли два чи більше передавачів намагаються одночасно використати одну і ту саму частоту. Лише приймач, який чітко зорієнтований на порядок перемикання частот-носіїв, спроможний приймати інформацію від передавача. На рис. 1.5 наведений розподіл енергії під час передавання сигналами FHSS.

Оскільки вся смуга частот розбивається на $N_{F.FHSS}$ окремих елементарних каналів $F_{0.FHSS}$, які визначаються частотами-носіями (в сучасних системах до 79), а час передавання складається з $N_{T.FHSS}$ періодів $T_{0.FHSS}$ перемикання обладнання по елементарних каналах, то база сигналу буде дорівнювати:

$$B_{FHSS} = N_{F.FHSS} \cdot N_{T.FHSS} \cdot F_{0.FHSS} \cdot T_{0.FHSS} . \quad (1.7)$$

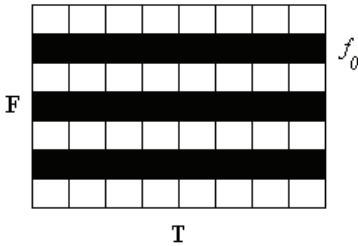


Рис. 1.6. Розподіл енергії під час паралельного передавання сигналу декількома каналами

Для *методу паралельного передавання (DHSS)* [16, 29] надлишковість вноситься за рахунок того, що один і той самий інформативний сигнал передається одночасно $N_{F.DHSS}$ частотними каналами (в сучасних системах порядку 10). На приймальному боці сигнал після ідентифікації може бути підданий зворотному вузькосмуговому фільтруванню для покращення результатів його визначення порівняно із сигналами інших передавачів. База

сигналу для цього випадку визначається

$$B_{DHSS} = N_{F,DHSS} \cdot F_{0,DHSS} \cdot T. \quad (1.8)$$

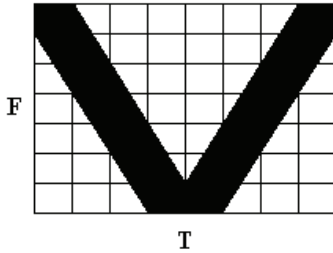


Рис. 1.7. Розподіл енергії під час передавання широко-смугового частотно-модульованого сигналу з частотними стрибками

Методи, які використовують комбіновану модуляцію, базуються на тому, що початкові імпульсно-кодовані сигнали піддаються додатковій модуляції [16–19]. Якщо у вигляді модулюючого використовується гармонічний сигнал, **частота** якого змінюється за лінійним законом, то розподіл енергії буде мати вигляд, наведений на рис. 1.7, а база сигналу буде визначатися дев'яцією частоти Δf_d :

$$B_{CM} = \Delta f_d \cdot T. \quad (1.9)$$

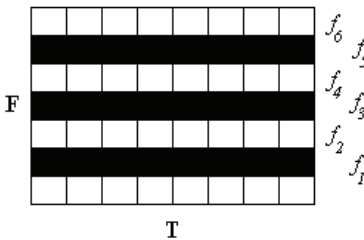


Рис. 1.8. Розподіл енергії під час передавання багаточастотного сигналу

Часто у вигляді модулюючого використовується сигнал складної форми, який вміщує в собі багато гармонік, внаслідок чого по суті він є **багаточастотним** [16]. В цьому випадку енергія сигналу буде розподілятися за тими гармоніками, які вміщує його спектр, і які пропускаються передавальним обладнанням (рис. 1.8). Оскільки ширина елементарної смуги пропускання для однієї гармоніки визначається часом передавання елементарного сигналу

$f_0 \approx 1/T_0$, то база сигналу складає

$$B_{БЧ} = N_z \cdot f_0 \cdot T_0 = N_z, \quad (1.10)$$

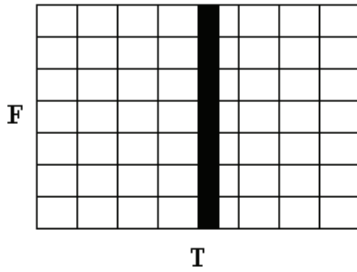


Рис. 1.9. Розподіл енергії під час передавання широкосмугового фазо-маніпульованого сигналу

тобто чисельно дорівнює кількості гармонік N_c . В теперішній час велика увага приділяється використанню у вигляді модулюючих сигналів різноманітних квазіхаотичних [33–35], форма яких є досить складною, і які вміщують в собі велику кількість гармонічних складових.

При використанні **фазо-маніпульованого сигналу** [16, 20], останній здебільшого вміщує два значення фази: 0 та π . В цьому випадку розподіл енергії по кожному елементарному часовому інтервалу буде визначатися тривалістю імпульсу τ_0 і його фазою. Тривалість імпульсу дорівнює

$$\tau_0 = \frac{T}{N_k}, \quad (1.11)$$

де N_k – довжина повідомлення.

Ширина спектра елементарного сигналу:

$$F_0 \approx \frac{1}{\tau_0} = \frac{N_k}{T}. \quad (1.12)$$

База широкосмугового фазо-маніпульованого сигналу складає

$$B = F_0 \cdot N_k \cdot \tau_0 = \frac{1}{\tau_0} \cdot \tau_0 \cdot N_k = N_k, \quad (1.13)$$

тобто вона чисельно дорівнює довжині повідомлення N_k .

Складені сигнали, які вміщують декілька видів модуляції, за розподілом енергії можуть не відрізнятися від вищенаведених, як це видно з рис. 1.10, але їх база буде відрізнятися. У вигляді прикладу такого сигналу можна розглянути широкосмуговий складений сигнал з ко-

довою частотною модуляцією та фазовою маніпуляцією. Хоча вигляд розподілу енергії сигналу не відрізняється від поданого на рис.

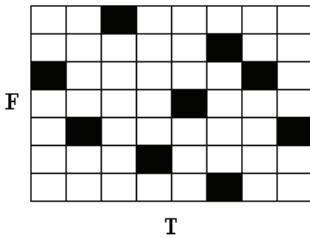


Рис. 1.10. Розподіл енергії під час передавання широко-мугового складеного сигналу з кодовою частотною модуляцією та фазовою маніпуляцією

компонентів було пов'язане з великими складнощами. Бурхливий розвиток засобів цифрової, а особливо, мікропроцесорної техніки значно

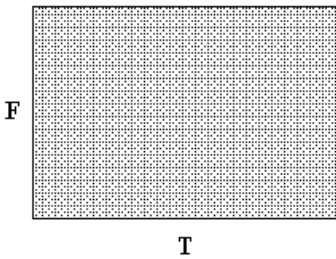


Рис. 1.11. Розподіл енергії під час передавання широко-мугового сигналу з ортогональним кодовим ущільненням

Ці сигнали простіше декодувати, оскільки використовується лише один шумоподібний код, але отримувані символи не є повністю ортогональними, що обмежує можливість використання такої модуляції.

1.5, база сигналу буде визначатися кількістю імпульсів $N_{0,i}$, що вміщуються в кожній елементарній комірці $F_0 \cdot T_0$, і, згідно з міркуваннями, наведеними вище, буде складати

$$B = \sum_{N_F \cdot N_T} N_{0,i} . \quad (1.14)$$

Широкопугові сигнали, що отримують *методом прямої послідовності (DSSS)*, вміщують ортогональні імпульсні послідовності, хоча і відомі вже давно [4, 7, 20–31], але їх формування на базі аналогових спростив вирішення цієї задачі. Імпульсно-кодові інформативні сигнали різних передавачів піддаються додатковому кодуванню ортогональними кодами таким чином, що кожному з приймачів відповідає власний код (наприклад, як для DSSS/MOK) [37].

В сучасних системах, крім вже згаданої, використовується декілька модифікацій цього алгоритму. Такою є, наприклад, модуляція CCSSK [37], при якій після ортогональної модуляції здійснюється ще й додаткова модуляція циклічними кодами.

OCDM-модуляція (Orthogonal Code Division Multiplex) призначена для побудови декількох широкосмугових сигналів з ортогональним кодовим ущільненням [37].

Передавання інформації здійснюється всією смугою частот одночасно. За рахунок ортогональності інформація передається незалежно і може бути декодована лише приймачем, контрольний ортогональний код якого повністю відповідає коду передавача. Оскільки передавання інформації здійснюється одночасно і незалежно, то база сигналу визначається співвідношенням

$$B = N_{OCDM} \cdot F \cdot T, \quad (1.15)$$

де N_{OCDM} – кількість використовуваних ортогональних функцій.

Таблиця 1.1

Зведені результати аналізу методів побудови ШСС

Метод широкосмугової модуляції	Сумарна база сигналів	Значення бази
Частотних стрибків (FHSS)	$B_{FHSS} = N_{F,FHSS} \cdot N_{T,FHSS} \cdot F_{0,FHSS} \cdot T_{0,FHSS}$	$\leq 10^3$
Паралельного передавання (DHSS)	$B_{DHSS} = N_{F,DHSS} \cdot F_{0,DHSS} \cdot T$	$10^2 \dots 10^3$
Частотно-модульованих сигналів	$B_{ЧМ} = \Delta f_d \cdot T$	$10^2 \dots 10^3$
Багаточастотних сигналів	$B_{БЧ} = N_z$	$\leq 10^3$
Фазо-маніпульованих сигналів	$B = N_k$	$10^3 \dots 2 \cdot 10^3$
Складених сигналів	$B = \sum_{N_F, N_T} N_{0,i}$	$\leq 10^4$
Метод прямої послідовності (DSSS)	$B = N_{OCDM} \cdot F \cdot T$	$10^3 \dots 10^6$

Крім використання у промислових комп'ютерних і телекомунікаційних системах та мережах, цей принцип практично став стандартом безпосереднього спілкування радіоаматорів між собою [38], тому що забезпечує надійність зв'язку у достатньо складних умовах.

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-372-0>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-372-0>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-372-0>

Наукове видання

**Кветний Роман Наумович
Кулик Анатолій Ярославович**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ
У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ**

Монографія

Редактор С. А. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено А. Я. Куликом

Підписано до друку 28.07.2010 р.
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 20,82
Наклад 100 прим. Зам № 2010-146.

Вінницький національний технічний університет,
КІВЦ ВНТУ,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-85-32
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-81-59
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.