

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломної роботи

бакалавр

(назва освітнього рівня)

галузь знань

17 Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва галузі знань)

спеціальність

172 Телекомунікації та радіотехніка

(код і назва спеціальності)

освітній рівень

бакалавр

(назва освітнього рівня)

кваліфікація

бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки

(код і назва кваліфікації)

На тему:

«Імітаційне моделювання мережі WLAN стандарту IEEE 802.11»

Виконал: студент 4 курсу, групи 172-19-1

Журбицький Денис Вадимович

(підпис)

(прізвище ім'я по-батькові)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проєкту	Проф. Гусєв О.Ю.		
розділів:			
спеціальний	Проф. Гусєв О.Ю.		
економічний	Доц. Романюк Н.М.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Проф. Гусєв О.Ю.		

Дніпро
2023

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор _____ Корнієнко В.І.
« ____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу бакалавра

спеціальність _____ *172 Телекомунікації та радіотехніка*
(код і назва спеціальності)

студента _____ *172-19-1* _____ *Жубицький Денис Вадимович*
(група) (прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломної роботи «Імітаційне моделювання мережі WLAN стандарту IEEE 802.11»

Наказ ректора НТУ "ДП" від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Стан питання. Постановка задачі</i>	Аналітичний огляд літератури по темі проекту	Березень 2023
<i>Спеціальна частина</i>	Принцип роботи систем передачі даних на базі використання бездротової мережі стандарту IEEE 802.11. Розробка моделі в середовищі MATLAB. Оформлення пояснювальної записки.	Квітень 2023
<i>Економічний розділ</i>	Розрахунок капітальних витрат	Травень 2023

Завдання видав _____
(підпис)

Гусев О.Ю.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання _____
(підпис)

Журбицький Д.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 03.2023 р.

Строк подання дипломної роботи до ДЕК: 06.2023 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 20 рис., 8 табл., 4 додатки, 42 джерела

Об'єкт розробки: системи бездротового зв'язку

Предмет розробки: моделювання мережі бездротового зв'язку стандарту IEEE 802.11.

Мета дипломної роботи: розробка імітаційної моделі, дослідження та аналіз системи бездротового зв'язку стандарту IEEE 802.11.

У першому розділі зроблено огляд технологій стандарту IEEE 802.11, розглянуто основні принципи функціонування систем бездротового зв'язку різних специфікацій стандарту. Здійснено постановку задачі роботи.

У спеціальному розділі для імітаційного моделювання обрано специфікацію стандарту IEEE 802.11, розроблено модель у середовищі Simulink MATLAB. Виконано дослідження і проведено аналіз результатів.

В економічній частині проведений розрахунок капітальних витрат на розробку імітаційної моделі системи бездротового зв'язку стандарту IEEE 802.11.

СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, БЕЗДРОТОВІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ,
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, СТАНДАРТ IEEE 802.11, МОБІЛЬНИЙ
ЗВ'ЯЗОК

ABSTRACT

Explanatory note: 70 p., 20 figures, 8 tables, 4 appendices, 42 sources

Object of development: wireless communication systems

The subject of development: modeling of the wireless communication system of the IEEE 802.11 standard.

The purpose of the thesis: development of a simulation model, research and analysis of the wireless communication system of the IEEE 802.11 standard.

In the first chapter, an overview of the technologies of the IEEE 802.11 standard is made, the basic principles of wireless communication systems of various specifications of the standard are considered. The work task has been set.

In a special chapter, the specification of the IEEE 802.11 standard was selected for simulation modeling, and the model was developed in the Simulink MATLAB environment. The research was carried out and the results were analyzed.

In the economic part, the calculation of capital costs for the development of a simulation model of the wireless communication system of the IEEE 802.11 standard was carried out.

DATA TRANSMISSION SYSTEMS, WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS,
SIMULATION, IEEE 802.11 STANDARD, MOBILE COMMUNICATION

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3G-HF (3 Generation - Huge Frequency) - широкосмугові короткохвильові радіостанції 3 покоління.

3GPP (англ.3rd Generation Partnership Project) - партнерська асоціація груп телекомунікаційних компаній, головною метою створення якої є розробка і затвердження стандартів для мережевих технологій третього покоління (3G) , стандартизація архітектури мереж та сервісів.

AM (Amplitude Modulation) - амплітудна модуляція.

AWGN (Additive white Gaussian noise) - адитивний білий гаусів шум.

ARQ (Automatic Repeat reQuest) - автоматичний запит повтору передачі, тобто спосіб контролю помилок при передачі даних.

BDPSK (Binary Differential Phase Shift Keying) - двійкова диференціальна фазова маніпуляція.

BLER (Block Error Rate) - частота блочних помилок.

BPSK (Binary Phase-Shift Keying) - двійкова фазова маніпуляція.

BWA (Broadband wireless access) - широкосмуговий безпроводний доступ.

CCK (Complementary Code Keying) - це схема модуляції, яку застосовується у бездротові мережі (WLAN), які використовують специфікації IEEE 802.11b.

CDMA (Code Division Multiple Access) - множинний доступ з кодовим розділом каналів.

COFDMA (Coded OFDM) - Цей вид OFDM відрізняється лише тим, що дані попередньо кодується коригуючими кодами.

CRC (Cyclic Redundancy Check) - циклічний надлишковий код.

DAB (Digital Audio Broadcasting) - цифрове радіо.

DAC (Digital Analog Converter) - цифро - аналоговий перетворювач.

DFS (Dynamic Frequency Selection) - динамічний вибір частоти, технологія призначена для забезпечення максимальної продуктивності радіо каналів в областях з наявністю сильних радіо перешкод.

DL-SCH (Downlink Shared Channel) - низхідний канал розповсюдження.

DRM (Digital rights management) - керування цифровими правами.

DSSS (Direct-sequence spread spectrum) - пряме послідовне розповсюдження спектру.

DVB (Digital Video Broadcasting) - цифрове телевізійне мовлення.

EPA (Extended pedestrian A model) - модель каналу завмирань.

ETSI HiperMAN (European Telecommunications Standards Institute High Performance Radio Metropolitan Area Network) - це стандарт створений Європейським інститутом телекомунікацій та стандартизації груп широкосмугових мереж радіодоступу, щоб забезпечити бездротову комунікаційну мережу в діапазоні 2-11 ГГц.

EVA (Extended Vehicular A model) - модель каналу завмирань.

FFT (Fast Fourier transform) - бистре пряме перетворення Фур'є.

FM (Frequency Modulation) - частотна модуляція.

GI (Guard Interval) - захисний інтервал.

HARQ (Hybrid automatic repeat request) - гібридний автоматичний запит повтору передачі.

HDL (hardware description language) - це спеціалізована формальна комп'ютерна мова, що використовується для проектування структури, дизайну та роботи електронної мікросхеми та її моделювання.

IBOC (In-band on-channel) - гібридний метод передачі цифрового радіо мовлення.

IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) - міжнародна некомерційна асоціація фахівців в галузі техніки, світовий лідер в області розробки стандартів з радіоелектроніки та електротехніки.

IFFT (Inverse Fast Fourier transform) - зворотне швидке перетворення Фур'є.

IP (Internet protocol) - інтернет протокол.

ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) - стандарт цифрового наземного телебачення ISDB-T, використовується переважно в Японії і Південній Америці.

ISI (intersymbol interference) - міжсимвольна інтерференція.

LDPC (Low-density parity-check code) - код з малою щільністю перевірок на парність.

LMDS (Local Multipoint Distribution Service) - локальне точкове розповсюдження.

MIMO (Multiple Input - Multiple Output) - технологія багатопроменевого розповсюдження.

MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service) - багатоканальне точкове розповсюдження.

NLOS (Non-Line-of-Sight) - це радіо передача у напрямку, який частково утруднений, як правило, шляхом фізичного об'єкта у внутрішній зоні Френеля.

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) - мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів.

PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) - відношення пікової потужності до середньої.

PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) - пакет згортаючого двійкового кодування.

PBCH (Physical Broadcast Channel) - фізичний трансляційний канал.

PDCCH (Physical Downlink Control Channel) - фізичний канал керування.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) - фізичний низхідний канал розповсюдження.

PSK (Phase Shift Keying) - фазова маніпуляція.

QAM (Quadrature Amplitude Modulation) - різновид амплітудної модуляції сигналу, яка являє собою суму двох несучих коливань однієї частоти, але зсунутих по фазі відносно один одного на 90° , кожне з яких модульоване по амплітуді своїм модулюючим сигналом.

QoS (Quality of Service) - якість обслуговування.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying або 4-PSK) – квадратурно-фазова маніпуляція.

SC-OFDMA (Single-carrier FDMA) - частотний доступ за одною несучою.

SNR (Signal Noise Rate) - відношення сигнал шум.

SoC (System on Chip) - системи на кристалі.

SQRT (square root raised - cosine) - корінь квадратний косинуса.

STC (Space-Time Coding) - це метод, який використовується для підвищення надійності передачі даних в бездротових системах зв'язку.

Wi-Fi (Wireless Fidelity) - висока точність бездротової передачі даних.

WLAN (Wireless Local Area Network) - бездротова локальна мережа.

xDSL (Digital Subscriber Line) - цифрова абонентська лінія.

АЦП - аналого-цифровий перетворювач.

АЧХ - амплітудно - частотна характеристика.

БШД - бездротовий широкосмуговий доступ.

ВДТ - відео термінал.

ВСШ - відношення сигнал\шум.

МІТРІС - мікрохвильова інтегрована телерадіоінформаційна система.

ПЕОМ - персональна електронно-обчислювальна машина.

ПЛІС - програмовані логічні інтегральні схеми.

ПРЗ - пристрої радіотехніки і зв'язку.

СБСШ - системи багаточастотних широкосмугових сигналів.

СШР - системи широкосмугового радіо доступу.

ЦАП - цифро - аналоговий перетворювач.

ЦОС - цифрова обробка сигналів.

ЦПОСІ - цифрові процесори обробки сигналів.

ШЗПФ - швидке зворотне перетворення Фур'є.

ЗМІСТ

ВСТУП	12
1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	15
1.1 Методи побудови радіосигналу WLAN-мереж..	15
1.2 Загальний опис стандарту IEEE 802.11...	16
1.3 Опис стандарту IEEE 802.11b	24
1.4 Опис стандарту IEEE 802.11a	31
1.5 Постановка задачі	34
1.6 Висновки	35
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	36
2.1 Розробка імітаційної моделі мережі стандарту IEEE 802.11a	36
2.2 Основні параметри фізичного рівня стандарту 802.11a	37
2.3 Структура фрейму	38
2.4 Математичний опис сигналів фрейму	43
2.5 Формування фрейму фізичного рівня стандарту IEEE 802.11a	46
2.6 Імітаційна модель стандарту IEEE 802.11a.....	48
2.7 Дослідження завадостійкості радіотракту стандарту IEEE 802.11a.....	51
2.8 Імітаційна модель стандарту IEEE 802.11b та її дослідження.....	53
2.9 Висновки	55
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	56
3.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку імітаційної моделі системи мобільного зв'язку стандарту IEEE 802.11	56
3.1.1 Визначення трудомісткості розробки моделі	56

3.1.2 Розрахунок витрат на розробку моделі	57
3.1.3 Розрахунок капітальних витрат	60
3.2 Висновки	61
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи	66
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії	67
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу	68
ДОДАТОК Г. Відгук керівника дипломної роботи	69

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку мережевих технологій, технологія бездротових мереж Wi-Fi є найбільш зручною в умовах, що потребують мобільності, простоти установки та використання. Як правило, технологія Wi-Fi використовується для організації бездротових локальних комп'ютерних мереж, а також створення гарячих точок високошвидкісного доступу в Інтернет.

Бездротові мережі мають, у порівнянні з традиційними провідними мережами, чималі переваги, головною з яких, звичайно ж, є:

- простота розгортання;
- гнучкість архітектури мережі, коли забезпечується можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключенні мобільних користувачів без значних втрат часу;
- швидкість проектування та реалізації, що критично за жорстких вимог до часу побудови мережі.

Стандарт IEEE 802.11 був першим стандартом для продуктів WLAN від незалежної міжнародної організації, яка розробляє більшість стандартів для провідних мереж. Проте на той час закладена спочатку швидкість передачі у бездротовій мережі не задовольняла потребам користувачів. Для того, щоб зробити технологію Wireless LAN популярною, дешевою, а головне, що відповідає сучасним жорстким вимогам бізнес-додатків, розробники були змушені створити новий стандарт.

У вересні 1999 року IEEE ратифікував розширення попереднього стандарту. Назване IEEE 802.11b (також відоме як 802.11 High rate), воно визначає стандарт для продуктів бездротових мереж, які працюють на швидкості 11 Mbps (подібно до Ethernet), що дозволяє успішно застосовувати ці пристрої у великих організаціях. Сумісність продуктів різних виробників гарантується незалежною організацією, яка називається Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA). Ця організація була створена лідерами індустрії бездротового зв'язку у 1999 році. В даний час членами WECA є понад 80 компаній, у тому числі такі відомі

виробники, як Cisco, Lucent, 3Com, IBM, Intel, Apple, Compaq, Dell, Fujitsu, Siemens, Sony, AMD та ін. WLAN стандарту IEEE 802.11 використовують частотний ресурс діапазону, передбаченого для промислових, наукових і медичних цілей (Industrial, Science, Medicine - ISM). Поряд з цим, в США для частотного забезпечення роботи WLAN використовуються частоти, передбачені для Національної Інформаційної Інфраструктури (National Information Infrastructure - NII). Частотні ресурси ISM і NII відносяться до різних ділянок діапазону СВЧ: перший лежить в межах відрізка 2.4-2.5 ГГц, другий - в межах відрізка 5.1-5.9 ГГц. У США частоти діапазонів ISM і NII відносяться до неліцензованому (Unlicensed); в Європі неліцензованому є частоти ISM-діапазону; в ряді країн (до них відноситься Україна) частоти однієї або обох зазначених смуг потребують ліцензування.

В даний час для побудови WLAN найбільш широко застосовуються пристрої стандарту IEEE 802.11a, звані Wi-Fi пристроями. У них, аналогічно пристроям базового (з правових питань) стандарту, застосовується пряме розширення спектра радіосигналів. Відмінність між методами DSSS, зі відповідними первісної і Wi-Fi версіями стандартів IEEE 802.11, полягає в застосовуваних методах реалізації DSSS (використання коду Баркера згідно базовому стандарту 1997 року і комплементарних кодів згідно стандарту IEEE 802.11b 1999 року). Частотні канали WLAN обох різновидів знаходяться в діапазоні ISM і ідентичні за своїми характеристиками. Займана каналами смуга частот дорівнює 22 МГц з рівнем придушення випромінювань за межами цієї смуги, що перевищує 30 дБ.

У діапазоні ISM європейських держав (за винятком Франції та Іспанії) розміщується 3 частотних канали WLAN стандартів IEEE 802.11 IEEE 802.11. Центральні частоти каналів співпадають 1-й, 6-й і 11-й частотами стандартної сітки смуги ISM, крок якої становить 5 МГц. Нульовий відлік сітки відповідає частоті 2402 МГц, а 11-му кроці сітки відповідає частота = $2402 + 5 \cdot n$ [МГц]. Центральні (несучі) частоти 3 каналів мають значення 2407, 2432 і 2457 МГц.

Частотний зсув між несучими становить 25 МГц; захисний інтервал між кордонами займаних смуг частот дорівнює 3 МГц. Зіставлення значень швидкості передачі інформаційних сигналів (бітів), передбачених розглянутими стандартами і ширині займаної каналами смуги частот свідчить про те, що значення коефіцієнта розширення спектра (коефіцієнт розширення - SF) в каналах зв'язку WLAN стандарту IEEE 802.11 є відносно невисоким.

Потреба у бездротовому доступі до локальних мереж зростає в міру збільшення числа мобільних пристроїв, таких як ноутбуки та PDA, а також зі зростанням бажання користувачів бути підключеними до мережі без необхідності "встромляти" мережний провід у свій комп'ютер. За прогнозами, до 2003 року у світі налічуватиметься понад мільярд мобільних пристроїв, а вартість ринку продукції WLAN до 2002 року прогнозується у понад 2 мільярди доларів.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Методи побудови радіосигналу WLAN-мереж

В даний час при розробці апаратури для бездротових мереж використовуються два методи побудови сигналу:

1 З безпосередньою модуляцією несучої частоти (Direct-Sequence Spread Spectrum – DSSS).

Інформаційний сигнал примножується на псевдовипадковий код (Pncode – Pseudo Random Noise Code). Отриманий результат використовують для модуляції несучої. У приймачі отриманий сигнал множать той самий код і виділяють корисний сигнал.

Основною проблемою, що виникає під час використання методу прямої послідовності, є ефект близького розташованого передавача, тобто, рівень сигналу передавача, що заважає набагато вище рівня потрібного передавача, що може призвести до втрати зв'язку.

2 З стрибкоподібною перебудовою частоти (Frequency-Hopping Spread Spectrum – FHSS).

Частота несучої змінюється відповідно до унікальної послідовності. Для цього необхідний швидкісний синтезатор частот.

Недолік: складність отримання високого значення бази сигналу, що необхідно збільшення числа користувачів, перешкодостійності, підвищення конфіденційності.

Перевага: менша схильність до ефекту близького передавача.

Обидва методи засновані на принципі приймання з «розширеним спектром», який забезпечує захист від перешкод та конфіденційність передаваної інформації. Зазвичай при виборі мережного продукту враховують такі фактори: швидкість передачі даних, дальність сталого зв'язку, відповідність стандартам, експлуатаційні характеристики та вартість. Вибір типу апаратури для бездротової мережі визначається як умовами експлуатації, і вартістю виробу. Слід зазначити, що пристрої, які працюють за методом FHSS, можна отримати мініатюрний та недорогий адаптер для портативного ПК.

1.2 Загальний опис стандарту IEEE 802.11

З усіх існуючих стандартів бездротової передачі даних IEEE 802.11 на практиці найчастіше використовуються лише три стандарти, визначені Інженерним інститутом електротехніки та радіоелектроніки (IEEE): 802.11b, 802.11a та 802.11g.

У стандарті IEEE 802.11b завдяки високій швидкості передачі даних (до 11 Мбіт/с), практично еквівалентній пропускну здатності звичайних дротових локальних мереж Ethernet, а також орієнтації на діапазон 2,4 ГГц, цей стандарт завоював найбільшу популярність у виробників бездротових мереж.

Оскільки обладнання, що працює на максимальній швидкості 11 Мбіт/с, має менший радіус дії, ніж на нижчих швидкостях, стандартом 802.11b передбачено автоматичне зниження швидкості погіршення якості сигналу.

Стандарт IEEE 802.11a має велику ширину смуги із сімейства стандартів 802.11 при швидкості передачі даних до 54 Мбіт/с.

На відміну від базового стандарту, орієнтованого на частоту 2,4 ГГц, специфікаціями 802.11a передбачена робота в діапазоні 5 ГГц. Як метод модуляції сигналу вибрано ортогональне частотне мультиплексування (OFDM).

До недоліків 802.11a відносяться більш висока споживана потужність радіопередавачів для частот 5 ГГц, а також менший радіус дії. Стандарт IEEE 802.11g є логічним розвитком 802.11b і передбачає передачу даних у тому частотному діапазоні. Крім того, стандарт 802.11g повністю сумісний із 802.11b, тобто будь-який пристрій 802.11g має підтримувати роботу з пристроями 802.11b. Максимальна швидкість передачі у стандарті 802.11g становить 54 Мбіт/с, тому на сьогодні це найперспективніший стандарт бездротового зв'язку.

При розробці стандарту 802.11g розглядалися дві конкуруючі технології: метод ортогонального частотного поділу OFDM і метод двійкового пакетного згорткового кодування PBCC, опціонально реалізований у стандарті 802.11b.

В результаті стандарт 802.11g містить компромісне рішення: як базові застосовуються технології OFDM і CCK, а опціонально передбачено використання технології PBCC.

Фізичні рівні стандарту

Основне призначення фізичних рівнів стандарту 802.11 – забезпечити механізми бездротової передачі для підрівня MAC, а також підтримувати виконання вторинних функцій, таких як оцінка стану бездротового середовища та повідомлення про нього під рівнем MAC. Рівні MAC та PHY розроблялися так, щоб вони були незалежними. Саме незалежність між MAC та підрівнем PHY і дозволила використовувати додаткові високошвидкісні фізичні рівні, описані у стандартах 802.11b, 802.11a та 802.11g.

Кожен із фізичних рівнів стандарту 802.11 має два підрівні:

- Physical Layer Convergence Procedure (PLCP). Процедура визначення стану фізичного рівня.

- Physical Medium Dependent (PMD). Підрівень фізичного рівня, що залежить від середовища передачі. На рис.1.1 показано, як эти подуровни

соотносятся между собой и с вышестоящими уровнями в модели взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection - OSI).

Підрівень PLCP по суті є рівнем забезпечення взаємодії, на якому здійснюється переміщення елементів даних протоколу MAC (MAC Protocol Data Units - MPDU) між MAC-станціями з використанням рівня PMD, на якому реалізується той або інший метод передачі і прийому даних через бездротове середовище. Підрівні PLCP та PMD відрізняються для різних варіантів стандарту 802.11. Перед тим як приступити до вивчення фізичних рівнів, розглянемо одну із складових фізичного рівня, яка досі не згадана, а саме – скремблювання.

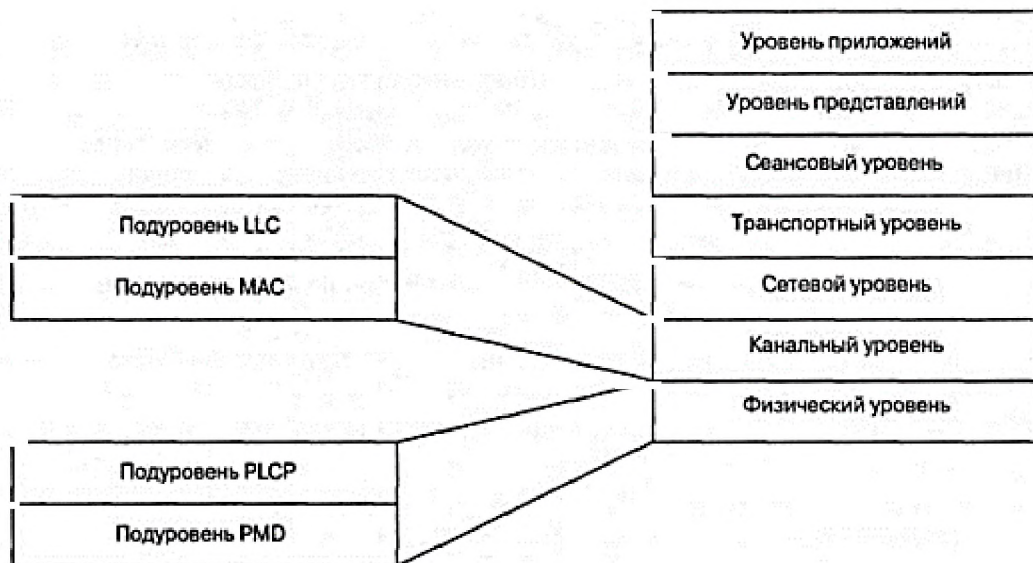


Рисунок 1.1 – Підрівні рівня РНУ

Одна з особливостей, що лежать в основі сучасних передавачів, завдяки якій дані можна передавати з високою швидкістю, - це припущення про те, що дані, що пропонуються для передачі, надходять, з погляду передавача, випадковим чином. Без цього припущення багато переваг, отриманих з допомогою застосування інших складових фізичного рівня, залишилися б нереалізованими.

Однак буває, що дані не цілком випадкові і насправді можуть містити повторювані набори і довгі послідовності нулів і одиниць. Скремблювання (перестановка елементів) - це метод, з якого прийняті дані робляться більш схожими на випадкові; досягається це шляхом перестановки бітів послідовності таким чином, щоб перетворити її зі структурованої на схожу на випадкову. Цю процедуру іноді називають "відбілювання потоку даних". Дескремблер приймача потім виконує зворотне перетворення цієї випадкової послідовності з метою одержання вихідної структурованої послідовності. Більшість способів скремблювання належить до самосинхронізованих; це означає, що дескремблер здатний самостійно синхронізуватися із скремблером.

Вихідний стандарт 802.11 визначає три методи передачі фізично:

- Передача у діапазоні інфрачервоних хвиль.
- Технологія розширення спектру шляхом стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS) у діапазоні 2,4 ГГц.
- Технологія широкосмугової модуляції із розширенням спектра методом прямої послідовності (DSSS) у діапазоні 2,4 ГГц.

Передача у діапазоні інфрачервоних хвиль.

Середовищем передачі є інфрачервоні хвилі діапазону 850 нм, які генеруються напівпровідниковим лазерним діодом, або світлодіодом (LED). Оскільки інфрачервоні хвилі не проникають через стіни, область покриття LAN обмежується зоною прямої видимості. Стандарт передбачає три варіанти поширення випромінювання: ненаправлену антену, відбиття від стелі та фокусне спрямоване випромінювання. У першому випадку тонкий промінь розсіюється за допомогою системи лінз. Фокусне спрямоване випромінювання призначене для організації двоточкового зв'язку, наприклад, між двома будинками.

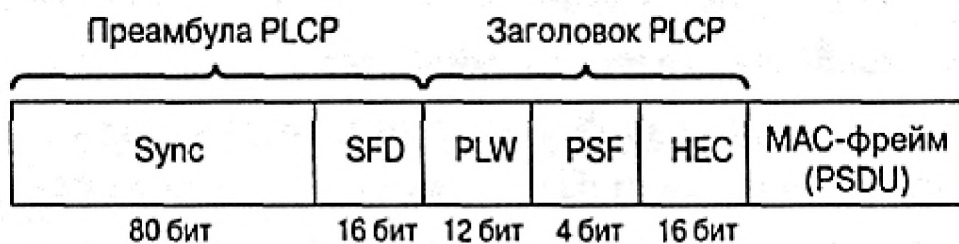
Бездротові локальні мережі зі стрибкоподібною перебудовою частоти (FHSS).

Бездротові локальні мережі FHSS підтримують швидкість передачі 1 і 2 Мбіт/с. Пристрої FHSS ділять призначену для їх роботи смугу частот від 2,402 до 2,480 ГГц на 79 каналів, що не перекриваються (це справедливо для Північної Америки і більшої частини Європи). Ширина кожного з 79 каналів становить 1 МГц, тому бездротові локальні мережі FHSS використовують відносно високу швидкість передачі символів – 1 МГц – і набагато меншу швидкість перебудови з каналу на канал.

Послідовність перебудови частоти повинна мати такі параметри: частота пересkokів не менше 2,5 разів на секунду як мінімум між шістьма (6 МГц) каналами. Щоб мінімізувати число колізій між зонами покриття, що перекриваються, можливі послідовності пересkokів повинні бути розбиті на три набори послідовностей, довжина яких для Північної Америки і більшої частини Європи становить 26.

По суті схема стрибкоподібної перебудови частоти забезпечує неквапливий перехід з одного можливого каналу на інший таким чином, що після кожного стрибка покривається смуга частот, що дорівнює як мінімум 6 МГц, завдяки чому в багатосотових мережах мінімізується можливість виникнення колізій.

Після того, як рівень MAC пропускає MAC-фрейм, який у локальних бездротових мережах FHSS називається також службовим елементом даних PLCP, або PSDU (PLCP Service Data Unit), підрівень PLCP додає два поля на початок кадру, щоб сформувати таким чином кадр PPDU (PPDU - елемент даних протоколу PLCP).



На рис. 1.2 представлений формат кадру FHSS підрівня PLCP.

Рисунок 1.2 – Формат кадру FHSS підрівня PLCP

Преамбула PLCP складається з двох підполів:

- Підполе Sync розміром 80 біт. Рядок, що складається з 0 і 1, що чергуються, починається з 0. Приймальна станція використовує це поле, щоб прийняти рішення про вибір антени за наявності такої можливості, відкоригувати догляд частоти (frequency offset) і синхронізувати розподіл пакетів (packet timing).

- Підполе прапора початку кадру (Start of Frame Delimiter, SFD) розміром 16 біт. Складається зі специфічного рядка (0000 1100 1011 1101, крайній зліва біт перший) забезпечення синхронізації фреймів (frame timing) для приймальної станції.

Заголовок кадру PLCP складається з трьох підполів:

- слово довжини службового елемента даних PLCP (PSDU), PSDU Length Word (PLW) розміром 12 біт. Вказує розмір кадру MAC (PSDU) у октетах.

- Сигнальне поле PLCP (Signaling Field PLCP – PSF) розміром 4 біт. Вказує швидкість передачі даних конкретного кадру.

- НЕС (Header Error Check). Контрольна сума кадру.

Службовий елемент даних PLCP (PSDU) проходить через операцію скремблювання для відбілювання (рандомізації) послідовності вхідних бітів. PSDU, що вийшов в результаті, представлений на рис. 1.3. Заповнюючі символи вставляють між усіма 32-символьними блоками. Ці символи, що заповнюють, усувають будь-які систематичні відхилення в даних, наприклад, коли одиниць більше, ніж нулів, або навпаки, які могли б призвести до небажаних ефектів при подальшій обробці.

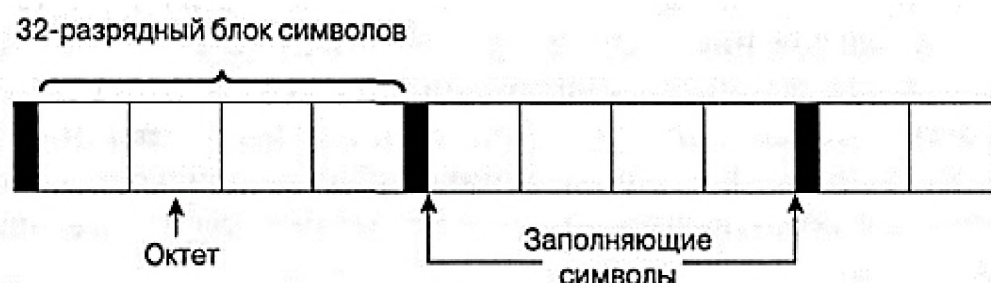


Рисунок 1.3 – Скрембльований PSDU у технології FHSS

Підрівень PLCP перетворює кадр на потік бітів і передає його на рівень PMD. Підрівень PMD технології FHSS модулює потік даних з використанням модуляції, заснованої на частоті гаусової модуляції (Gaussian Frequency Shift Keying - GFSK).

Бездротові локальні мережі використовують широкосмугову модуляцію DSSS з розширенням спектра методом прямої послідовності.

У специфікації стандарту 802.11 обумовлено використання іншого фізичного рівня - на основі технології широкосмугової модуляції з розширенням спектра методом прямої послідовності (DSSS). Як було зазначено в стандарті 802.11 розробки 1997, технологія DSSS підтримує швидкості передачі 1 і 2 Мбіт/с.

Аналогічно підрівню PLCP, що використовується в технології FHSS, підрівень PLCP технології DSSS стандарту 802.11 додає два поля кадру MAC, щоб сформувати PPDU: преамбулу PLCP і заголовок PLCP. Формат кадру представлений на рис. 1.4.

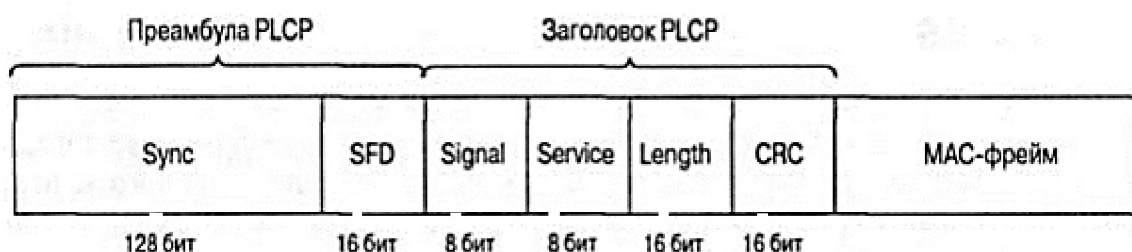


Рисунок 1.4 – Формат кадру DSSS підрівня PLCP

Преамбула PLCP складається з двох підполів:

- Підполе Sync шириною 128 біт, що є рядком, що складається з одиниць.

Завдання цього підполя – забезпечити синхронізацію для приймальної станції.

- Підполе SFD шириною 16 біт; у ньому міститься специфічний рядок 0xF3A0; його завдання – забезпечити таймінг (timing) для приймальної станції.

Заголовок PLCP складається з чотирьох підполів:

- Підполе Signal шириною 8 біт, що вказує тип модуляції та швидкість передачі даного кадру.

- Підполе Service шириною 8 біт зарезервовано. Це означає, що під час розробки специфікації стандарту вона залишилася невизначеною; передбачається, що воно стане в нагоді в майбутніх модифікаціях стандарту.

- Підполе Length шириною 16 біт, що вказує кількість мікросекунд (з діапазону 16-216), необхідне передачі частини MAC-фрейму.

- Підполе CRC. 16-бітна контрольна сума.

Підрівень PLCP перетворює кадр на потік бітів і передає дані на рівень PMD. Весь PPDU проходить через процес скремблювання з метою рандомізації даних.

Скрембльована преамбула PLCP завжди передається зі швидкістю 1 Мбіт/с, тоді як скрембльований кадр MPDU передається зі швидкістю, вказаною в підполі Signal. Підрівень PMD модулює вибілений потік бітів, використовуючи такі методи модуляції:

- Двійкова відносна фазова модуляція (Differential Binary Phase Shift Keying – DBPSK) для швидкості передачі 1 Мбіт/с.

- Квадратурна відносна фазова модуляція (Differential Quadrature Phase Shift Key – DQPSK) для швидкості передачі 2 Мбіт/с.

1.3 Опис стандарту IEEE 802.11b

Фізично до MAC-кадр (MPDU) додається заголовок фізичного рівня, що складається з преамбули і власне PLCP-заголовка (Рис. 1.5). Преамбула містить стартову синхропослідовність (SYNC) для налаштування приймача і 16-бітний код початку кадру (SFD) - число F3A016. PLCP-заголовок включає поля SIGNAL (інформація про швидкість і тип модуляції), SERVICE (додаткова інформація, у тому числі про застосування високошвидкісних розширень та PBCC-модуляції) і LENGTH (час у мікросекундах, необхідний передачі наступної за заголовком частини кадру). Усі три поля заголовка захищені 16-бітною контрольною сумою CRC.

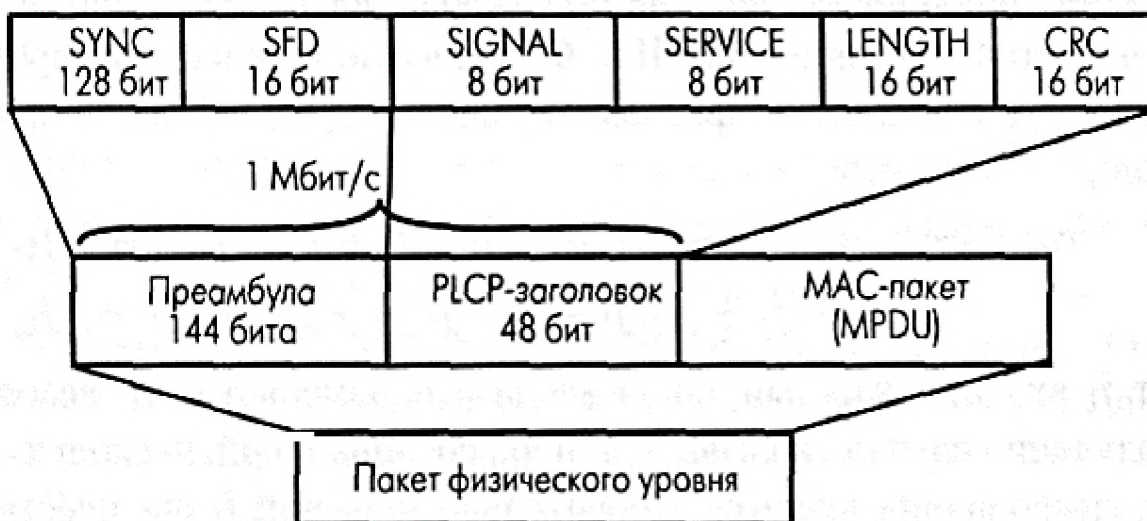


Рисунок 1.5 – Структура кадрів мережі IEEE 802.11b фізичного рівня

У стандарті IEEE 802.11b передбачено два типи заголовків: довгий та

короткий (рис. 1.6).

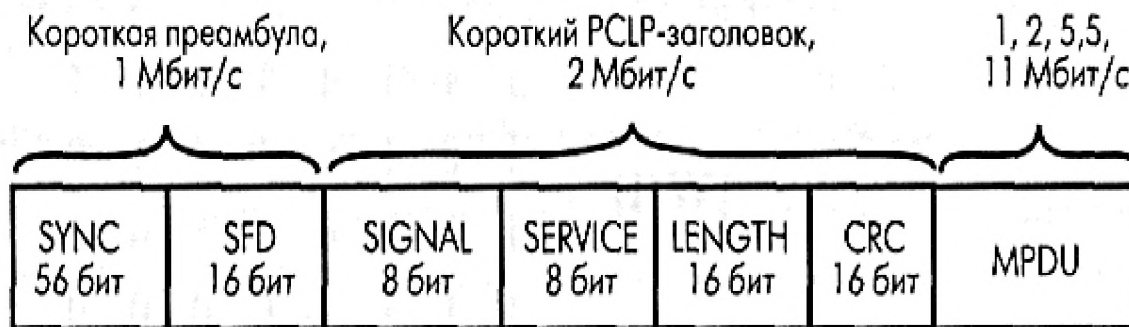


Рисунок 1.6 – Короткий заголовок кадрів мережі 802.11b

Вони відрізняються довжиною синхропослідовності (128 і 56 біт), способом її генерації, а також тим, що символ початку кадру в короткому заголовку передається у зворотному порядку. Крім того, якщо всі поля довгого заголовка передаються зі швидкістю 1 Мбіт/с, при короткому заголовку преамбула транслюється на швидкості 1 Мбіт/с, інші поля заголовка - зі швидкістю 2 Мбіт/с. Решту кадру можна передавати на будь-якій із допустимих стандартом швидкостей передачі, зазначених у полях SIGNAL та SERVICE. Короткі заголовки фізичного рівня передбачені специфікацією IEEE 802.11b збільшення пропускну здатність мережі.

З опису процедур зв'язку мережі IEEE 802.11 видно, що "накладні витрати" у цьому стандарті вищі, ніж у дротовій мережі Ethernet. Тому дуже важливо забезпечити високу швидкість передачі даних у каналі. Підвищити пропускну здатність каналу із заданою шириною смуги частот можна, розробляючи та застосовуючи нові методи модуляції. Цим шляхом пішла група розробників IEEE 802.11b.

Нагадаємо, що від початку стандарт IEEE 802.11 передбачав роботу в режимі DSSS з використанням так званої Баркерівської послідовності (Barker) довжиною 11 біт: $B1 = (10110111000)$. Кожен інформаційний біт заміщається своїм твором за модулем 2 (операція "що виключає АБО") з даною послідовністю, тобто кожна інформаційна одиниця замінюється на $B1$, кожен нуль - на інверсію

B1. В результаті біт замінюється послідовністю 11 чипів. Далі сигнал кодується за допомогою диференціальної дво- або чотиріпозиційної фазової модуляції (DBPSK або DQPSK, один або два чіпи на символ відповідно). При частоті модуляції, що несе 11 МГц, загальна швидкість становить залежно від типу модуляції 1 і 2 Мбіт/с.

Стандарт IEEE 802.11b додатково передбачає швидкість передачі 11 і 5,5 Мбіт/с. Для цього використовується так звана ССК-модуляція (Complementary Code Keying – кодування комплементарним кодом). Хоча механізм розширення спектру, що використовується для отримання швидкостей 5,5 і 11 Мбіт/с із застосуванням ССК, відноситься до методів, які застосовуються для швидкостей 1 і 2 Мбіт/с, він унікальний. В обох випадках застосовується метод розширення, але при використанні модуляції ССК код, що розширює, являє собою код з 8 комплексних чіпів, у той час як при роботі зі швидкостями 1 і 2 Мбіт/с застосовується 11-розрядний код. 8-чіповий код визначається або 4 або 8 бітами - в залежності від швидкості передачі даних. Швидкість передачі чіпів становить 11 Мчип/с, тобто. при 8 комплексних чіпах на символ і 4 або 8 бітів на символ можна досягти швидкості передачі даних 5,5 та 11 Мбіт/с.

Щоб передавати дані зі швидкістю 5,5 Мбіт/с, потрібно згрупувати скрембльований потік бітів у символи по 4 біти (b_0, b_1, b_2 і b_3). Останні два біти (b_2 і b_3) використовуються для визначення 8 послідовностей комплексних чіпів, як показано в таблиці 1.1, де $\{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8\}$ являють собою чіпи послідовності. У таблиці 1.1 j представляє уявне число, квадратний корінь з -1 , і відкладається по уявній, або квадратурній, осі комплексної площини.

Тепер, маючи послідовність чіпів, визначену бітами (b_2, b_3), можна використовувати перші два біти (b_0, b_1) для визначення повороту фази, що здійснюється при модуляції методом DQPSK, який буде застосований до послідовності (таблиця 1.1).

Ми повинні також пронумерувати кожен 4-бітовий символ PSDU, починаючи з 0, щоб можна було визначити, чи перетворюєте парний або

непарний символ відповідно до цієї таблиці. Слід пам'ятати, що йдеться про використання DQPSK, а не QPSK, і тому представлені в таблиці зміни фази

b0, b1	Зміна фази парних символів	Зміна фази непарних символів
0	0	π
1	$\pi/2$	$-\pi/2$
1	π	0
0	$-\pi/2$	$\pi/2$

відраховуються по відношенню до попереднього символу або, у випадку першого символу PSDU, по відношенню до останнього символу попереднього символу DQPSK, що передається зі швидкістю 2 Мбіт /с.

Таблиця 1.1 – Поворот фази при модуляції ССК

Це обертання фази застосовується до 8 комплексних чіпів символу, потім здійснюється модуляція на відповідній несучій частоті.

Щоб передавати дані зі швидкістю 11 Мбіт/с, скрембльована послідовність бітів PSDU розбивається на групи по 8 символів. Останні 6 бітів вибирають одну послідовність, що складається з 8 комплексних чіпів, з числа 64 можливих послідовностей, майже так само, як використовувалися біти (b2, b3) для вибору однієї з чотирьох можливих послідовностей. Біти (b0,b1) використовуються так само, як при модуляції ССК на швидкості 5,5 Мбіт/с для обертання фази послідовності і подальшої модуляції на відповідній несучій частоті.

У чому перевага ССК-модуляції? Річ у тім, що чіпи символу визначаються основі послідовностей Уолша-Адамара. Послідовності Уолша-Адамара добре вивчені, мають відмінні автокореляційні властивості. Що важливо, кожна така

послідовність мало корелює сама з собою при фазовому зрушенні - дуже корисна властивість при боротьбі з відбитими сигналами. Незавжди помітити, що теоретичне операційне посилення ССК-модуляції - 3 дБ (удвічі), оскільки без кодування QPSK-модульований з частотою 11 Мбіт/с сигнал може транслювати 22 Мбіт/с. Як видно, ССК-модуляція є видом блочного коду, а тому досить проста при апаратній реалізації. Сукупність цих властивостей і забезпечила ССК місце у стандарті IEEE 802.11b як обов'язковий вид модуляції. Насправді важливо не тільки операційне посилення. Істотну роль грає і рівномірність розподілу символів у фазовому просторі - вони повинні якнайдалі відстояти один від одного, щоб мінімізувати помилки їх детектування. І з цього погляду ССК-модуляція не виглядає оптимальною, її реальне операційне посилення не перевищує 2 дБ. Тому спочатку опрацьовувався інший спосіб модуляції - пакетне бінарне згорткове кодування PBCC (Packet Binary Convolutional Coding). Цей метод увійшов до стандарту IEEE 802.11b як додаткова (необов'язкова) опція. Механізм PBCC (рис. 1.7) дозволяє досягати в мережах IEEE 802.11b пропускної спроможності 5,5, 11 та 22 Мбіт/с.

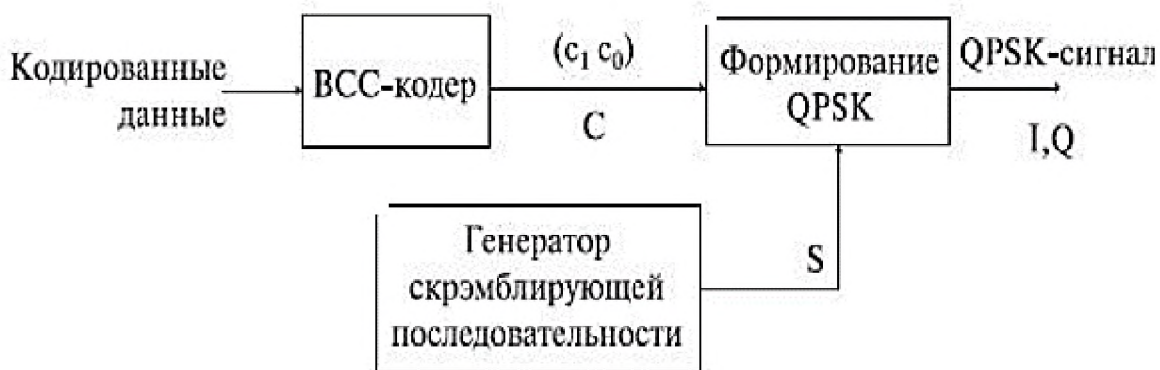


Рисунок 1.7 – Загальна схема PBCC-модуляції

Як випливає з назви, метод ґрунтується на згортковому кодуванні. Для швидкостей 5,5 та 11 Мбіт/с потік інформаційних бітів надходить у

шестирозрядний зсувний реєстр із суматорами (рис. 1.8). У початковий час всі тригери зсувного реєстру ініціалізують нулем. Як результат кожен вихідний біт d замінюється двома бітами кодової послідовності (c_0, c_1). При швидкості 11 Мбіт/с c_0 та c_1 задають один символ чотиріпозиційної QPSK-модуляції. Для швидкості 5,5 Мбіт/с використовують двопозиційну BPSK-модуляцію, послідовно передаючи кодові біти c_0 та c_1 . Якщо ж потрібна швидкість 22 Мбіт/с, схема кодування ускладнюється: три кодові біти (c_0 - c_2) визначають один символ у 8-позиційній 8-PSK-модуляції (рис. 1.9). Після формування PSK-символів відбувається скремблювання. Залежно від сигналу s (рис. 1.7) символ залишається без змін ($s = 0$), або його фаза збільшується на ($s = 1$). Значення s визначає 256-бітова циклічно повторювана послідовність S . Вона формується на основі початкового вектора, в якому дорівнює число нулів та одиниць.

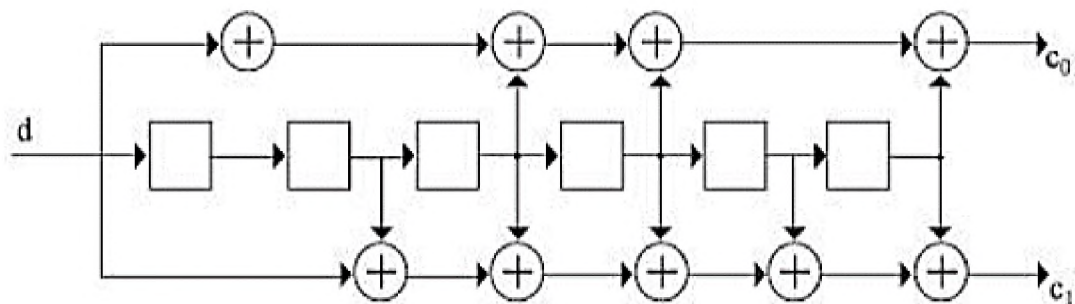


Рисунок 1.8 – Сверточное кодирование с двумя битами кодовой последовательности

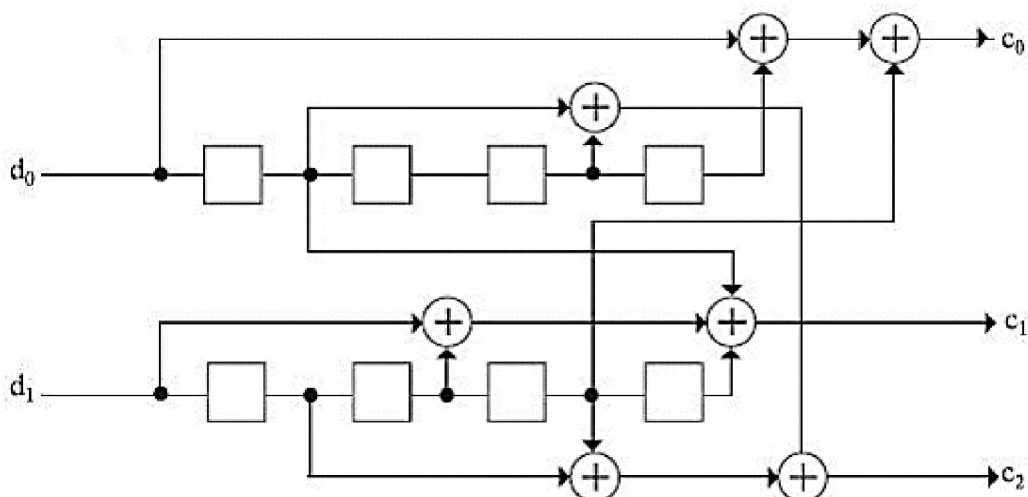


Рисунок 1.9 – Сверточное кодирование с тремя битами кодовой последовательности

У шестирозрядного зсувного реєстра, що застосовується в РВСС для швидкостей 11 і 5,5 Мбіт/с, є 64 можливих вихідних станів. Отже, при модуляції РВСС інформаційні біти у фазовому просторі виявляються набагато далі один від одного, ніж при ССК-модуляції. Тому РВСС і дозволяє при тому самому співвідношенні "сигнал-шум" і рівні помилок вести передачу з більшою швидкістю, ніж у випадку ССК. Однак плата за ефективніше кодування - складність апаратної реалізації даного алгоритму.

1.4 Опис стандарту IEEE 802.11a

Стандарт IEEE 802.11a з'явився практично одночасно з IEEE 802.11b у вересні 1999 року. Ця специфікація була орієнтована на роботу в діапазоні 5 ГГц і заснована на принципово іншому, ніж описано вище, механізм кодування даних - на частотному мультиплексуванні за допомогою ортогональних несучих (OFDM).

Стандарт 802.11a визначає характеристики обладнання, що застосовується в офісних або міських умовах, коли поширення сигналу відбувається по багатопроменеві канали через безліч відображень.

У IEEE 802.11a кожен кадр передається за допомогою 52 ортогональних несучих, кожна із шириною смуги близько 300 КГц (20 МГц/64). Ширина одного каналу – 20 МГц. Несучі модулюють за допомогою BPSK, QPSK, а також 16- і 64-позиційної квадратурної амплітудної модуляції (QAM). У сукупності з різними швидкостями кодування (1/2 та 3/4, для 64-QAM - 2/3 та 3/4) утворюється набір швидкостей передачі 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 та 54 Мбіт/с . У таблиці 1.2 показано,

як необхідна швидкість передачі перетворюється на відповідні параметри вузлів передавача OFDM.

Структура заголовків фізичного рівня відрізняється від прийнятого специфікації IEEE 802.11b, але незначно (рис. 1.10).

Таблиця 1.2 – Параметри передавача стандарту 802.11a

Швидкість передачі даних (Мбіт/с)	Модуляція	Швидкість згорткового кодування	Число каналних бітів на піднесучу	Число каналних бітів на символ	Число бітів даних на символ OFDM
6	BPSK	1/2	1	48	24
9	BPSK	3/4	1	48	36
12	QPSK	1/2	2	96	48
18	QPSK	3/4	2	96	72
24	16-QAM	1/2	4	192	96
36	16-QAM	3/4	4	192	144
48	64-QAM	2/3	6	288	192
54	64-QAM	3/4	6	288	216

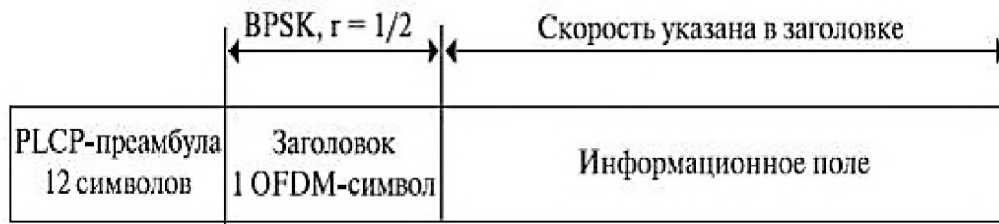
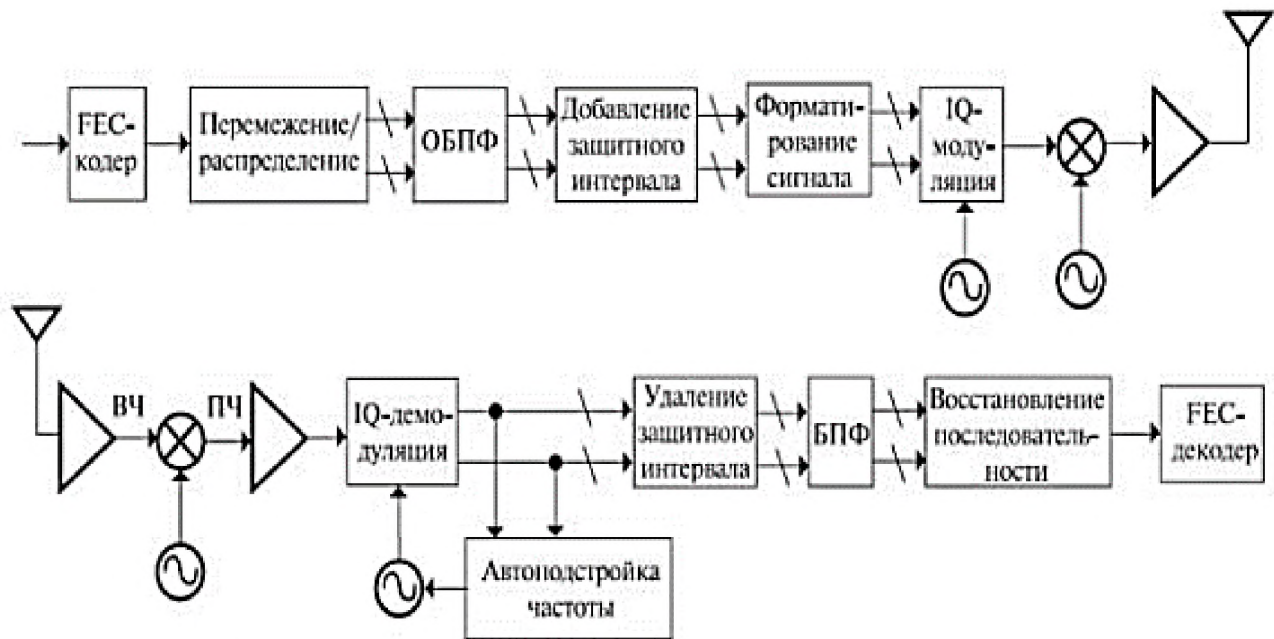


Рисунок 1.10 – Структура заголовка фізичного рівня стандарту IEEE 802.11a

Кадр включає преамбулу (12 символів синхрослідковості), заголовок фізичного рівня (PLCP-заголовок) та власне інформаційне поле, сформоване на MAC-рівні. У заголовку передається інформація про швидкість кодування, тип модуляції та довжину кадру. Преамбула та заголовок транслюються з мінімально можливою швидкістю (BPSK, швидкість кодування $r = 1/2$), а інформаційне поле - із зазначеною в заголовку, як правило, максимальною швидкістю, залежно від умов обміну. OFDM-символи передаються через кожні 4 мкс, причому кожному символу тривалістю 3,2 мкс передують захисний інтервал 0,8 мкс (частина символу, що повторюється). Останній необхідний боротьби з багатопроменевим поширенням сигналу - відбитий і який із затримкою символ потрапить у захисний інтервал і пошкодить наступний символ.

Природно, формування/декодування OFDM символів відбувається за допомогою швидкого перетворення Фур'є (зворотного/прямого, ОБПФ/БПФ). Функціональна схема тракту прийому/передачі (рис. 1.11) достатньо стандартна для даного методу і включає згортковий кодер, механізм перемешування/перерозподілу (захист від пакетних помилок) та процесор ОБПФ. Фур'є-процесор, власне, формує сумарний сигнал, після чого до символу додається

захисний інтервал, остаточно формується OFDM-символ і за допомогою квадратурного модулятора/конвертера переноситься в задану частотну область.



При прийомі все відбувається у зворотному порядку.

Рисунок 1.11 – Функціональна схема трактів прийому/передачі стандарту IEEE 802.11a

1.5 Постановка задачі

Метою цієї роботи є розробка імітаційної моделі, дослідження та аналіз системи безпроводного зв'язку стандарту IEEE 802.11 на її основі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1 Провести аналіз особливостей побудови мереж WLAN та процесів надання різноманітних послуг користувачам з метою виявлення допустимих норм інтенсивності обслуговування послуг;

2 Розробити структурну схему фрагмента мережі WLAN;

- 3 Запропонувати імітаційну модель каналу зв'язку безпроводної мережі WLAN;
- 4 Провести модельний експеримент та отримати основні характеристики WLAN;
- 5 Виконати аналіз отриманих результатів.

1.6 Висновки

- 1 Здійснено аналіз методів побудови мереж WLAN стандарту IEEE 802.11.
- 2 Проаналізовано особливості побудови радіоінтерфейсу технології WLAN, на підставі яких зроблено висновок, що станом на сьогодні стоїть гостра необхідність впровадження бездротових мереж WI-FI, це зумовлено зростанням інформаційних потоків та збільшення кількості користувачів. Збільшення користувачів вимагає від розробників обладнання бездротового зв'язку вирішувати завдання по покращенню існуючих та створенню нових стандартів бездротового зв'язку, підвищуються вимоги до якості та безпеки WI-FI мереж.
- 3 Здійснено аналіз якості передачі у мережах WLAN.
- 4 Сформульовано завдання дослідження.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка імітаційної моделі мережі стандарту IEEE 802.11a

Модель (рис. 2.1) містить компоненти, що моделюють основні функції стандарту 802.11a. Верхній ряд блоків містить компоненти передавача, а нижня рядок містить компоненти приймача.

Система зв'язку в даному прикладі виконує наступні задачі:

1. Генерація випадкових даних на швидкості, яка змінюється в процесі моделювання. Різній швидкості передачі даних здійснюється періодично дозволяючи блок джерела протягом часу, який залежить від бажаної швидкості передачі даних.

2. Кодування, перемеження і модуляцію з використанням одного з декількох схем, визначених у стандарті.

Щоб дослідити ці операції, виберіть блок модулятор банку та оберіть подивіться під маскою з меню Правка вікна. Потім виберіть будь-який з модулятора блоків у підсистемі і виберіть подивитися під маскою з меню Правка вікна.

Зокрема, кожен модулятор блок в банку виконує такі завдання:

- Згортального кодування і проколювання за допомогою коду темпи 1/2, 2/3 і 3/4
- Дані чергування BPSK, QPSK, 16-QAM і 64-QAM модуляція
- OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів) передачі з використанням 52 піднесучих даних, 4 пілотів, 64-точкові БПФ і 16-зразок циклічний префікс.
- PLCP (протоколу конвергенції фізичного рівня) преамбула моделюється як чотири довгих послідовностей навчання.
- Дисперсійний багатопроменевий завмирання каналу. Ви можете налаштувати властивості каналу за допомогою діалогового вікна блоку багатопроменевий каналу.
 - Приймач вирівнювання.
 - Спрощення та допущення. Для простоти в цьому прикладі
 - Фіксує кількість символів даних у кожному пакеті і опускає майданчик біти
- Працює постійно від кадру до кадру і, таким чином опускає хвостові біти, які були б використані для скидання стану декодера

- Виправляє рівень потужності передачі, замість зміни середньої ЗСШ каналу

- Передбачається придбання ідеалізована часу / частоти

Крім того, в прикладі не моделюються аспекти стандарту IEEE 802.11a:

- MAC / PHY інтерфейс і PLCP заголовки (TXVECTOR / RXVECTOR)
- Дані скрембліваніє, який є необхідним у цьому прикладі, оскільки дані випадкові
- Короткі послідовності навчання (для автоматичного регулювання посилення, різноманітність, вибір часу / придбання частота)

2.2 Основні параметри фізичного рівня стандарту 802.11a

Стандарт 802.11a розроблений американським інститутом IEEE та специфікує фізичний рівень (PHY) передачі даних в локальних обчислювальних мережах нового покоління, що працюють в частотному діапазоні 5 ГГц і забезпечують швидкість передачі даних до 54 Мбіт / с. Основні параметри стандарту 802.11a наведені в табл.2.1 і будуть пояснені нижче.

Таблиця 2.1 – Основні параметри стандарту 802.11a

Параметр	Значення
Ширина смуги частот	20 МГц
Число піднесучих для даних (N_{SD})	48
Число піднесучих для пілот-сигналів (N_{SP})	4
Повна кількість піднесучих (N_{ST})	52
Частотне рознесення піднесучих Δ_F	0,3125 МГц (=20МГц/64)

Період Фур'є перетворень T_{FFT}	3,2 мкс ($1/\Delta_F$)
Розмірність Фур'є перетворень	64
Тривалість преамбули ($T_{PREAMBLE}$)	16 мкс ($T_{SHORT} + T_{LONG}$)
Тривалість OFDM-символу (T_{SIGNAL})	4,0 мкс ($T_{GI} + T_{FFT}$)
Тривалість захисного інтервалу (T_{GI})	0,8 мкс ($T_{FFT}/4$)
Тривалість короткої тренуючої послідовності (T_{SHORT})	8 мкс ($10 \times T_{FFT}/4$)
Тривалість довгої тренуючої послідовності (T_{LONG})	8 мкс ($2 \times T_{GI} + 2 \times T_{FFT}$)

2.3 Структура фрейму

Стандартом 802.11a наказаний пакетний (фреймової) режим передачі даних. На рис. 2.1. показаний один фрейм. Видно, що він складається з трьох основних частин (субфреймів): преамбули ("PREAMBLE"), поля "SIGNAL" і переданих даних ("DATA"). Частотна структура OFDM-фрейма наведена на Рис. 2.2 а тимчасова структура преамбули та поля "SIGNAL" показана на рис. 2.3.

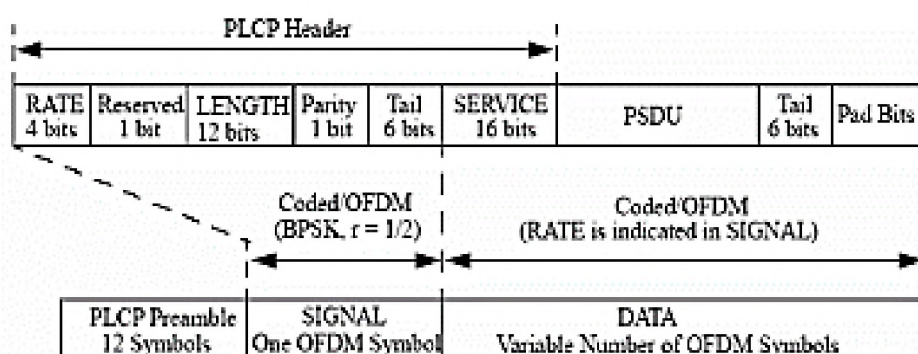


Рисунок 2.1 –
Структура
фрейму
фізичного
рівня
стандарту
802.11a

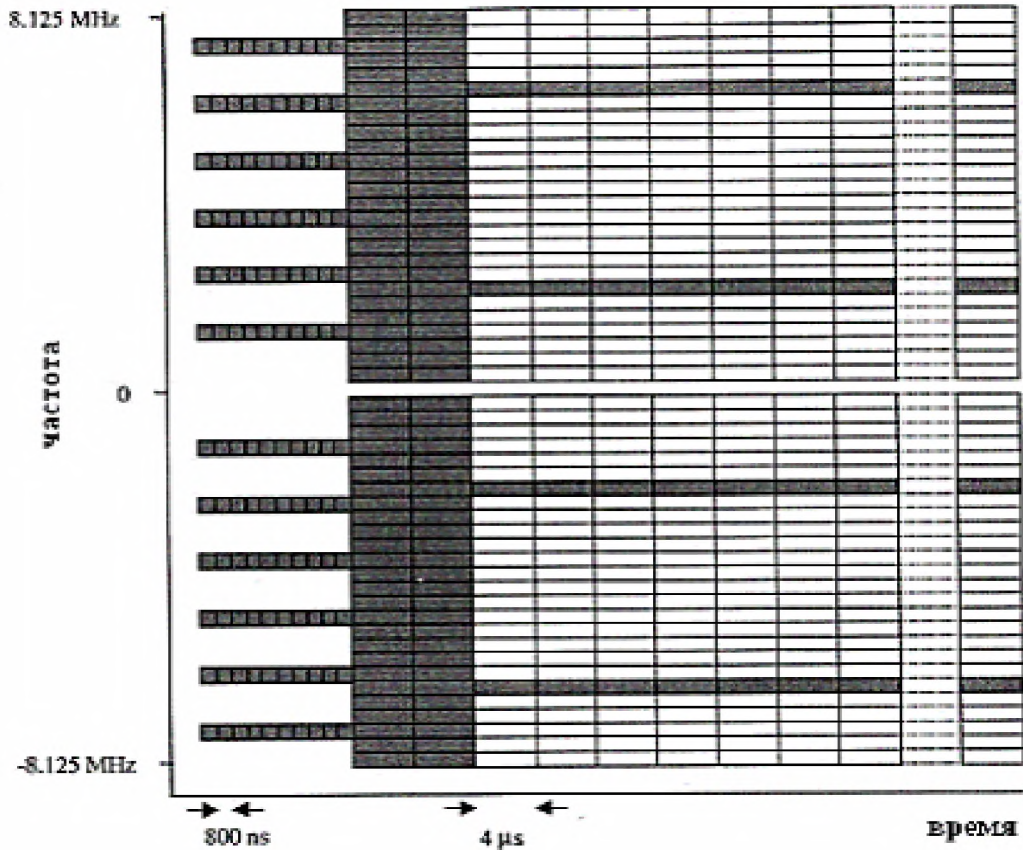


Рисунок 2.2 – Частотна структура фрейма OFDM-системи стандарту 802.11a

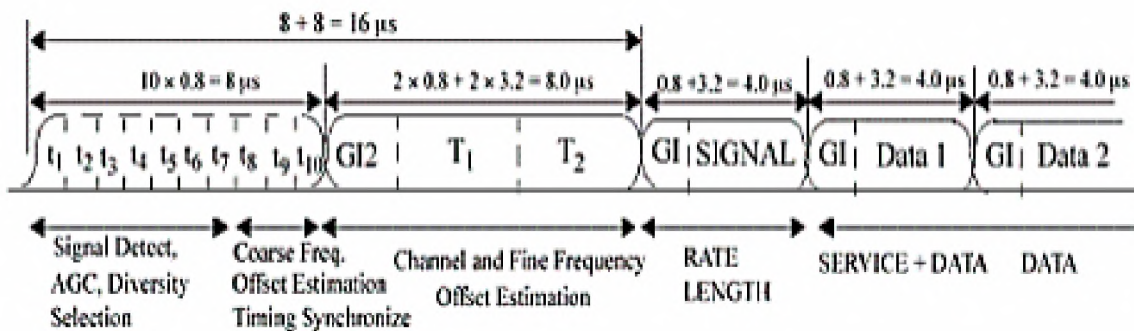


Рисунок 2.3 –

Тимчасова структура преамбули і заголовка кадру

Таким чином, кожен фрейм починається з преамбули (субфрейм "PREAMBLE"). Тривалість преамбули становить 16 мкс. Вона складається з 10 коротких тренуючих OFDM-символів тривалістю 0.8 мкс кожен і

з 2 довгих тренуючих OFDM-символів тривалістю 4.0 мкс кожен (див. рис. 2.1). Короткі навчальні символи необхідні для детектування (визначення наявності) сигналу, синхронізації і грубої оцінки зсуву частоти між приймачем і передавачем. Навчальна послідовність, що складається з двох довгих однакових навчальних символів T 1, T 2 і подвоєного захисного інтервалу G12, призначена для точного оцінювання частоти і частотної характеристики просторового каналу зв'язку. Для передачі преамбули використовується BPSK-модуляція з темпом 1/2. За стандартом 802.11a розстройка частоти між приймачем і передавачем (після точного підстроювання частоти) не повинна перевищувати 2×10^{-5} (0,002%) від несучої частоти, тобто в даному випадку (діапазон 5 ГГц) розстройка частоти між приймачем і передавачем повинна бути менше 100 кГц. Таким чином, при максимально можливій розстройке, фаза може збиватися на π за час 5 мкс. За цей час може бути переданий тільки один символ. Після преамбули передається субфрейм "SIGNAL", який являє собою один OFDM-символ тривалістю 4 мкс і показаний на Мал.10. Структура цього субфрейма показана на рис. 2.4. Заголовок складається з 24 біт. Перші 4 біта (R1 - R4) з поля "RATE" застосовуються для повідомлення про використаний темп для передачі даних (див. табл. 2.2). 5-ий біт зарезервований на майбутнє. Наступні 12 біт (поле "LENGTH") застосовуються для повідомлення про тривалість даних, які будуть передано у цьому фреймі. 18-ий біт - біт парності. Нарешті, останні 6 біт (поле "SIGNAL TAIL") - це нульові біти, необхідні для приведення регістрів декодерах в нульовий стан. Для передачі субфрейма "SIGNAL" використовується BPSK-модуляція з темпом 1/2.

RATE (4 bits)				LENGTH (12 bits)												SIGNAL TAIL (6 bits)							
R1	R2	R3	R4	R	LSB											MSB	P	0	0	0	0	0	0
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Рисунок

2.4 –

Структура заголовка кадру

Таблиця 2.2 – Значення перших чотирьох біт заголовка кадру

Темп (Мбіт/с)	Значення біт (R1-R4)
6	1101
9	1111
12	0101
18	0111
24	1001
36	1011
48	0001
54	0011

Після субфрейма "SIGNAL" починається передача субфрейма даних (див. рис. 2.2). З рис. 2.1 видно, що для передачі даних в системі використовуються 48 частотних підканалів (піднесучих). Решта 4 підканала, звані пілотними піднесучими використовуються насамперед для синхронізації і підстроювання фази в процесі передачі інформації. Пілотні поднесучі розподілені в часі і в частотному спектрі OFDM-сигналу, їх амплітуди і фази відомі в точці прийому, тому їх можна використовувати також для отримання відомостей про характеристики каналу передачі. Субфрейм даних, у свою чергу, складається з чотирьох полів (див. рис. 2.1): SERVICE, PSDU, TAIL, Pad Bits. Всі біти цього субфрейма піддаються операції шифрування (scrambling) шляхом їх перестановки. Поле SERVICE складається з 16 біт. Перших 7 біт - це нульові біти, які використовуються для синхронізації дешифровщика (дескремблера) на приймальному кінці лінії з шифровщикі (скремблером) на передавальному кінці лінії. Решта бітів (Також нульові) зарезервовані на майбутнє. Поле PSDU (інформаційне поле) містить безпосередньо передаючі дані. Його тривалість є змінною і може досягати 3 мсек. Наступне поле TAIL складається з 6 нульових біт, необхідних для приведення регістрів декодера в нульовий стан. Поле Pad Bits складається з доданих біт, число яких вибирається з умови, щоб довжина поля

PSDU була кратна числу кодованих біт в OFDM-символів (N_{CBPS}). Щоб забезпечити виконання такої вимоги довжина повідомлення повинна бути збільшена, щоб бути кратною числу біт переданих даних на OFDM символ (N_{DBPS}). Для цього використовуються спеціальні додаткові нульові біти (так звані "набивкові" біти), об'єднані в поле PAD. Число біт в поля PAD можна розрахувати за формулами

$$\begin{cases} N_{SYM} = \text{ceiling}\left(\frac{16 + 8 \cdot LENGTH + 6}{N_{DBPS}}\right) \\ N_{DATA} = N_{SYM} \cdot N_{DBPS} \\ N_{PAD} = N_{DATA} - (16 + 8 \cdot LENGTH + 6) \end{cases},$$

де функція $\text{ceiling}(x)$ повертає найближче ціле значення, яке дорівнює або перевищує x , $LENGTH$ - довжина поля PSDU.

2.4 Математичний опис сигналів фрейму

Переданий OFDM-сигнал для довільного фрейма (пакета) фізичного рівня можна представити у вигляді

$$r(t) = \text{Re}\{r(t) \exp(j2\pi f_c t)\},$$

де $\text{Re}\{.\}$ - реальна частина, f_c - несуча частота, j - уявна одиниця, $r(t)$ - вузькополосна комплексна обвідна.

Вузькополосна обгинаюча складається з окремих OFDM-символів, що входять в склад фрейма, і може бути записана як:

$$r_{\text{PACKET}}(t) = r_{\text{PREAMBLE}}(t) + r_{\text{SIGNAL}}(t - t_{\text{SIGNAL}}) + r_{\text{DATA}}(t - t_{\text{DATA}}) \quad (3.14)$$

де затримки $t_{\text{SIGNAL}} = 16$ мкс і $t_{\text{DATA}} = 20$ мкс показують, що передача субфрейма "SIGNAL" субфрейма "DATA" починається через 16 мкс і 20 мкс, відповідно, початку передачі кадру. Всі три субфрейма ("PREAMBLE", "SIGNAL" і "DATA") формуються з помістю зворотного перетворення Фур'є від набору відповідних коефіцієнтів C_k (будуть визначені нижче) і можуть бути представлені у вигляді

$$r_{\text{SUBFRAME}}(t) = w_{T\text{-SUBFRAME}}(t) \sum_{k=-N_{\text{ST}}/2}^{N_{\text{ST}}/2} C_k \exp(j2\pi k \Delta_f)(t - T_{\text{GUARD}}).$$

У цій формулі Δ_f позначає розніс сусідніх піднесуть, а N_{ST} - повне число піднесучих. Результуючий сигнал має період рівний $T_{\text{FFT}} = 1/\Delta_f$. Тимчасова затримка T_{GUARD} створює захисний інтервал, що використовується для придушення межсимвольної інтерференції, обумовленої дисперсією в просторовому каналі зв'язку. Тривалість захисного інтервалу для довгої тренуючої послідовності дорівнює 1.6 мкс ($2 \times T_{\text{GI}}$), а для даних - 0.8 мкс (T_{GI}). В (2.1) - функція "вікна", що описує форму відповідного сигналу тривалості T . Ця тривалість може бути рівною одному або декільком періодам перетворення Фур'є ($T_{\text{wSUBFRAME}} T - \text{FFT}$, що пояснюється рис.2.5.)

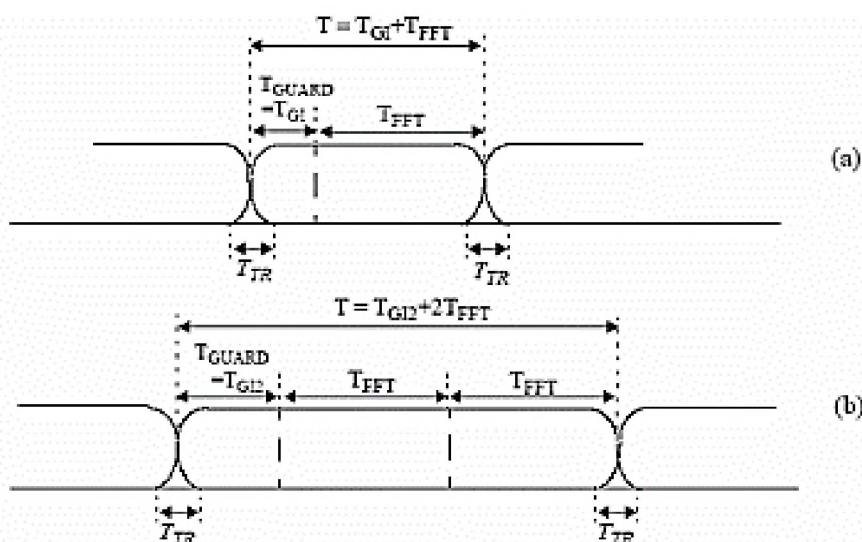


Рисунок 2.5 –
Ілюстрація OFDM-
фрейма із захисним
інтервалом і
функція "вікна" для

мірного вектора L (включаючи нульову амплітуду на нульовій частоті) з компонентами у вигляді:

$$L = (1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, 1).$$

Тоді відповідний довгий навчальний OFDM-сигнал має вигляд:

$$r_{LONG} = w_{T-LONG}(t) \sum_{k=-26}^{26} L_k \exp(j2\pi k \Delta_F (t - T_{G12}))$$

де $w_{T-LONG}(t)$ - функція обвідної імпульсу, $T_{G12} = 1.6$ мкс, а $T_{LONG} = (1.6 + 2 \times 3.2) = 8$ мкс.

В результаті маємо, що огинає сигналу преамбули дорівнює

$$r_{PREAMBLE}(t) = r_{SHORT}(t) + r_{LONG}(t - T_{SHORT})$$

де затримка $t_{SHORT} = 8$ мкс показують, що передача довгих тренуючих OFDM-символів починається через 8 мкс, після початку передачі кадру. Спосіб застосування зворотного Фур'є-перетворення наступний. Використовується 64-точкове швидке Фур'є-перетворення, а число використовуваних в стандарті піднесучих одно 52. Тому 52 коефіцієнта C_k доповнюються до 64 за допомогою 12 нульових коефіцієнтів.

2.5 Формування фрейму фізичного рівня стандарту IEEE 802.11a

Процедура формування фрейму. Шифрування / дешифрування даних:

- Сверточне кодування і перфорування (punchuring).

- Перемеженіє даних (interleaving ideinterleaving).
- Модуляція даних.
- Формування OFDM-символу.
- Використовування діапазона частот (channelization).
- Рівні потужності передавача.
- Спектр випромінюваного сигналу (спектральна маска).
- Допустимі помилки в амплітуді при модуляції.
- Необхідна ймовірність фреймових (пакетних) помилок і необхідна

чутливість приймача.

Відповідно до стандарту IEEE 802.11a процес формування фрейму представляє собою послідовність кроків, короткий опис яких наведено нижче:

- створення преамбули, що складається з 10 повторень короткої тренувальної послідовності і 2 повторень довгої тренувальної послідовності, представлена захисним інтервалом (GI);
- створення заголовка кадру з полів RATE, LENGTH і SERVICE і заповнення відповідних полів. Кодування поля SIGNAL в OFDM символ також має на увазі виконання наступних кроків: сверточне кодування, процедура перемежування (interleaving), BPSK модуляція, додавання пілотних сигналів, виконання зворотного перетворення Фур'є, додавання захисного інтервалу для передачі даних з темпом 6 Мбіт / с. Вміст поля SIGNAL нескремблирується;
- на основі даних поля RATE здійснюється обчислення числа біт даних на OFDM символ, числа кодованих біт на піднесучу, числа кодованих біт на OFDM символ;
- побудова поля DATA;
- ініціалізація шифратора (scrambler) псевдослучайной послідовністю, генерація послідовності шифру і виконання шифровки бітів поляDATA;
- заміна 6 зашифрованих бітів поля TAIL шістьма нульовими бітами.
- кодування поля DATA сверточним кодером з темпом 1/2.

- Виконання процедури виколювання (пунктуації) для досягнення бажаного темпу кодування (по даними поля RATE заголовка фрейму);
- закодована послідовність бітів розбивається на групи за N CBPS біт. У середині кожної групи виконується процедура перестановки (interleaving) у відповідності з обраним темпом кодування;
- отримана бітова послідовність розбивається на групи по N BPSC біт. Кожна група перетворюється в послідовність комплексних чисел згідно з таблицями модуляції;
- послідовність комплексних чисел розбивається на групи по 48 чисел (По числу піднесучих, використовуваних для передачі даних). Кожна група асоціюється з одним OFDM символом. У кожній групі комплексні числа нумеруються від 0 до 47 і передаються на піднесучі з наступними номерами: з - 26 до - 22, з - 20 до - 8, з-6 До - 1, з 1 до 6, з 8 до 20, з 22 до 26. Піднесучими з номерами - 27, - 7, 7, 21 пропускаються для додавання пілотних сигналів. Піднесуча з номером 0 "асоціюється з центральною частотою і заповнюється нульовим значенням;
- здійснюється додавання пілотних сигналів на піднесучих з номерами 21, - 7, 7 і 21. Загальне число використовуваних піднесучих таким чином складе 52;
- для кожного OFDM символу (група з 52 піднесучих з номерами від - 26 до +26, Включаючи центральну частоту) здійснюється перетворення в тимчасову область і формування захисного інтервалу;
- формування послідовності з OFDM символів, отриманих на основі поля DATA;
- переклад послідовності в радіочастотний діапазон відповідно до центральною частотою і передача даних приймача.

2.6 Імітаційна модель стандарту IEEE 802.11a

Імітаційна модель (рис. 2.6) містить компоненти, що моделюють основні функції стандарту IEEE 802.11a WLAN. Верхній ряд блоків містить компоненти передавача, а нижня рядок містить компоненти приймача.

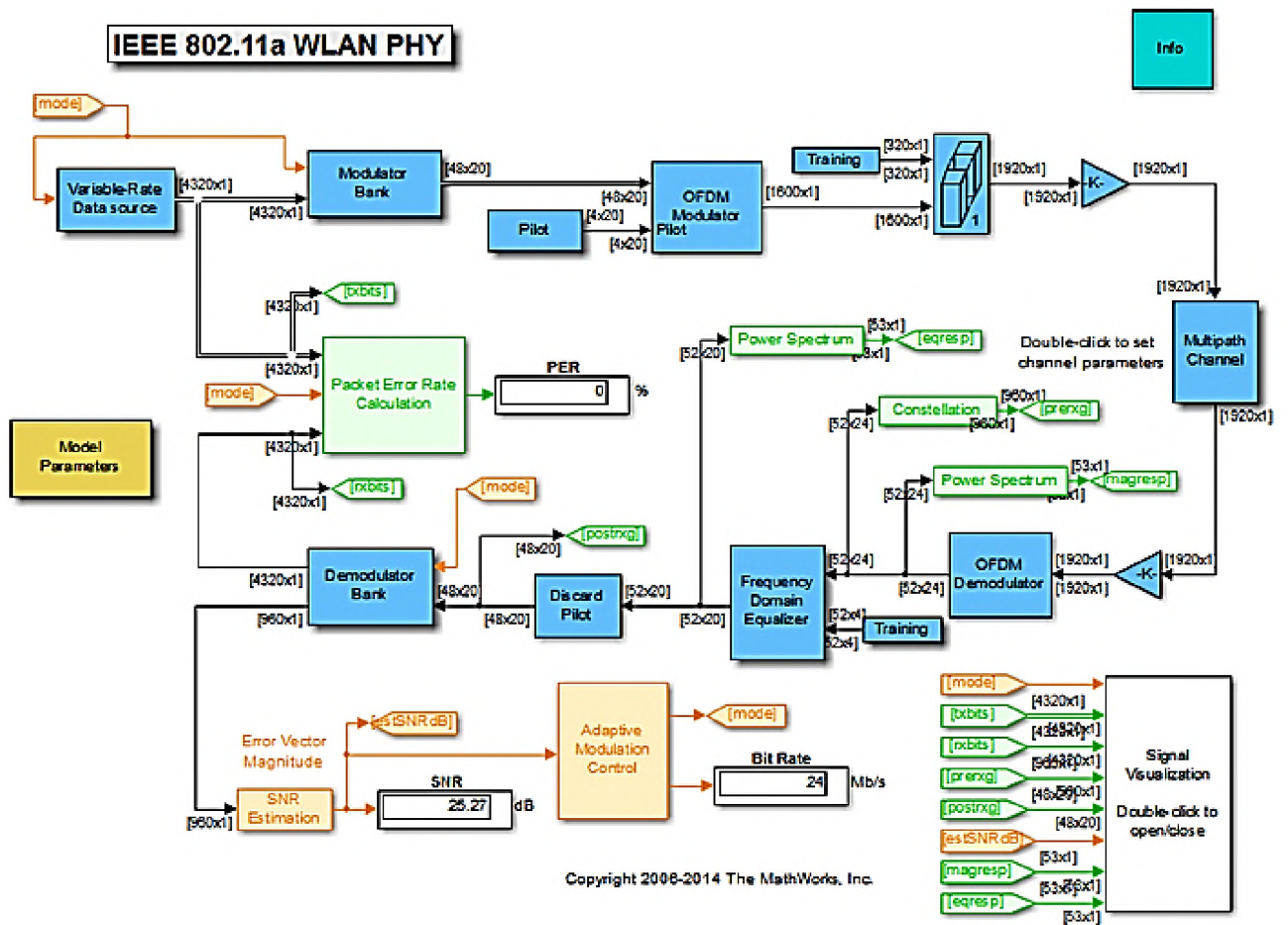


Рисунок 2.6 – Імітаційна модель стандарту IEEE 802.11a WLAN.

Система зв'язку в даному прикладі виконує наступні задачі:

1 Генерація випадкових даних на швидкості, яка змінюється в процесі моделювання. Різній швидкості передачі даних здійснюється періодично дозволяючи блок джерела протягом часу, який залежить від бажаної швидкості передачі даних.

2 Кодування, перемеження і модуляцію з використанням одного з декількох схем, визначених у стандарті.

Щоб дослідити ці операції, виберіть блок модулятор банку та оберіть подивіться під маскою з меню «Правка вікна». Потім виберіть будь-який з модулятора блоків у підсистемі і виберіть подивитися під маскою з меню «Правка вікна».

Зокрема, кожен модулятор блок в банку виконує такі завдання:

- Згортального кодування і проколювання за допомогою коду темпи 1/2, 2/3 і 3/4
- Дані чергування BPSK, QPSK, 16-QAM і 64-QAM модуляція
- OFDM (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів) передачі з використанням 52 піднесучих даних, 4 пілотів, 64-точкові БПФ і 16-зразок циклічний префікс.
- PLCP (протоколу конвергенції фізичного рівня) преамбула моделюється як чотири довгих послідовностей навчання.
- Дисперсійний багатопроменевий завмирання каналу. Ви можете налаштувати властивості каналу за допомогою діалогового вікна блоку багатопроменевий каналу.
 - Приймач вирівнювання.
 - Спрощення та допущення. Для простоти в цьому прикладі
 - Фіксує кількість символів даних у кожному пакеті і опускає майданчик біти
- Працює постійно від кадру до кадру і, таким чином опускає хвостові біти, які були б використані для скидання стану декодера

- Виправляє рівень потужності передачі, замість зміни середньої ЗСШ каналу
- Передбачається придбання ідеалізована часу / частоти

Крім того, в прикладі не моделюються аспекти стандарту IEEE 802.11a:

- MAC / PHY інтерфейс і PLCP заголовки (TXVECTOR / RXVECTOR)
- Дані скрембліваніє, який є необхідним у цьому прикладі, оскільки дані випадковий
- Короткі послідовності навчання (для автоматичного регулювання посилення, різноманітність, вибір часу / придбання частота)
- Кольорова схема. Модель використовує кольори на верхньому рівні ієрархії, щоб допомогти вам відрізнити блоки, які грають різні ролі.

2.7 Дослідження завадостійкості радіотракту стандарту IEEE 802.11a

Основним параметром для оцінки завадостійкості радіотракту є частота бітових помилок (BER) при відповідних значеннях середнього відношення сигнал шум (SNR).

Відповідні вхідні значення параметрів моделювання що впливають на завадостійкість:

- 1 Ширина смуги пропускання каналу: 10МГц.
- 2 Кількість OFDM-символів на 1 субфрейм: 2
- 3 Тип модуляції: QPSK.
- 4 Відношення сигнал/шум: від 0,1 до 3 дБ.
- 5 Час моделювання: $T = 1$

Для початку роботи над оцінкою завадостійкості радіотракту потрібне відповідне програмне забезпечення, одним з перспективніших є середовище моделювання MATLAB з пакетом Simulink.

Дане ПЗ дозволяє реалізувати моделі як програмно (написанням програми роботи моделі за допомогою відповідної мови програмування) так і імітаційно (використовуючи пакет Simulink з готовими функціональними блоками).

Першим етапом є запуск даного ПЗ та знаходження в базі моделі що буде використовуватись.

Наступним кроком є вибір параметрів моделювання в блоці параметрів моделі (Model Parameters). Обираємо попередньо визначені вхідні данні. Основним змінним параметром є відношення сигнал\шум з кроком в 0,1 дБ (від 0,1 до 3 дБ). Кількість експериментів прямо пропорційна кількості врахованих моделей каналів завод. Вихідні дані представленні в таблиці 2.3 і графіку 2.7 приведених нижче.

Таблиця 2.3 – Залежність частоти бітових помилок (PER) від відношення сигнал\шум (SNR)

SNR	PER
0	84
0,1	74
0,2	68
0,3	62
0,4	60
0,5	54
0,6	50
0,7	42
0,8	38
0,9	34
1	28
2	4
3	0

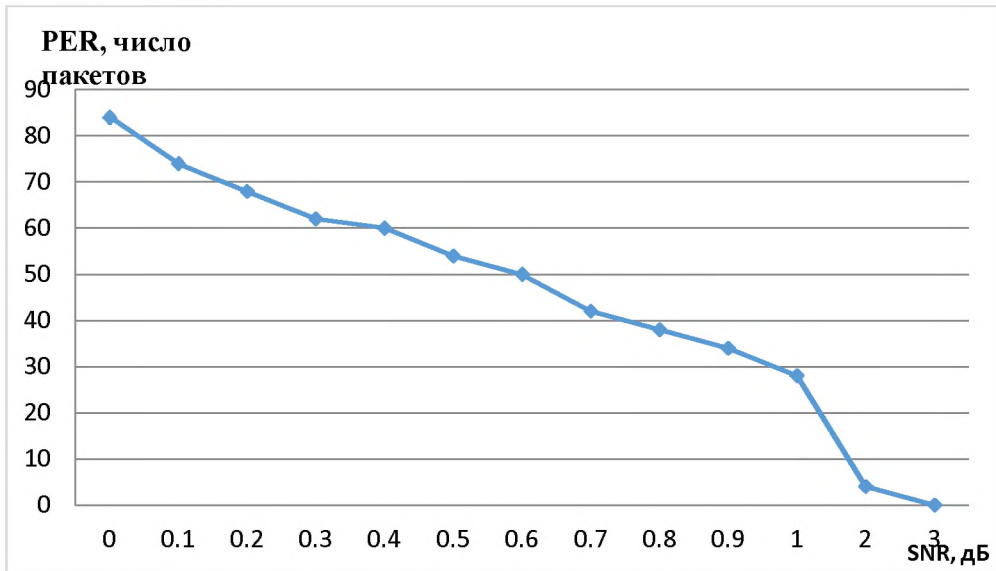


Рисунок 2.7 – Залежність пакетної помилки PER від відношення сигнал\шум
 2.8 Імітаційна модель стандарту IEEE 802.11b

Імітаційна модель стандарту IEEE 802.11b представлена на рис. 2.8.

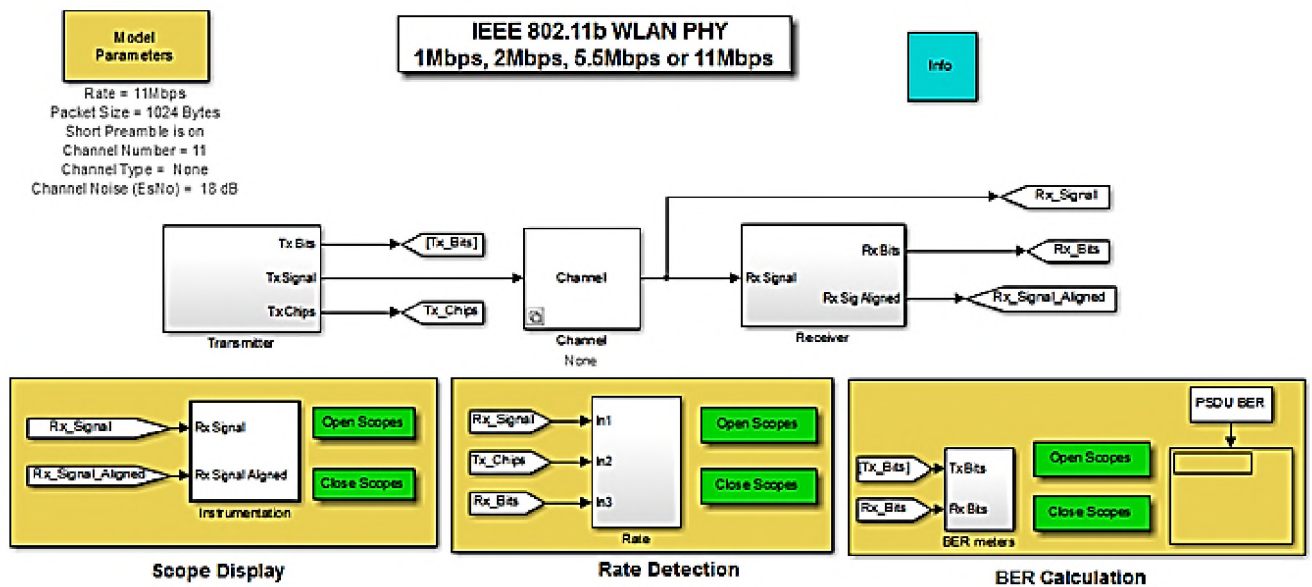


Рисунок 2.8 – Імітаційна модель радіоінтерфейсу стандарту IEEE 802.11b

За допомогою подвійного клацання на елемент Model Parameters можна встановлювати бажані параметри мережі, що моделюється:

- Швидкість передачі даних (Rate),
- Розмір пакета (Packet Size),
- Число каналів (Channel Number),
- Тип каналу (Channel Type),
- Рівень шумів у каналі (Channel EsNo).

Дослідження впливу помилок BER.

Bit Error Rate (BER) - коефіцієнт помилок, відношення числа невірно прийнятих бітів (0 замість 1 і навпаки) до повного числа переданих бітів під час передачі каналом зв'язку.

Щоб отримати залежність BER від відношення сигнал/шум, необхідно змінювати рівень шумів у каналі (0-14) і знімати показання в блоці BER Calculation у верхньому дисплеї.

Протестувавши систему таким чином, було отримано залежності, представлені на рис. 2.9.

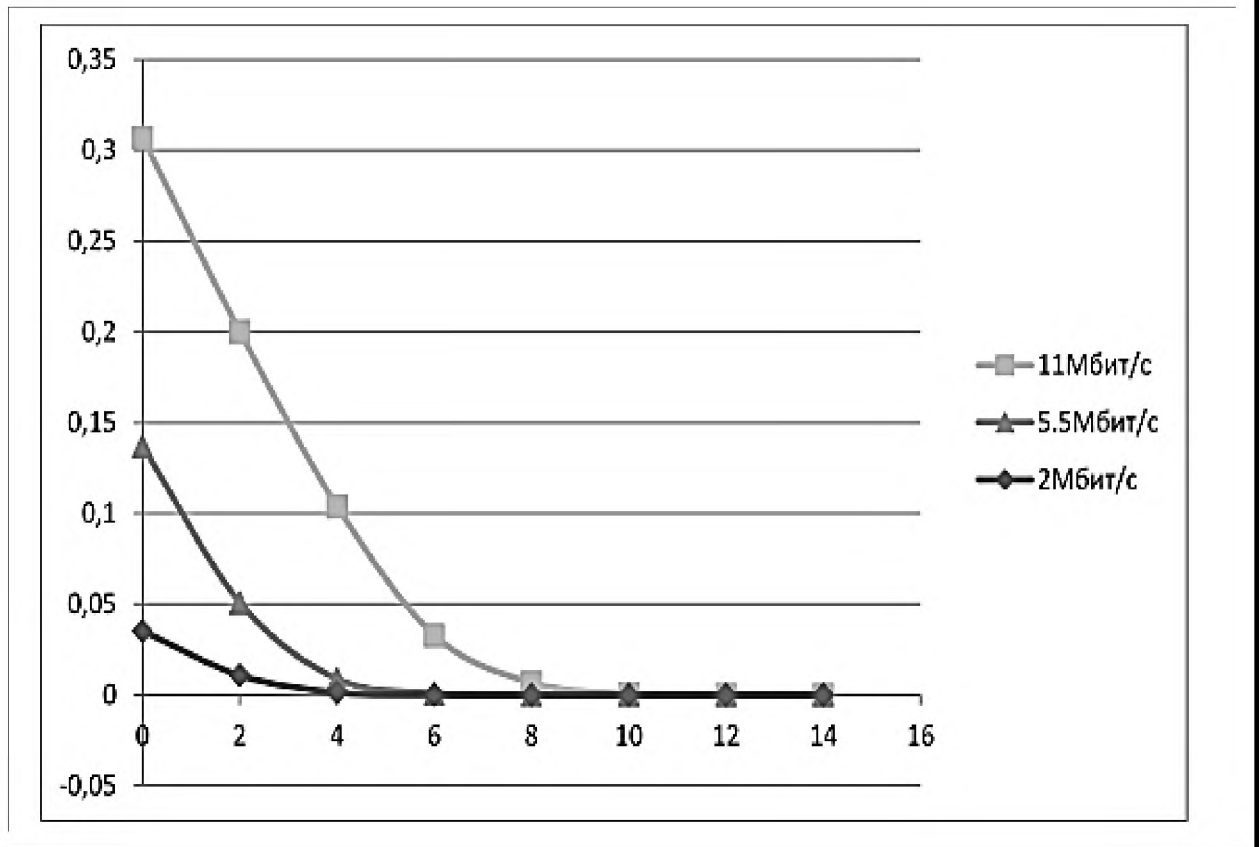


Рисунок 2.9 – Залежність помилки BER від відношення сигнал/шум для різних швидкостей IEEE 802.11b

2.9 Висновки

За отриманими результатами можна зробити такі висновки:

- 1 Великим швидкостям відповідає ймовірність появи помилки
- 2 Для зменшення помилки необхідно збільшувати відношення сигнал/шум
- 3 Великі швидкості потребують більш високого значення відношення сигналу шуму для усунення можливих помилок.

4 В результаті роботи вивчено стандарти IEEE 802.11.

5 Розглянуто та протестовано моделі даних стандартів, реалізовані в середовищі Simulink Matlab. Отримано графіки залежностей ймовірності помилки від відношення сигнал/шум для різних швидкостей.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даній дипломній роботі розроблена імітаційна модель мережі WLAN стандарту IEEE 802.11. У економічному розділі розраховуються одноразові капітальні витрати на розробку моделі.

3.1.1 Визначення трудомісткості розробки моделі

Трудомісткість створення моделі визначається тривалістю кожної робочої операції, починаючи зі складання технічного завдання й закінчуючи оформленням документації (за умови роботи одного проектувальника):

$$t = t_{\text{ТЗ}} + t_{\text{в}} + t_{\text{а}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{опр}} + t_{\text{д}}[\text{ГОД}]. \quad (3.1)$$

де $t_{\text{ТЗ}}$ – тривалість складання технічного завдання на впровадження методу;

$t_{\text{в}}$ – тривалість вивчення технічного завдання (ТЗ) та літературних джерел за темою;

$t_{\text{а}}$ – тривалість розробки моделі;

$t_{\text{пр}}$ – тривалість модулювання віртуального аналога каналу зв'язку;

$t_{\text{опр}}$ – тривалість опрацювання здобутих характеристик;

$t_{\text{д}}$ – тривалість підготовки технічної документації.

Вихідні дані для визначення трудомісткості створення моделі приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Тривалість розробки моделі

$t_{\text{ТЗ}}$, ГОД	$t_{\text{в}}$, ГОД	$t_{\text{а}}$, ГОД	$t_{\text{пр}}$, ГОД	$t_{\text{опр}}$, ГОД	$t_{\text{д}}$, ГОД
55	58	74	22	22	30

Розрахуємо трудомісткість розробки моделі за формулою (3.1):

$$t = 55+58+74+22+22+30=261[\text{ГОД}].$$

3.1.2 Розрахунок витрат на розробку моделі

Витрати на розробку моделі $K_{пз}$ складаються з витрат на заробітну платню розробника $Z_{зп}$ і вартості витрат машинного часу, що необхідний для опрацювання моделі мережі на ПК $Z_{мч}$:

$$K_{пз} = Z_{зп} + Z_{мч}[\text{грн}] \quad (3.2)$$

Заробітна плата виконавця враховує основну і додаткову заробітну плату, а також відрахування на соціальні потреби (пенсійне страхування, страхування на випадок безробіття, соціальне страхування тощо) і визначається за формулою:

$$Z_{зп} = t \cdot Z_{пр}[\text{грн}]. \quad (3.3)$$

де t – трудомісткість створення моделі;

$Z_{пр}$ дорівнює 85 грн/год.

Розрахуємо заробітну платню проектувальника за формулою (3.3):

$$Z_{зп} = 261 \cdot 85 = 22185[\text{грн}].$$

Вартість машинного часу на ПК визначається за формулою:

$$[\text{грн}]. \quad (3.4)$$

де $C_{мч}$ – вартість 1 години машинного часу ПК, грн/година.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначається за формулою:

$$C_{мч} = P_e \cdot t \cdot C_e + \frac{\Phi_{перв} \cdot N_a}{F_p} + \frac{K_{лпз} \cdot N_{апз}}{F_p} [\text{грн/год}], \quad (3.5)$$

де P_e – встановлена потужність ПК;

t – трудомісткість створення моделі;

C_e – енерговитрати;

$\Phi_{перв}$ – первісна вартість ПК на початок року;

N_a – річна норма амортизації на ПК;

$K_{лпз}$ – вартість ліцензійного програмного забезпечення;

$N_{апз}$ – річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення;

F_p – річний фонд робочого часу (за 40-годинного робочого тижня).

Енерговитрати розраховуються за формулою:

$$C_e = P_e C_{квт} [\text{грн/год}], \quad (3.6)$$

де $C_{квт}$ – тариф на електричну енергію.

Розрахунок витрат на розробку моделі зводимо в таблицю 3.2

Таблиця 3.2 – Розрахунок витрат на розробку моделі

P_e , кВт	$C_{квт}$ кВт·го д	$\Phi_{перв}$, грн	N_a , частка одиниці	$K_{лпз}$, грн	$N_{апз}$, частка одиниці	F_p , год
1,3	1,60	19000	0,4	8400	0,4	1920

Тоді за формулою (3.6) отримаємо розмір енерговитрат:

$$C_e = 1,3 \cdot 1,60 = 2,08 [\text{грн/год}].$$

Річна норма амортизації, якщо використовується метод прискорення зменшеної вартості, визначається за формулою:

$$Ha = \cdot 100\% \quad (3.7)$$

де T – строк корисного використання ПК дорівнює 5 років.

Розрахуємо річну норму амортизації за формулою (3.7):

$$Ha = \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \text{ [частки одиниці]}.$$

Строк корисного використання ліцензійного програмування дорівнює 5 років.

Річна норма амортизації на ліцензійне програмне забезпечення визначається за формулою (3.7):

$$Ha_{пз} = \cdot 100\% = 40\% = 0,40 \text{ [частки одиниці]}.$$

Ліцензійне програмне забезпечення, яке використовується в даному випадку Microsoft Windows 7 Professional. Його вартість 8400 грн.

Вартість 1 години машинного часу ПК визначаються за формулою (3.5):

$$C_{мч} = 1,3 \cdot 261 \cdot 1,6 + \frac{19000 \cdot 0,4}{1920} + \frac{8400 \cdot 0,4}{1920} = 548,59 \text{ [грн/год]}$$

Розрахуємо вартість машинного часу за формулою (3.4):

$$Z_{мч} = (74 + 22 + 22 + 30) \cdot 548,59 = 81191,36 \text{ [грн]}.$$

Отже, підставивши отримані результати у формулу (3.2), отримаємо величину витрат на розробку моделі:

$$K_{пз} = 22185 + 81191,36 = 103376,32 \text{ [грн]}.$$

3.1.3 Розрахунок капітальних витрат

Загальні капітальні витрати на розробку визначаються за формулою:

$$KЗ = K_{нз} + K_{навч} + K_n \text{ [грн]}, \quad (3.8)$$

де $K_{навч}$ - витрати на навчання технічних фахівців і обслуговуючого персоналу;

K_n - Витрати на встановлення обладнання та налагодження системи.

Дані о витратах на розробку моделі зводимо в таблицю 3.3

Таблиця 3.3 – Витрати на розробку моделі

$K_{нз}$, грн	$K_{навч}$, грн	K_n , грн
103376,32	5600	1300

Отже, капітальні витрати становлять:

$$KЗ = 103376,32 + 5600 + 1300 = 110276,32 \text{ [грн]}.$$

3.2 Висновки

В економічному розділі було розраховано:

1 Трудомісткість розробки імітаційної моделі – 261 год;

2 Заробітня платня проєктувальника – 22185 ,00 грн;

3 Витрати на розробку моделі – 103376,32 грн;

4 Капітальні витрати на розробку імітаційної моделі мережі WLAN стандарту IEEE 802.11– 110276,32грн.

ВИСНОВКИ

- 1 Здійснено аналіз методів побудови мереж WLAN стандарту IEEE 802.11.
- 2 Проведено аналіз якості передачі у мережах WLAN.
- 3 Розроблено імітаційну модель мережі стандарту IEEE 802.11a.
- 4 Розроблено імітаційну модель мережі стандарту IEEE 802.11b.
- 5 Розглянуто та протестовано моделі даних стандартів. Отримано графіки залежностей помилки від відношення сигнал/шум для різних швидкостей передачі.
- 6 Розраховано трудомісткість розробки імітаційної моделі, заробітна платня проєктувальника, витрати на розробку моделі і на основі цих розрахунків зроблено висновки про розмір капітальних витрат на створення імітаційної моделі системи мобільного зв'язку за стандартом WLAN IEEE 802.11, що становитиме 110276,32 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 FCC. Technology Transitions, Order, Report & Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, Report Order, Order and Further Notice of Proposed Rulemaking, Proposal for Ongoing Data Initiative, GN Docket No. 13-5, FCC 14-5 (rel. Jan. 31, 2014)

2 . Шнепс-Шнеппе, М. А. Про створення єдиного інформаційного простору суспільства / М. А. Шнепс-Шнеппе, Д. Є. Намот, В. А. Сухомлін // International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – vol. 3, no. 2. – С. 1-10

3. Stasiak, M. Modeling and Dimensioning of mobile networks from GSM to LTE / MaciejStasiak, MariuszGłabowski, Arkadiusz Wisniewski, Piotr Zwierzykowski. - John Wiley & Sons Ltd. – 2011. – P. 136

4 .AN INTRODUCTION TO LTE. LTE, LTE-ADVANCED, SAE AND 4G MOBILE COMMUNICATIONS. // Christopher Cox. - UK.: John Wiley & Sons Ltd, 2012. – P. 486

5 . Akyidiz, I.F. Wireless mesh networks: a survey / I.F. Akyidiz, X. Wang, W. Wang // Computer Networks. - 2005. – Jan, 1. – P. 445-487

6. Антонова, В.М. Оцінка ресурсу передачі при обслуговуванні різнорідного трафіку в мережах LTE / В.М. Антонова, Д.О. Волков, М.С. Степанов // Природні та технічні науки.– 2016. – № 11. – С. 183-189

7. Вишне夫斯基, В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М. Вишне夫斯基, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфера, 2009. - 472 с

8 Вишне夫斯基, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. / В.М. Вишне夫斯基, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфера, 2005. – 592 с

9. Couet, J. Satellites and Multimedia / J. Couet, D. Maugars, D. Rouffet // Alcatel Telecommunication Review. - Fourth Quarter 1999. – P. 250-257

10. Скрынников, В.Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика. / В.Г. Скрынников // М.: Культура и спорт -2000, 2012. – 864 с.
11. IEEE 802.16 Standard Group Web Site. Available from:<http://www.ieee802.org/16/>
12. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. - 3-е изд. – СПб.: Питер, 2009. – 960 с
13. Закиров З.Г. Надеев А.Ф., Файзулин Р.Р. Сотовая связь стандарта GSM / З.Г. Закиров, А.Ф. Надеев, Р.Р. Файзулин. – М.: Эко-Трендз, 2004. -264с
14. Громаков, Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997. – 240 с
15. Ширина, Е. Новая линия GSM – модулей // Беспроводные технологии. – 2009. - № 9. - С. 18-20
16. Дианов И. Повышение надежности передачи технологической информации в сотовых сетях. Решение на базе специализированных терминалов GSM/GPRS / И. Дианов, В. Серганов, А. Упоров, А. Пуксов // Беспроводные технологии. - 2007. - №4. – С. 30-33
17. IEEE 802.11 Standard Group Web Site. Available from:
<http://www.ieee802.org/11/>
18. Шахнович, И. Персональные беспроводные сети стандартов IEEE 802.15.3 и 802.15.4 // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2004. - №6. - С. 32-36
19. Корнишев Ю.М. Теорія телетрафіку: Підручник для вузів/Ю.М. Корнишев, А.П. Пшеничніков, А.Д. Харкевич. - М.: Радіо і зв'язок, 1996. - 272 с
20. Intel Mesh Networks Demonstrations. – URL:
http://www.intel.com/idf/us/fall2003/presentations/F03USWNTS116_OS

- 21 . Юдинцев, В. Система видеонаблюдения с беспроводным WiMAX – соединением // Системы безопасности. – 2008. - №1. – С. 201
- 22 .Кшиштоф, В. Системы подвижной радиосвязи / пер. с польского И.Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с
23. Вишневский, В. Беспроводные сенсорные сети в системах промышленной автоматике / В. Вишневский, Г. Гайкович // Электроника: Наука, технология и бизнес. – 2008. - №1. - С. 106-110
- 24 . Степанов, С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 886 с
25. Варакін, Л.Є. Теорія систем сигналів. - М.: Рад. Радіо, 1978. – 304 с
26. ITU-T E.800 Quality of services; concepts, models, objectives, dependability planning . Terms and definitions related to the quality of telecommunication services
27. Невдяев, Л.М. Мобильная связь 3-го поколения // Серия изданий «Связь и бизнес». – М.: ООО «Мобильные коммуникации», 2000. – 208 с
28. Григорьева, Н. Высоконадежные мобильные сети 3G для систем видеонаблюдения // Беспроводные технологии. – 2006. - № 6. - С. 51-53
29. Антонова, В.М. Преимущества использования пикосот в сетях LTE / В.М. Антонова, Т.В. Овинникова // Конференция «Инфоком-2016» Северо-Кавказский филиал Московского Технического Университета Связи и Информатики - Ростов-на-Дону. – 2016. – С.27-29
30. Сайт ТОВ «Ксітал» [Електронний ресурс]– URL: <http://www.ksytal.ru/public.htm>

31. Перекрестов, И.С. Организация мобильного доступа к мультимедийным данным // И.С. Перекрестов, О.А. Решетняк, Э.Г. Тихий // Цифровые технологии. - 2008. – №4. – С. 86-92

32. Шнепс-Шнеппе, М.А. Система сигналізації SS7 та її вразливості // International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – vol. 3, no. 5. - С.1-13. - ISSN: 2307-8162

33. Архіпкін, А. Порівняльний аналіз перспективних систем абонентського радіодоступу / О. Архіпкін, О. Кириленко // Бездротові технології. – 2007. – №3. - С. 35-38

34. Система Гонець [Електронний ресурс]

– URL: <http://www.gonets.ru/news.php>

35. Цитович, І.І. Стійкі моделі трафіку мультисервісних мереж. - (Праці Російського науково-технічного товариства радіотехніки, електроніки та зв'язку імені О.С. Попова. Серія: наукова сесія, присвячена Дню радіо. Випуск LX-2). – М, 2005. – Т.2. – С. 271-273

36. Назаров, А.Н. Модели трафика служб с битовой скоростью передачи информации в широкополосных цифровых сетях интегрального обслуживания // Автоматика и телемеханика. - 1998. - № 8. – С.14-26

37. Антонова, В.М. Оценка канального ресурса для разноскоростных соединений на фрагменте сети LTE // Естественные и технические науки. – 2014. – № 10. – С. 277-279

38. Antonova, V.M. Analytical Modeling and simulation of admission control scheme for non-real time services in LTE networks / V.M. Antonova, I.A. Gudkova, E.V. Markova, P.O. Abaev // Proceedings - 29th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS. - 2015. – P. 689-695

39. Лазарев, В.Г. Динамическое управление потоками информации в сетях связи / В.Г. Лазарев, Ю.В. Лазарев. - М.: Радио и связь, 1983. - 235 с

40 . Пшеничников, А.П. Теорія телетрафіку - М.: Гаряча лінія - Телеком, 2017, 212 стор.

41. ITU-T Q.764 Signalling System No. 7 - ISDN User Part Signalling Procedures 1999

42. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт (проектів) бакалаврів та магістрів спеціальностей 125 Кібербезпека, 172 Телекомунікації та радіотехніка / Упоряд.: О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, О.М. Алексєєв, О.В. Кручінін. – Дніпро: НГУ, 2018. – 50 с.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість сторінок	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	2	
2	A4	Список умовних скорочень	3	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі.	33	
6	A4	Спеціальна частина	25	
7	A4	Економічний розділ	6	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	2	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

1 Електронна версія пояснювальної записки (Пояснювальна Записка Журбицький.doc та Пояснювальна Записка Журбицький.pdf)

2 Електронна версія демонстраційного матеріалу (Презентація Журбицький.pdf)

ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу

ВІДГУК

Керівник розділу

Романюк Н.М.

(підпис)

ДОДАТОК Г. Відгук керівника дипломної роботи

ВІДГУК
на бакалаврську дипломну роботу

Студента _____ гр.

(прізвище, ім'я)

на тему: _____
_____Актуальність теми _____
_____Повнота розкриття
теми _____
_____Теоретичний рівень _____
_____Практична значущість _____
_____Самостійність виконання роботи _____
_____Якість оформлення, загальна та спеціальна
грамотність _____
_____Переваги та недоліки роботи _____

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до захисту в ДЕК

Науковий керівник

к.ф.-м.н., професор

(посада)

(підпис)

Гусєв О.Ю.

(ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.