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

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента *Зоніна Віталія Михайловича*

академічної групи *172-19ск-1*

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*

спеціалізації[1]

за освітньо-професійною програмою *Телекомунікації та радіотехніка*

на тему *Вдосконалення алгоритму управління каналами зв'язку в стільниковій системі стандарту 4G*

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
розділів:				
спеціальний	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

«_____»_____20___року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту *Зоніну Віталію Михайловичу* **академічної групи** *172ск-19-1*
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*

за освітньо-професійною програмою *Телекомунікації та радіотехніка*

на тему *Вдосконалення алгоритму управління каналами зв'язку в стільниковій системі стандарту 4G*

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № ____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	Аналіз методів та алгоритмів управління канали зв'язку в стільниковій системі довготермінової еволюції. Постановка задачі досліджень	25.02.2022 – 31.03.2022
Розділ 2	Визначення аналітичних залежностей розміру діапазону та пропускної здатності каналів зв'язку в стільниковій системі довготермінової еволюції	01.04.2022 – 12.05.2022
Розділ 3	Розробка синтезу алгоритму управління каналами зв'язку із зменшенням витрат на сигналізацію та підвищенням пропускної здатності каналів зв'язку. Оцінка ефективності запропонованої методики	13.05.2022 – 09.06.2022

Завдання видано _____ Корнієнко В.І.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: _____

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____ Зонін В.М.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 97 с., 35 рис., 2 табл., 5 додатків, 32 джерела.

Об’єкт дослідження: канали зв’язку в стільниковій системі довготермінової еволюції стандарту 4G (LTE).

Мета кваліфікаційної роботи: дослідити існуючі методи зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв’язку та запропонувати рішення щодо покращення цих показників.

У роботі наведені: аналіз архітектури системи стандарту 4G (LTE); технічне завдання на розробку алгоритму управління.

У спеціальній частині надається: опис низхідних і висхідних фізичних каналів зв’язку, пілотних сигналів та каналу випадкового доступу; принцип роботи системи; блок-схеми базової і мобільної станцій; описи модулів, з яких вони складаються; синтезований алгоритм управління каналами зв’язку.

В економічному розділі виконані розрахунки трудомісткості розробки, витрат на створення та економічної ефективності програмного продукту.

Наукова новизна результатів полягає у синтезі алгоритму управління каналами зв’язку, що, на відміну від відомого, визначає різні діапазони значень величини підстроювання моментів часу передачі для стану системи при встановленні та під час зв’язку.

Практична цінність результатів полягає у розробці синтезу алгоритму управління каналами зв’язку, що забезпечує зменшення витрат на сигналізацію й тим самим збільшує пропускну здатність каналів.

БАЗОВА СТАНЦІЯ, МОБІЛЬНА СТАНЦІЯ, КАНАЛ ЗВ’ЯЗКУ, АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ, МОМЕНТ ЧАСУ ПЕРЕДАЧІ, СИГНАЛІЗАЦІЯ.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 97 с., 35 рис., 2 табл., 5 приложений, 32 источника.

Объект исследования: каналы связи в сотовой системе долговременной эволюции стандарта 4G (LTE).

Цель квалификационной работы: исследовать существующие методы уменьшения затрат на сигнализацию и повышения пропускной способности каналов связи и предложить решения по улучшению этих показателей.

В работе приведены: анализ архитектуры системы стандарта 4G (LTE); техническое задание на разработку алгоритма управления.

В специальной части предоставляются: описание нисходящих и восходящих физических каналов связи, пилотных сигналов и канала случайного доступа; принцип работы системы; блок-схемы базовой и мобильной станций; описание модулей, из которых они состоят; синтезированный алгоритм управления каналами связи.

В экономическом разделе выполнены расчеты трудоемкости разработки, затрат на создание и экономической эффективности программного продукта.

Научная новизна исследования заключается в синтезе алгоритма управления каналами связи, который, в отличие от известного, определяет различные диапазоны значений величины подстройки моментов времени передачи для состояния системы при установке и во время связи.

Практическая ценность исследования заключается в разработке синтеза алгоритма управления каналами связи, обеспечивающего уменьшение затрат на сигнализацию и тем самым увеличивающего пропускную способность каналов.

БАЗОВАЯ СТАНЦИЯ, МОБИЛЬНАЯ СТАНЦИЯ, КАНАЛ СВЯЗИ, АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ, МОМЕНТ ВРЕМЕНИ ПЕРЕДАЧИ, СИГНАЛИЗАЦИЯ.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 97 p., 35 Fig., 2 tables, 5 applications, 32 sources.

Object of study: the communication channels in a long-term evolution cellular system.

Purpose of the diploma work: to investigate the existing methods to reduce costs of signaling and increase the bandwidth of communication channels and to propose solutions for improving these indicators.

In work: an analysis of the architecture of 4G (LTE); terms of reference for the development of control algorithms.

In special part provided: description descending and ascending physical communication channels, pilot signals and random access channel; principle operation of the system; flowcharts of the base and mobile stations; description of the modules from which they are composed; synthesized algorithm of communication channels.

In the economic section have been performed the calculations of the complexity of development, the costs of creating and cost-effectiveness of a software product.

Scientific novelty of the research is a synthesize a control algorithm communication channels, which in contrast to the known, defines the different ranges of magnitude adjustment of the transfer times for the state of the system during installation and during communication.

The practical value of the research is to develop a synthesis of the communication channels control algorithm, which would reduce the costs of signaling and thereby would increasing the channel capacity.

BASE STATION, MOBILE STATION, COMMUNICATION CHANNELS, CONTROL ALGORITHM, TIME POINT TRANSMISSION, ALARM SYSTEM

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CQI – Channel Quality Indicator, індикатор якості каналу;

FDD – Frequency Division Duplex, дуплексний канал з частотним рознесенням;

HARQ – Hybrid Automatic Repeat reQuest, гібридний автоматичний запит на повторення;

MAC – Media Access Control, управління доступом до середовища передачі;

OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiplexing, мультиплексування з ортогональним частотним рознесенням;

PDCCH – Physical Downlink Control Channel, фізичний низхідний управляючий канал;

PDSCH – Physical Downlink Shared Channel, низхідний загальний фізичний канал;

PUCCH – Physical Uplink Control Channel, фізичний висхідний управляючий канал;

PUSCH – Physical Uplink Shared Channel, висхідний загальний фізичний канал;

RACH – Random Access Channel, канал довільного доступу;

RLC – Radio Link Control, управління радіоресурсами;

SC-FDMA – Single-Carrier Frequency Division Multiple Access, мультиплексування з частотним рознесенням з передачею на одній несучій;

SRS – Sounding Reference Signals, зондуючий пілотний сигнал;

БС – базова станція;

БУМ – блок управління мобільністю;

ДС – діаграма спрямованості;

ЕМВ – електромагнітне випромінювання;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ЗШПФ – зворотне швидке перетворення Фур'є;

ПЗ – програмне забезпечення;

ТК – термінал користувача;

ЦП – циклічний префікс;

ЧВ – часове випередження;

ЧЧР – частотно-часові ресурси;

ШПФ – швидке перетворення Фур'є.

ЗМІСТ

С.

ВСТУП 10

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ 11

1.1 Стан питання 11

1.1.1 Архітектура мережі 4G (LTE)..... 11

1.1.2 Управління мобільністю терміналів користувачів 16

1.1.3 Фізичний рівень мереж 4G (LTE)..... 19

1.1.3.1 Технологія OFDM 23

1.1.3.2 Технологія SC-FDMA 31

1.2 Висновок. Постановка задачі 34

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 36

2.1 Існуючі рішення 36

2.1.1 Основні фізичні низхідні канали 36

2.1.2 Основні фізичні висхідні канали 38

2.1.3 Пілотні сигнали висхідних каналів 40

2.1.4 Фізичний канал випадкового доступу 42

2.2 Принцип роботи системи 44

2.3 Недоліки системи 45

2.4 Запропоноване рішення 46

2.5 Оцінка ефективності запропонованого рішення 59

2.6 Вплив синтезованого алгоритму на систему зв'язку 60

2.7 Висновок 65

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ 66

3.1 Визначення трудомісткості розробки програмного продукту 66

3.2 Розрахунок витрат на створення програмного продукту 70

3.3 Розрахунок економічної ефективності програмного продукту ……74

3.4 Висновок ……75

ВИСНОВКИ ……76

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ……77

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи ……80

ДОДАТОК Б. Лістінг М-файлу моделі ……81

ДОДАТОК В. Перелік документів на оптичному носії ……95

ДОДАТОК Г. Відгуки керівників розділів ……96

ДОДАТОК Д. Відгук керівника кваліфікаційної роботи ……97

ВСТУП

За порівняно короткий період часу мережі мобільного зв'язку третього покоління IMT/UMTS стали реальністю і показали явну перевагу перед мережами попередніх поколінь. Основними причинами їх динамічного розвитку є зростаюча потреба користувачів у високошвидкісних послугах, а також зниження капітальних витрат на передачу одиниці трафіку.

Ці ж причини підштовхнули розробників на створення системи довготермінової еволюції 4G LTE, що забезпечує ще більші швидкості передачі даних і, як наслідок, підвищення якості пропонованих користувальницьких послуг.

У найближчому майбутньому основним фактором, що впливає на розвиток технологій мобільного зв'язку та бездротового широкосмугового доступу, стане зростання числа користувачів послуг. Для забезпечення доступу до мережі всім бажаючим користувачам необхідно розширювати можливості базової станції в кількості абонентів, що обслуговуються.

Тому об’єктом дослідження було обрано канали зв’язку в стільниковій системі довготермінової еволюції 4G LTE. Предметом досліджень стали методи управління каналами зв’язку в стільниковій системі довготермінової еволюції 4G LTE. А отже мета кваліфікаційної роботи – дослідити існуючі методи зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв’язку в стільниковій системі довготермінової еволюції та запропонувати рішення щодо покращення цих показників.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Стан питання

1.1.1 Архітектура мережі 4G (LTE)

Архітектура мережі 4G на основі стандарту LTE розроблена таким чином, щоб забезпечити підтримку пакетного трафіку з так званою «гладкою» («безшовною», seamless) мобільністю, з мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування.

Мобільність, як функція мережі, забезпечується двома її видами: дискретною мобільністю (роумінгом) і безперервною мобільністю (хендовером). Оскільки мережі 4G LTE повинні підтримувати процедури роумінгу та хендоверу з усіма існуючими мережами, для 4G LTE-абонентів (терміналів) повинно забезпечуватися повсюдне покриття послуг бездротового широкосмугового доступу [1].

Пакетна передача дозволяє забезпечити всі послуги, включаючи передачу користувальницького голосового трафіку. На відміну від більшості мереж попередніх поколінь, в яких спостерігається досить висока різнотипність і ієрархічність мережевих вузлів (так звана розподілена мережева відповідальність), архітектуру мереж 4G на основі стандарту LTE можна назвати «плоскою», оскільки практично вся мережева взаємодія відбувається між двома вузлами: БС, яка в технічних специфікаціях називається B-вузлом (Node-B, eNB) і блоком управління мобільністю БУМ (MME, Mobility Management Entity), реалізаційно, як правило, включає і мережевий шлюз (GW, Gateway), тобто мають місце комбіновані блоки MME/GW [2].

Відзначимо, що контролер радіомережі, який грав дуже значну роль в мережах попередніх поколінь, усунутий від управління потоком даних (фактично він навіть відсутній в структурних схемах), а його традиційні функції – управління радіоресурсами, стиск заголовків, шифрування, надійна доставка пакетів та ін. передані безпосередньо БС.

БУМ працює тільки зі службовою інформацією - так званою мережевою сигналізацією, так що IP-пакети, що містять інформацію користувача, через нього не проходять. Перевага наявності такого окремого блоку сигналізації в тому, що пропускну здатність мережі можна незалежно нарощувати як для користувача трафіку, так і для службової інформації. Головною функцією БУМ є управління ТК, що знаходяться в режимі очікування, включаючи перенаправлення і виконання викликів, авторизацію і аутентифікацію, роумінг і хендовер, встановлення службових каналів та каналів користувача та ін. [3].

Серед всіх мережевих шлюзів окремо виділені два: обслуговуючий шлюз ОШ (S-GW, Serving Gateway) і шлюз пакетної мережі (P-GW, Packet Data Network Gateway), або, коротше, пакетний шлюз (ПШ). ОШ функціонує як блок управління локальною мобільністю, приймаючи і пересилаючи пакети даних, що відносяться до БС і ТК, які їм обслуговуються. ПШ є інтерфейсом між набором БС і різними зовнішніми мережами, а також виконує деякі функції IP-мереж, такі, як розподіл адрес, забезпечення політик користувачей, маршрутизація, фільтрація пакетів та ін..

Як і в більшості мереж третього покоління, в основу принципів побудови мережі 4G LTE покладено поділ двох аспектів: фізичної реалізації окремих мережевих блоків і формування функціональних зв'язків між ними. При цьому завдання фізичної реалізації вирішуються, виходячи з концепції області (domain), а функціональні зв'язки розглядаються в рамках шару (stratum) [4].

Первинним поділом на фізичному рівні є поділ архітектури мережі на область обладнання користувача (UED, User Equipment Domain) і область мережевої інфраструктури (ID, Infrastructure Domain). Остання, в свою чергу, поділяється на (під) мережу радіодоступу (E-UTRAN, Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) і базову (пакетну) (під) мережу (EPC, Evolved Packet Core).

Обладнання користувача - це сукупність ТК з різними рівнями

функціональних можливостей, що використовуються абонентами мережі для доступу до LTE-послуг. При цьому в якості терміналу користувача може фігурувати як реальний («живий») абонент, який користується, наприклад, послугами голосового трафіку, так і знеособлений пристрій, призначений для передачі/прийому певних додатків мережі або користувача.

На рисунку 1.1 показана узагальнена структура мережі LTE, з якої видно наявність двох шарів функціональних зв'язків: шару радіодоступу (AS, Access Stratum) і зовнішнього шару радіодоступу (NAS, Non-Access Stratum). Показані на рисунку 1.1 овали зі стрілками позначають точки доступу до послуг [5].

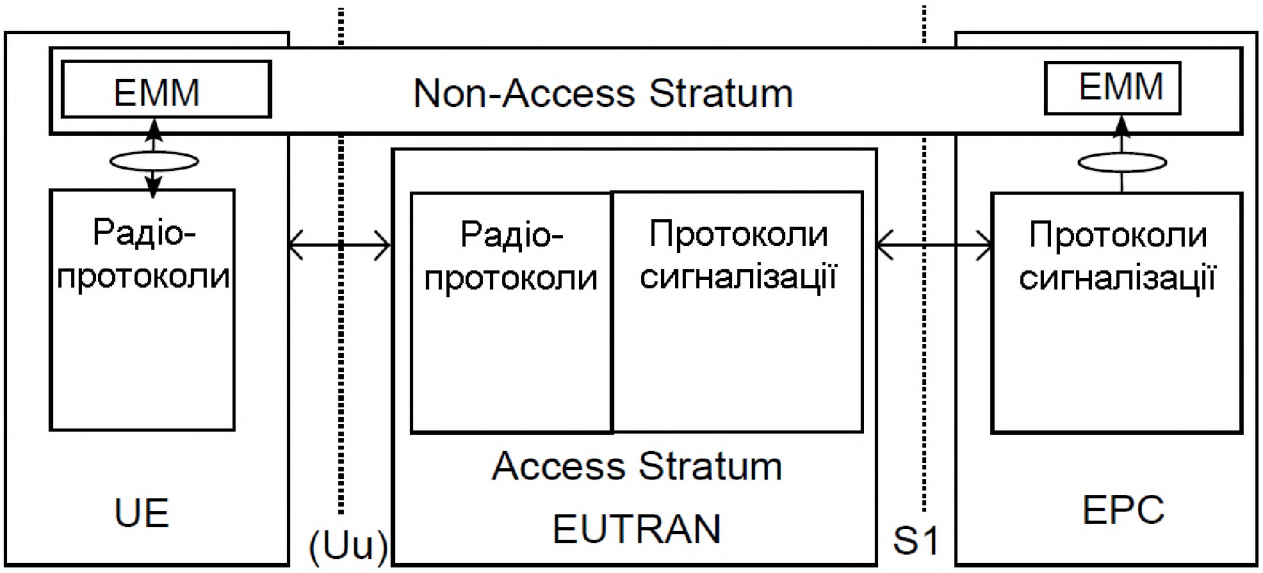

Рисунок 1.1 – Узагальнена структура мережі LTE

Стик між областю UE обладнання користувача і областю мережі радіодоступу UTRAN називається Uu-інтерфейсом; стик між областю мережі радіодоступу і областю базової мережі EPC – S1-інтерфейсом. Склад і функціонування різних протоколів, що відносяться до інтерфейсів Uu і S1, розділені на дві так звані площини: площину користувача і площину управління.

Поза шару доступу діють механізми управління мобільністю в базовій мережі (EMM, EPC Mobility Management). У площині користувача реалізовані протоколи, що забезпечують передачу даних користувача по радіоканалу. До

площини управління відносяться ті протоколи, які в різних аспектах забезпечують з'єднання між ТК і мережею. Також до цієї площини відносяться протоколи, призначені для транспарентної (прозорої) передачі повідомлень, що відносяться до надання різних послуг.

Область мережі радіодоступу логічно розділена на два рівні: рівень радіомережі (RNL, Radio Network Layer) і рівень транспортної мережі (TNL, Transport Network Layer). Взаємодія БС, що входять в область мережі радіодоступу здійснюється на основі X2-інтерфейсу (рисунок 1.2). Крім того, має місце транзитне сполучення між базовими станціями і базовою мережею через блок управління мобільністю (S1-MM-інтерфейс) або обслуговуючий вузол (S1-U-інтерфейс) – на рисунку 1.2 не показані. Таким чином, можна стверджувати, що S1-інтерфейс підтримує множинні відносини між набором БС і блоками БУМ/ОУ [6].

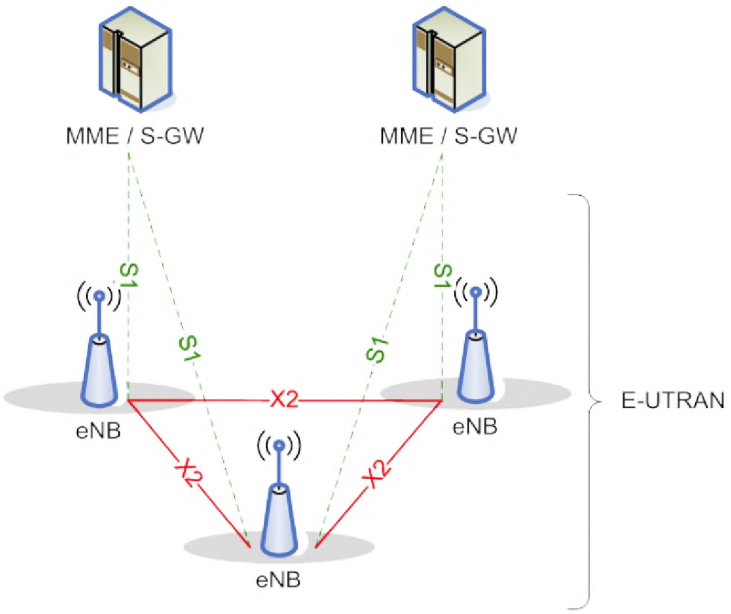

Рисунок 1.2 – З'єднання функціональних вузлів мережі радіо доступу

Перш, ніж звернутися до вивчення протоколів мережі LTE, визначених у різних інтерфейсах і площинах, розглянемо призначення функціональних блоків мережі радіодоступу. На БС в мережах LTE покладено виконання таких функцій:

- управління радиоресурсами: розподіл радіоканалів, динамічний розподіл ресурсів у висхідних і низхідних напрямках – так звана диспетчеризація ресурсів (scheduling) та ін.;

- стиснення заголовків IP-пакетів, шифрування потоку даних користувача;

- вибір блоку управління мобільністю при включенні в мережу терміналу користувача за відсутності у того інформації про минуле підключення.

- маршрутизація в користувальницькій площині пакетів даних у напрямку обслуговуючого шлюзу;

- диспетчеризація і передача визивної і віщальної інформації, отриманої від БУМ;

- диспетчеризація і передача повідомлень PWS (Public Warning System, система тривожного сповіщення), отриманих від БУМ;

- вимірювання та складання відповідних звітів для управління мобільністю та диспетчеризації.

Блок управління мобільністю забезпечує виконання таких функцій:

- передача захищеної інформації про точки доступу до послуг і захищене управління точками доступу;

- передача інформації в базову мережу для управління мобільністю між різними мережами радіодоступу;

- управління БС, які знаходяться у стані очікування, включаючи перенаправлення викликів;

- управління списком зон відстеження ТК;

- вибір обслуговуючого шлюзу і шлюзу пакетної мережі для мереж радіодоступу різних стандартів;

- вибір нового блоку управління мобільністю при виконанні хендоверу;

- роумінг;

- аутентифікація;

- управління радіоканалом, включаючи установку виділеного каналу;

- підтримка передачі повідомлень PWS.

Обслуговуючий вузол відповідає за виконання таких функцій:

- вибір точки прив'язки («якоря») локального місця розташування (Local Mobility Anchor) під час хендоверу;

- буферизація пакетів даних у низхідному напрямі, призначених для ТК, що перебувають у режимі очікування, та ініціалізація процедури запиту послуги;

- санкціоноване перехоплення інформації користувача;

- маршрутизація і перенаправлення пакетів даних;

- маркування пакетів транспортного рівня;

- формування облікових записів користувачів та ідентифікатора класу якості обслуговування для тарифікації;

- тарифікація абонентів.

Нарешті, шлюз пакетної мережі забезпечує виконання таких функцій:

- фільтрація користувальницьких пакетів;

- санкціоноване перехоплення інформації користувача;

- розподіл IP-адрес для ТК;

- маркування пакетів транспортного рівня у низхідному напрямі;

- тарифікація послуг, їх селекція.

1.1.2 Управління мобільністю терміналів користувачів

У мережах LTE для кожного ТК визначені два стани по відношенню до RRC-підрівню: з'єднання (RRC CONNECTED) і очікування (RRC IDLE). Функціонуючи, ТК переходить (рисунок 1.3) зі стану RRC-очікування в стан RRC-з'єднання, коли з'єднання успішно встановлено; далі, ТК може назад повернутися в стан RRC-очікування, розірвавши з'єднання на RRC-підрівні [7-9].

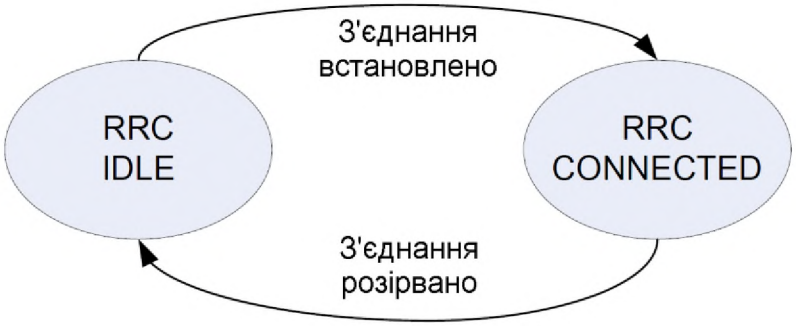

Рисунок 1.3 – Зміна станів ТК

Перебуваючи в стані RRC-очікування, ТК може проводити моніторинг визивного каналу, отримувати мовну інформацію, здійснювати вимірювання, що відносяться до обслуговуючої соти і, при необхідності, здійснювати її зміну. Крім того, в цьому стані можлива установка певного циклу переривчастої передачі для економії випромінюваної потужності ТК. У цьому стані управління мобільністю здійснюється самим ТК.

У стані RRC-з'єднання може відбуватися передача індивідуальної інформації, що відноситься до певного ТК, в обох напрямках, а також віщальної (групової) інформації в низхідному напрямі, установка циклу переривчастої передачі. ТК здійснює моніторинг керуючих каналів, пов'язаних з спільними транспортними каналами, щоб визначити графік проходження пакетів даних. Для цих цілей забезпечується зворотний зв'язок, що дає інформацію про поточну якість каналу, виконуються необхідні вимірювання, що відносяться до обслуговуючої соти, а також відсилаються в мережу звіти про вимірювання. На відміну від RRC-очікування, в стані RRC-з'єднання управління мобільністю проводиться мережею.

Найважливішою особливістю всіх стільникових мереж мобільного зв'язку, в тому числі, мереж LTE, є підтримка «безшовної» мобільності абонента по відношенню до зміни різних базових станцій, вузлів і мереж (тобто мережевих шлюзів). Вимоги до ефективності мобільності ще більш підвищуються під час використання таких чутливих до затримок окремих пакетів додатків, таких як VoIP. Як відомо, в основі безшовної мобільності лежать різні процедури хендоверу - естафетна передача активного (тобто того,

що знаходиться в режимі сеансу зв'язку або з'єднання) абонента під час перетину ним різних географічних зон. Зрозуміло, що для типового користувача зміна сот (БС) відбувається значно частіше, ніж зміна обслуговуючого шлюзу і, тим більше, самої базової мережі. Тому для підготовки до виконання хендоверу використовується сигналізація за інтерфейсом X2, чинному між різними БС [10].

Як відомо, ефективність виконання хендоверу є одним з найбільш важливих показників якості роботи мереж; погано відрегульовані хендоверні параметри (рівень прийняття рішення, гістерезис тощо) можуть привести до зайвого завантаження службових каналів і навіть до втрат сеансів зв'язку, обумовлених невдалими хендоверами. Опису алгоритмів хендоверу, виконуваних в різних мережах, присвячена велика кількість специфікацій (зокрема, процедура хендоверу досить детально прописана в специфікації TS 36.413).

При виконанні процедури хендоверу абоненту присвоюється тимчасовий ідентифікатор C-RNTI. Аналогічні ідентифікатори присвоюються абоненту, призначеному для користувача і мережевого обладнання також і при здійсненні різних інших процедур, пов'язаних і з мережею радіодоступу, і з базовою мережею.

Так, в механізмах управління потужністю TPC (Transmit Power Control) за фізичними висхідним каналам PUSCH і PUCCH використовуються відповідні ідентифікатори TPC-PUSCH і TPC-PUCCH [11-13].

Для глобальної ідентифікації БУМ використовується ідентифікатор GUMMEI (Globally Unique MME Identity), який конструюється з ідентифікатора самої мережі мобільного зв'язку шляхом додавання коду групи блоків БУМ та коду самого БУМ.

Глобальна ідентифікація сот мереж LTE здійснюється за допомогою стільникового глобального ідентифікатора ECGI (E-UTRAN Cell Global Identifier), формованого додаванням до мережевого ідентифікатора локального (тобто використовуваного в межах однієї мережі) ідентифікатора соти CI (Cell

Identity). Аналогічним чином здійснюється глобальна ідентифікація базових станцій.

Для управління мобільністю ТК, що знаходиться в стані очікування, вводиться поняття зони відстеження (TA, Tracking Area) як площі, що покриває зону обслуговування декількох базових станцій (рисунок 1.4). З кожною зоною відстеження пов'язаний відповідний ідентифікатор TAI (Tracking Area Identity). ТК може бути одночасно зареєстрований в декількох зонах відстеження, що дозволяє економити енергію в умовах високої мобільності, оскільки відпадає необхідність у постійному оновленні місця розташування.

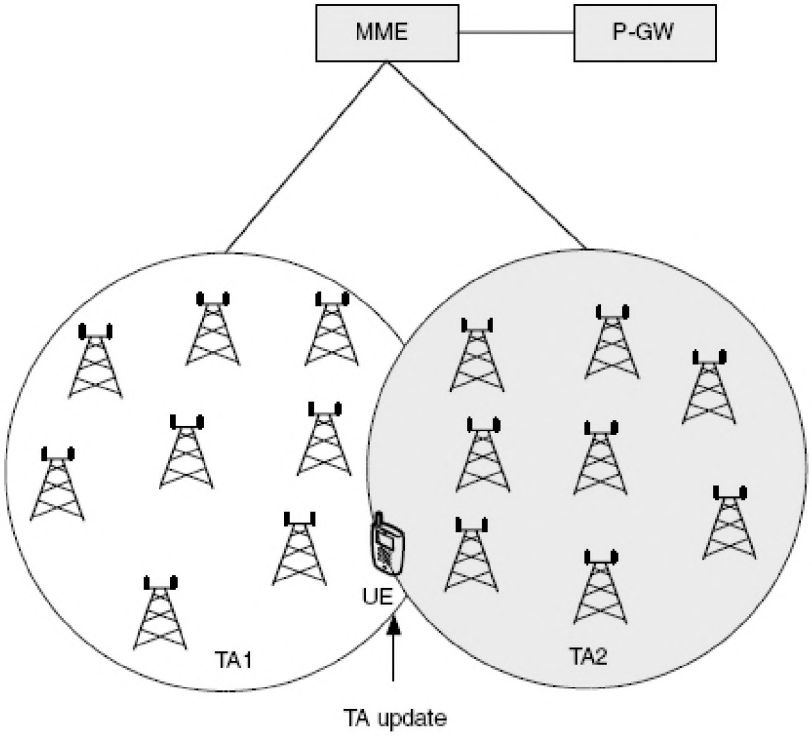

Рисунок 1.4 – Зона відстеження

1.1.3 Фізичний рівень мереж 4G (LTE)

Розглянемо види сигналів низхідного і висхідного напрямків, структури основних фізичних каналів, якими передається трафік користувача та службова інформація, наводиться опис процедур кодування переданих даних для режимів з частотним дуплексуванням [14].

Функціонування мереж системи LTE може здійснюватися в частотних діапазонах з різною шириною. Сигнали низхідного або висхідного напрямку можуть займати смуги від 1,4 до 20 МГц в залежності від кількості активних ресурсних блоків, поняття якого буде дано нижче. Межі частотного діапазону, що займає сигнал, завжди визначаються симетрично щодо несучої частоти f_c за формулами (1.1) та (1.2).

$$f_{\min} = f_c + BW_{ch} / 2, \quad (1.1)$$

$$f_{\max} = f_c - BW_{ch} / 2. \quad (1.2)$$

Для будь-якого частотного діапазону вводиться частотна сітка з кроком 100 кГц, що називається канальним растром; це означає, що центральні (несучі) частоти каналів повинні бути кратні 100 кГц.

Всі часові значення виражаються в одиницях елементарного часового інтервалу (формула (1.3)).

$$Ts = 1/(15000x2048), \text{ с.} \quad (1.3)$$

Передача інформації у висхідному і низхідному напрямках організована в кадрах (radio frames) тривалістю розрахованою за формулою (1.4).

$$Tf = 307200xTs = 10 \text{ мс}, \quad (1.4)$$

які, в свою чергу, поділяються на більш дрібні часові структури - слоти. При цьому можливі два типи структур кадру: Тип 1, що застосовується у режимі FDD з частотним дуплексом і Тип 2, що застосовується у режимі TDD (Time Division Duplex, дуплексний канал з часовим рознесенням).

Структура кадру Типу 1 (рисунок 1.5), що застосовується як в (повно)дуплексному, так і півдуплексному FDD-режимах, припускає розподіл

кадру на 20 слотів, що нумеруються від нульового до 19-го, кожен з яких має тривалість розраховану за формулою (1.5).

$$Tslot = 15360xTs = 0,5 \text{ мс} \quad (1.5)$$

У межах кадру розрізняють підкадри, що представляють собою пару з двох суміжних слотів; і-й підкадр містить слоти з номерами 2i та 2i+1.

У режимах з частотним рознесенням часовий ресурс в межах кадру розділений навпіл для передачі в протилежних напрямках: 10 підкарів доступні для передачі у висхідному напрямку і 10 – в низхідному. При цьому, як випливає з фізичної сутності організації FDD-режимів, фізичні канали в протилежних напрямках розділені в спектральної області дуплексною відстанню. У півдуплексному режимі фізичні канали як і раніше розділені дуплексною відстанню, однак ТК не може одночасно працювати на прийом і на передачу.

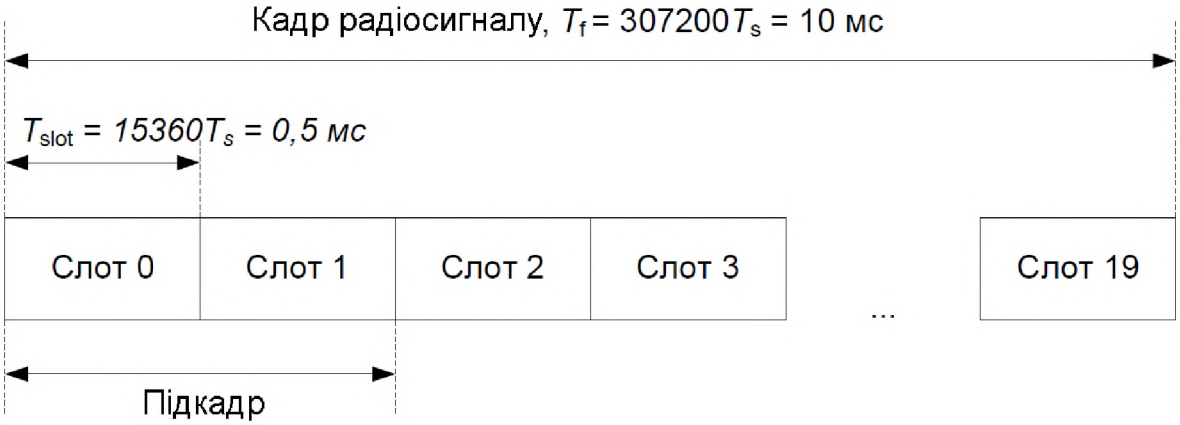

Рисунок 1.5 – Структура кадру Типу 1

Кадри типу 2 використовуються при часовому рознесенні каналів. При цьому кожен кадр (рисунок 1.6) розділений на два півкадра, кожен з яких має тривалість (hf – half-frame) розраховану за формулою (1.6).

$$T_{hf} = 153600\ T_s = 5 \text{ мс}, \quad (1.6)$$

а кожен півкадр складається з п'яти послідовних підкадрів тривалістю (sf – sub-frame) розрахованою за формулою (1.7).

$$T_{sf} = 30720 T_s = 1 \text{ мс} \quad (1.7)$$

Необхідність переходу від одного напряму до іншого означає наявність в кадрах спеціальних підкадрів, містять пілотне поле, зване точкою перемикання. У цьому полі виділяють спеціальні пілотні слоти низхідного напрямки DwPTS (Downlink Pilot Time Slot) та пілотні слоти висхідного напрямки UpPTS (Uplink Pilot Time slot), які розташовуються послідовно, разом із захисним полем GP (Guard Period).

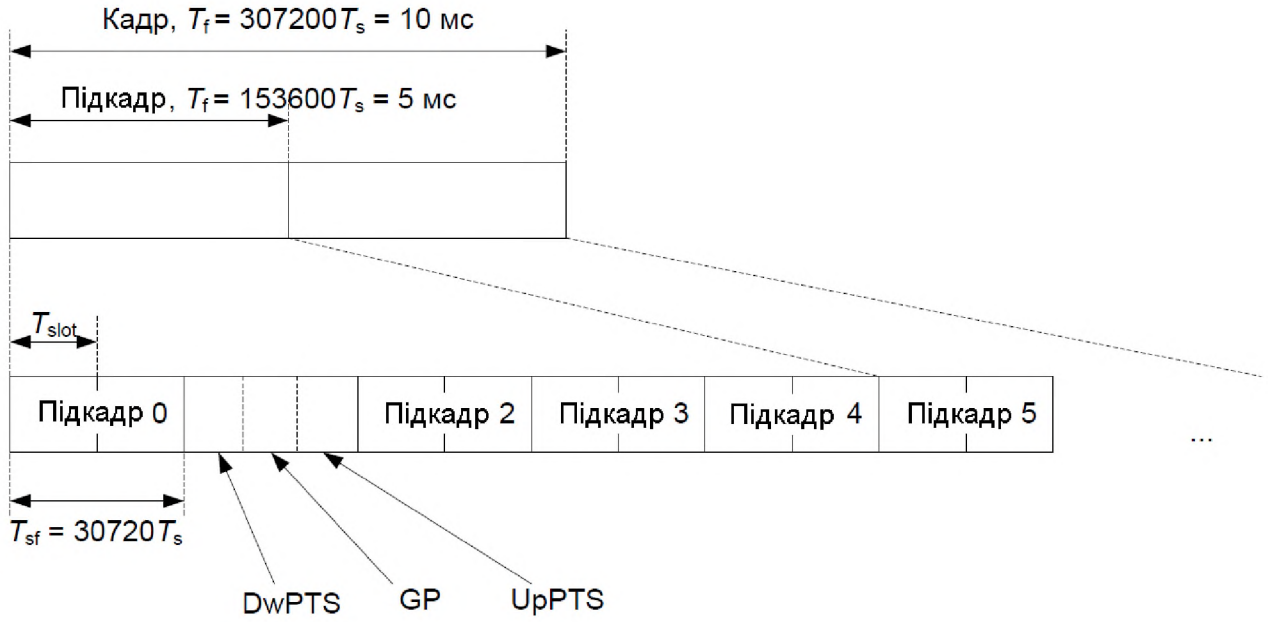

Рис. 1.6 – Структура кадру Типу 2

Розглянемо більш детально структуру слотів. Для цього, насамперед, звернемося до тих сигнальних технологій, на базі яких реалізований фізичний рівень мереж LTE: OFDM і SC- FDMA.

1.1.3.1 Технологія OFDM

Основною метою використання технології OFDM є усунення впливу перешкод, викликаних багатопроменевим поширенням сигналу. Використання традиційних одночастотних видів модуляції, коли на одній, яскраво вираженій несучій частоті $\omega_0 = 2\pi f_0$ здійснюється передача даних із застосуванням багаторівневих сигналів, є цілком виправданим в умовах, за яких можна знехтувати інтерференційними ефектами, викликаними, головним чином, багатопроменевим поширенням [15].

Якщо тривалість, що відповідає передачі одного елементарного сигналу, дорівнює T_s, то швидкість передачі інформації R (вимірювана в бітах за секунду) розраховується за формулою (1.8).

$$R = \frac{\log_2 M}{T_s}, \tag{1.8}$$

де M – показник, що визначає багатопозиційність використовуваного ансамблю сигналів, тобто скільки біт даних передається на одному тактовому інтервалі T_s.

Найпростішим способом боротьби з інтерференцією між символами (IMC) є збільшення тривалості T_s до тих пір, поки не стане виконуватися умова $T_s >> \tau_s$, де τ_s - максимальний час затримки поширення під час перевідбиття. Тоді можливі спотворення торкнуться лише невеликої частини корисного сигналу (наприклад, не більше чверті), що цілком може виявитися допустимим з точки зору зниження завадостійкості. Однак при такому прямому підході виявляються обмеженими можливості з підвищення швидкості передачі: при фіксованому часі τ_s збільшення значення T_s в формулі (1.8) призводить до зниження R.

Набагато більш перспективним способом боротьби з IMC, викликаної багатопроменевим поширенням, є відмова від використання сигналів з однією яскраво вираженою несучою і використання конструкцій на основі багаточастотних сигналів. Наочною ілюстрацією до побудови таких

конструкцій служить концепція розпаралелювання порівняно високошвидкісного потоку даних на сукупність декількох порівняно низькошвидкісних потоків.

Будемо вважати, що вся смуга частот B розділена на сукупність з K непересічних частотних інтервалів (рисунок 1.7, де K = 8), ширина кожного з яких складає B/K, а кожен інтервал відповідає окремому каналу передачі.

Оскільки звуження спектра еквівалентно збільшенню тривалості сигналу у часовій області, можна зробити висновок, що сигнал кожного каналу передачі повинен мати тривалість KT_s, причому спектри таких сигналів будуть локалізовані в частотних інтервалах шириною B/K. При цьому збільшення тривалості відбувається без впливу на обмеження швидкості передачі інформації, так як зниження швидкості передачі в окремому каналі компенсується збільшенням числа цих каналів. Для реалізації та практичного використання описаної концепції потрібно задовольнити ще одну вимогу, що полягає в тому, що окремі канали не повинні перекриватися (як на рисунку 1.7), або наявне перекривання якимось чином має компенсуватися – в іншому випадку виникнуть міжканальні перешкоди, що призводять до спотворення інформації [1-3].

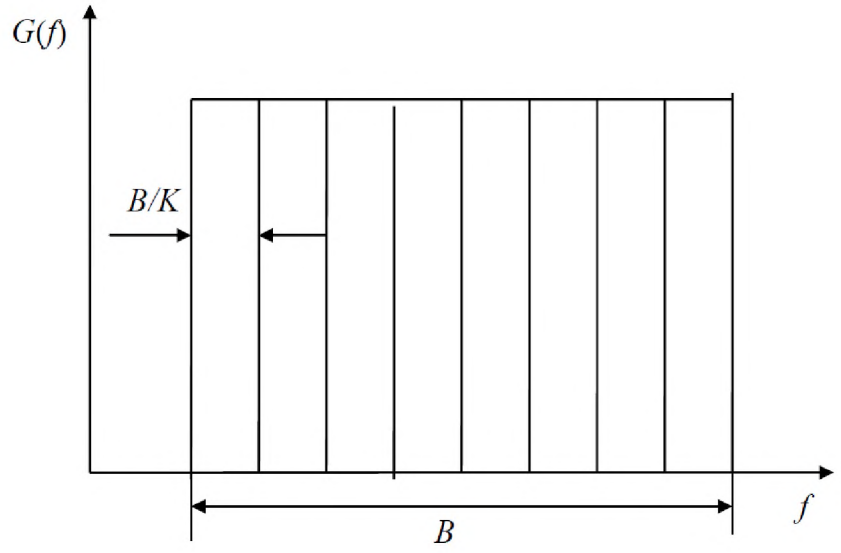

Рисунок 1.7 – Поділ спектру сигналу на частотні інтервали

У першому випадку домогтися того, щоб спектри в різних каналах не перекривалися в принципі можна, ще більше збільшивши тривалість сигналів, що відповідає окремим каналах, домагаючись того, щоб рівень спектра спадав до кордонів інтервалу до заданого значення (рисунок 1.8). Однак втрати у швидкості передачі інформації, що при цьому виникають вже не будуть компенсуватися пропорційним збільшенням числа окремих каналів.

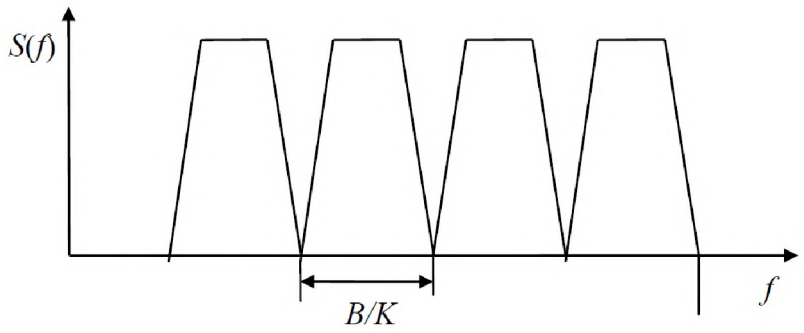

Рисунок 1.8 – Формування спектрів, що не перекриваються

У цьому випадку доцільно піти іншим шляхом, намагаючись задовольнити вимогу компенсації спектрів, що перекриваються, працюючи з ортогональним ансамблем сигналів. У термінах теорії сигналів це означає, що скалярний добуток між двома будь-якими різними сигналами $s_k(t)$ і $s_l(t)$ з цього ансамблю дорівнює нулю. Такий ансамбль прийнято називати OFDM-сигналом.

На рисунку 1.9 показана «тонка структура» спектра S (f) OFDM-сигналу, розрахованого за формулою (1.9), у вигляді спектральних складових, що були одержані від окремих сигналів [16].

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} s_k(t)\,,\ 0 \le t \le T_s, \qquad (1.9)$$

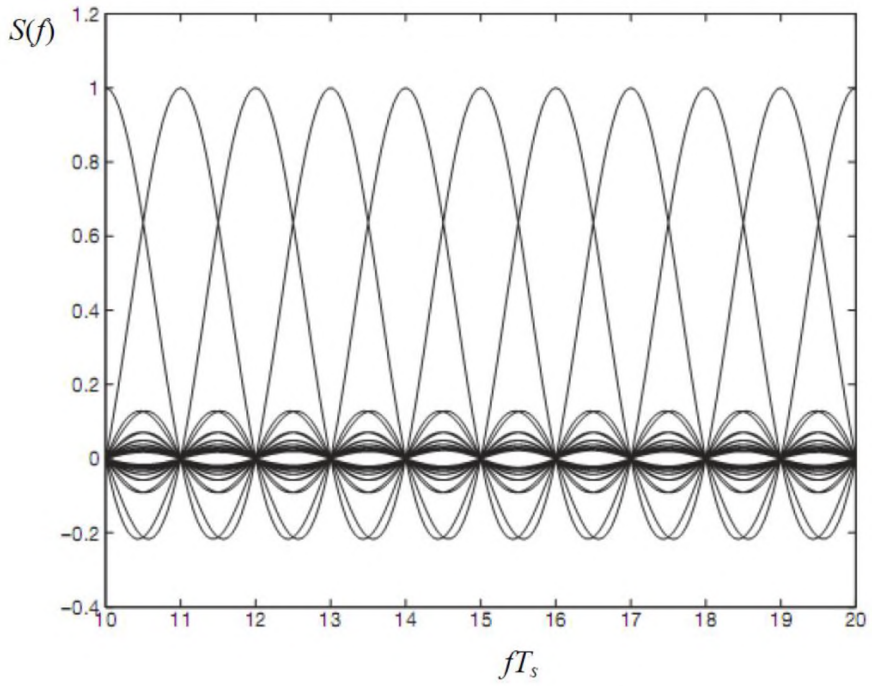

Рисунок 1.9 – Спектр послідовності сигналів з ортогональним рознесенням

Видно, що в точках $f_k = k/T_s$ спектр k-го сигналу має максимум, в той час як «хвости» спектрів сусідніх сигналів мають нульові значення. Підкреслимо, що значення частотного інтервалу $\Delta f = 1/T_s$ забезпечує ортогональність сигналів тільки для прямокутної форми огинаючої. Вибір сигналів округленої форми огинаючої з таким же значенням частотного інтервалу хоча і дає можливість отримати більш компактний спектр, але тягне за собою порушення умови ортогональності і, як наслідок, погіршення завадостійкості.

Звернемося тепер до питання про практичну реалізацію ансамблю ортогональних багаточастотних сигналів.

Прямий спосіб формування, що випливає безпосередньо з опису сигналів, представлений на рисунку 1.10.

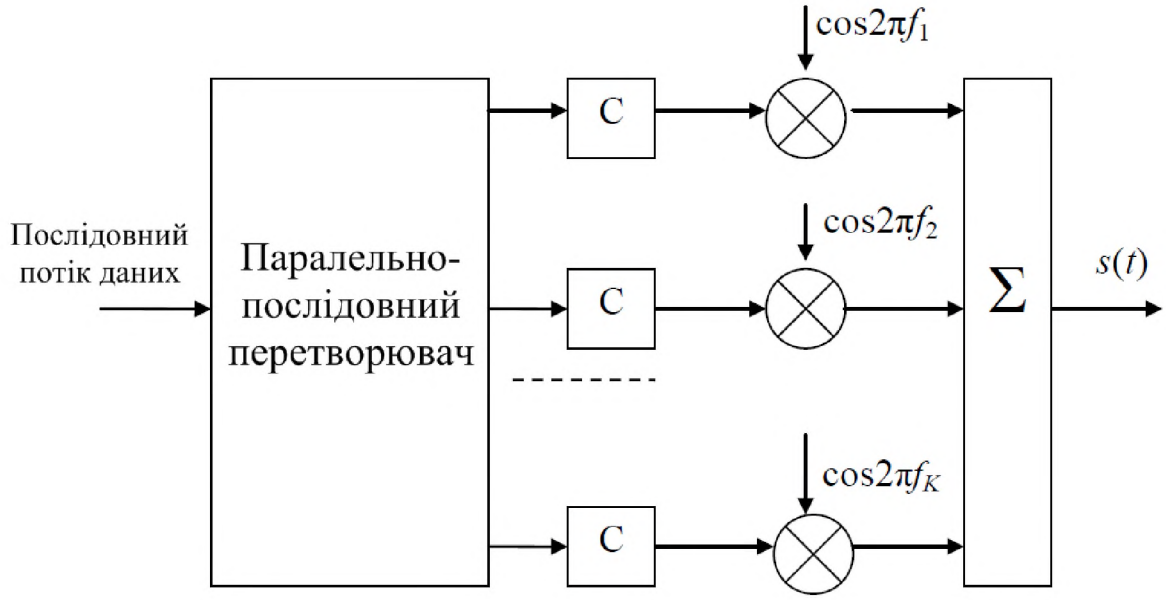

Рисунок 1.10 – Структурна схема прямого формування OFDM-сигналів

Формувач складається з перетворювача послідовного потоку даних в паралельний, синтезаторів С форми сигналів, що забезпечують заданий вид огинаючої, сукупності множників (перетворювачів частоти), що дозволяють перенести спектр сигналів на задані частоти $f_1,..., f_K$, і, нарешті, суматора Σ, на виході якого і формується багаточастотний сигнал s(t).

При всій очевидності представленого на рисунку 1.10 методу формування OFDM-сигналів слід визнати його непрактичність, оскільки він припускає одночасну роботу K сфазованих генераторів, що при досить великих значеннях K представляється безперспективним.

Інший підхід, що знайшов своє практичне втілення в сучасних пристроях формування та прийому сигналів, заснований на використанні спеціальної операції цифрової обробки сигналів - дискретного перетворення Фур'є (ДПФ, DFT - Discrete Fourier Transform).

Запишемо формулу (1.9) в комплексній формі. Для цього введемо комплексний модуляційний символ $\delta_k = A_k \exp(j\varphi_k)$. Тоді OFDM-символ, побудований на основі сигналів з прямокутною формою огибаючої, можна записати у вигляді формули (1.10).

$$s_{sym}(t) = \mathrm{Re}\left\{\sum_{k=0}^{K-1} \delta_k \exp\left[j2\pi kt / T_s\right]\right\}, 0 \le t \le T_s. \quad (1.10)$$

Або, вводячи комплексний OFDM-сигнал, у вигляді формули (1.11):

$$\xi_{sym}(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \delta_k \exp\left[j2\pi kt / T_s\right], 0 \le t \le T_s. \quad (1.11)$$

Таким чином, здійснюючи дискретизацію OFDM-сигналу на інтервалі часу [0; T_s] з деяким кроком T_0, отримаємо в моменти часу відліку $t_n = nT_0$ представлення OFDM-символу у вигляді (зворотнього) дискретного перетворення Фур'є (ЗДПФ, IDFT - In-verse Discrete Fourier Transform) (формула (1.12)) K-елементної послідовності комплексних значень δ_k.

$$\xi_n \equiv \xi_{sym}(t_n) = \sum_{k=0}^{K-1} \delta_k \exp\left[\frac{j2\pi knT_0}{KT_0}\right] = \sum_{k=0}^{K-1} \delta_k \exp\left[\frac{j2\pi kn}{K}\right], \quad (1.12)$$

Формула (1.12) може бути ефективно (з малими обчислювальними витратами) обчислено за допомогою різноманітних алгоритмів ШПФ.

Відзначимо, що алгоритми ШПФ припускають, що число K є двійковим натуральним ступенем (що, власне, і забезпечує можливість швидкого обчислення такого виразу), у той час як реальна кількість піднесучих може виявитися не кратно двом. У цьому випадку обчислення ШПФ проводиться шляхом формального введення в суму нульових доданків, що доповнюють K до двійкового натурального ступеня.

Тепер, після того, як розглянуті базові принципи формування багаточастотних ортогональних сигналів, розглянемо вплив ІМС на такі сигнали. Основною ідеєю, що лежить в основі боротьби з ІМС, є введення захисного інтервалу, що є частиною тієї тривалості, в межах якої передаються

дані. Стосовно до розглянутого випадку це означає поділ тривалості T_s OFDM-символу на корисну частину T_u і захисний інтервал Δ. При цьому, з одного боку, в цілях малих втрат у швидкості передачі інформації, бажано, щоб T_u істотно перевершував Δ (наприклад, на порядок), а з іншого – захисний інтервал повинен бути досить протяжним, щоб протидіяти ІМС.

На перший погляд реалізація такої ідеї наштовхується на великі складнощі з огляду на те, що наявність захисного інтервалу може призвести до спотворення ортогональності елементарних сигналів. Дійсно, якщо спочатку ортогональний частотний рознос становив $\Delta f = 1/T_s$, то після поділу T_s на T_u і Δ необхідно вибрати $\Delta f = 1/T_u$, і, наприклад, на інтервалі [-Δ; Ts-Δ] співвідношення ортогональності перестає виконуватися.

Подолання зазначеного ускладнення основане на тому, що частина сигналу, що передається на тривалості захисного інтервалу, є ЦП OFDM-символу тобто на інтервалі Δ передається копія частини OFDM-символу, взята «з кінця» корисного інтервалу (на рисунку 1.11 заштриховані частини, відповідні ЦП і тієї частини OFDM-символу, з якої цей префікс отриманий) [18].

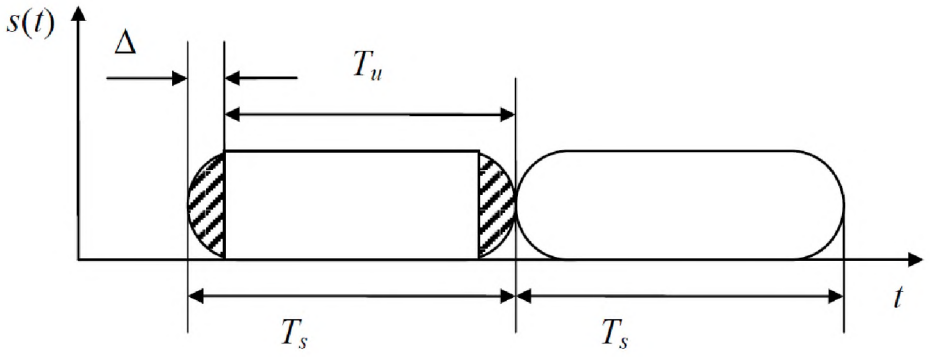

Рисунок 1.11 – Формування циклічного префіксу

При цьому тимчасове вікно аналізу становить T_u, так що аналізується або безпосередньо корисна частина OFDM-символу (при ідеальній синхронізації), або корисна частина OFDM-символу, відновлена з урахуванням ЦП.

На рисунку 1.12 показана структурна схема формування сигналу з OFDM на основі цифрових пристроїв з використанням (програмно або апаратно реалізованого) блоку ЗШПФ.

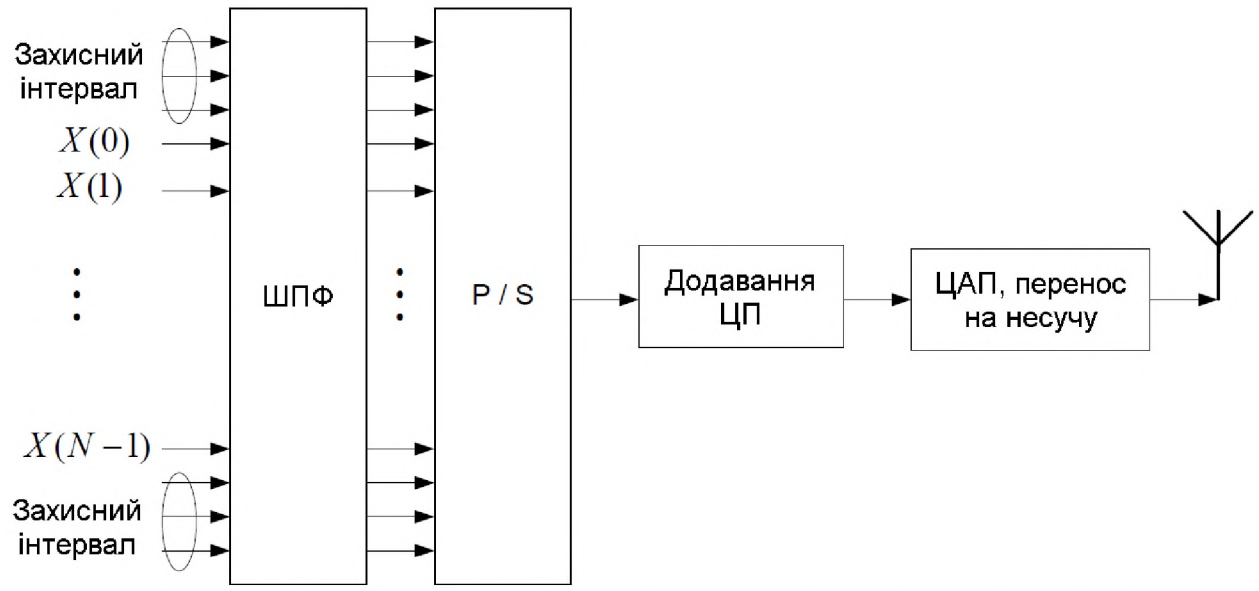

Рисунок 1.12 – Структурна схема прямого формування OFDM-сигналів

N комплексних модуляційних символів δ_k (сигнальні відліки в частотній області), а також G «порожніх» (нульових) символів, призначених для захисних піднесучих, надходять паралельним чином на вхід блоку ЗШПФ, на виході якого утворюються відліки (n = 0, ... , N-1), що представляють собою відліки в часовій області. Після цього в межах тривалості інтервалу T_s до них додається ще G відліків послідовності $\{\xi_n^g\}$, що утворюють ЦП. Далі отримані відліки подаються на вхід перетворювача частоти, що реалізує на свій вихід високочастотний радіосигнал. Нарешті, після посилення в блоці посилення потужності (на рисунку 1.12 не показаний) такий сигнал подається на вхід антеною системи і випромінюється в ефір.

1.1.3.2 Технологія SC-FDMA

Для формування групового сигналу висхідних каналів в мережах LTE використовується схема мультиплексування з частотним рознесенням з передачею на одній несучій SC-FDMA. Ця схема може працювати в системах, що функціонують як в режимі TDD з часовим дуплексуванням, так і в режимі FDD з частотним дуплексуванням. Такі сигнали можна розглядати як одночастотні з модуляцією КФМ або ФМ-2 і часовим мультиплексуванням, подібні тим сигналам, які формуються в системі GSM [18].

Формування сигналу в частотній області відповідно до схеми, представленої на рисунку 1.13, на відміну від класичної схеми формування одночастотного сигналу з модуляцією КФМ (ФМ-2), дозволяє використовувати перевагу схеми з ортогональним частотним рознесенням, яка полягає в ефективному використанні частотного ресурсу. При цьому захисний інтервал в частотній області між сигналами різних абонентів може бути опущений. Як і в системах з OFDM, в тимчасовій області періодично додається ЦП, але така процедура проводиться над блоком елементарних символів. Введення такого ЦП дозволяє уникнути ІМС між SC-FDMA символами або між блоками елементарних символів [19].

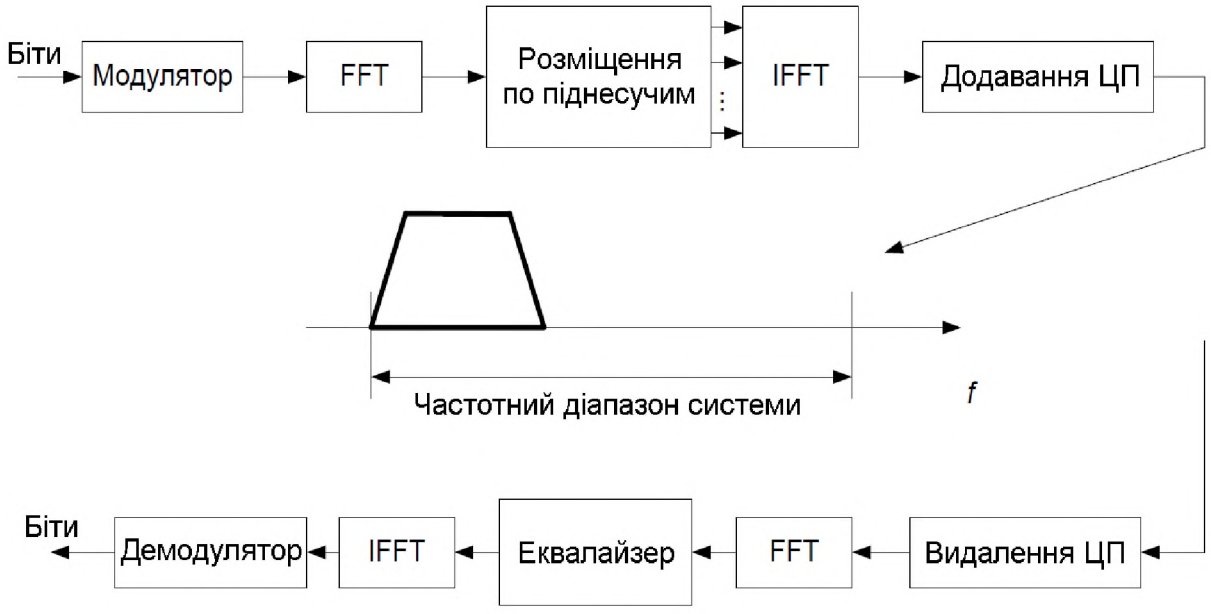

Рисунок 1.13 – Передача даних з використанням технології SC-FDMA

Сигнал, що передається, займає деяку область частот, виділену даному абоненту, як це показано на рисунку 1.13. Перерозподіл частотного ресурсу між абонентами може здійснюватися під час переходу до нового підкадру сигналу, кожен з яких має тривалість 1 мс. Наприклад, в будь-який момент часу частотний ресурс, що виділяється абоненту, може бути подвоєний, відповідно, подвоюється і швидкість передачі даних. Сигнал, що передається, буде займати більшу смугу частот, а тривалість елементарного символу в тимчасовій області скоротиться (рисунок 1.14).

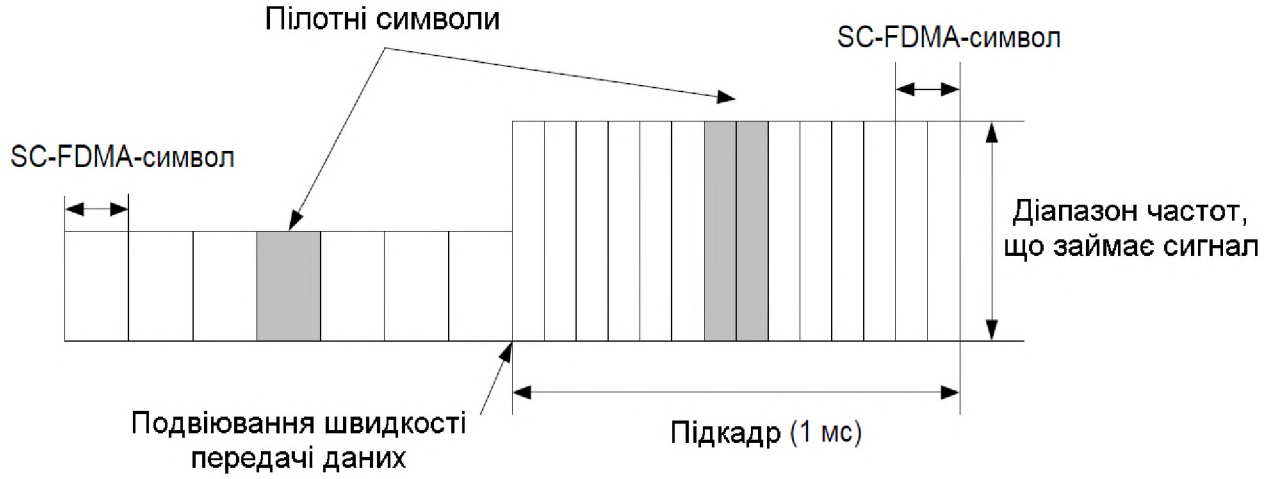

Рисунок 1.14 – До структури сигналів з SC-FDMA

Розподіл частотного ресурсу між абонентами здійснюється ресурсними блоками, кожному з яких відповідає смуга частот 180 кГц в частотній області, що при розносі між сусідніми піднесучими частотами в 15 кГц відповідає 12 піднесучим, і часовий інтервал 0,5 мс в часовій області (1 слот). У режимі роботи з нормальним ЦП ресурсний блок містить 7 SC-FDMA-символів, а в режимі роботи з розширеним ЦП – 6 SC-FDMA-символів.

Максимальна кількість доступних ресурсних блоків залежить від виділеного системі діапазону частот, значення якого може доходити до 20 МГц, однак на краях виділеного діапазону передбачені захисні інтервали, які не використовуються для передачі інформації. Так, при виділенні системі LTE смуги в 10 МГц реально буде використовуватися тільки 9 МГц, що відповідає 50 ресурсним блокам.

Незважаючи на те, що використовується схема мультиплексування з передачею на одній несучій, при формуванні такого сигналу для зручності, все ж, будемо користуватися поняттям піднесучих. При формуванні сигналу висхідних каналів комплексні модуляційні символи розміщуються за доступними ЧЧР, які не зайняті пілотними символами (рисунок 1.15, де пілотні символи виділені темним кольором). Пілотні символи розташовуються в середині слота, вони використовуються на приймальній стороні для оцінки передавальної характеристики каналу. Після розміщення даних по ЧЧР генерується SC-FDMA-сигнал з періодичним додаванням ЦП в часовій області.

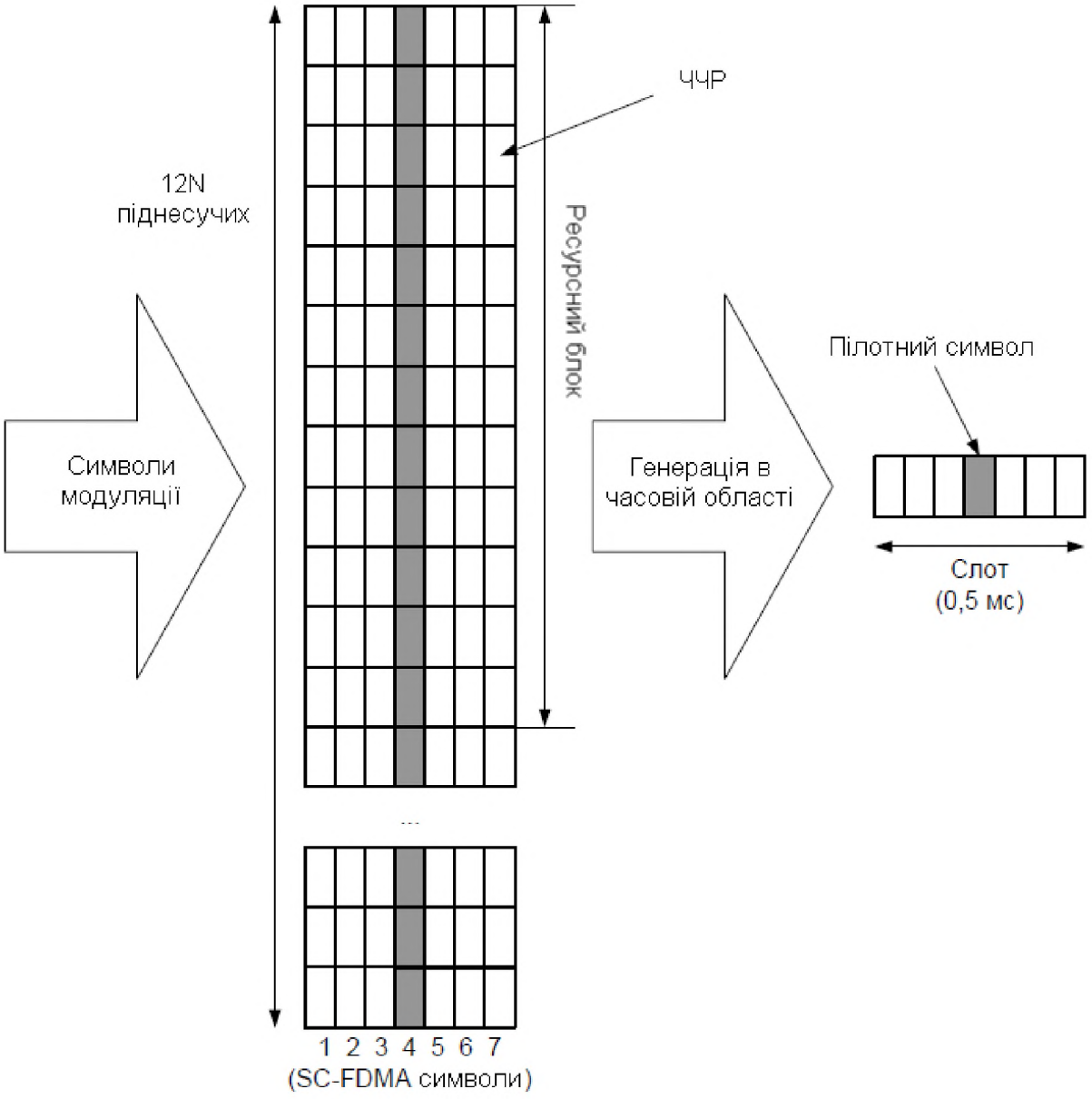

Рисунок 1.15 – Структура слоту сигналу SC-FDMA

Виділяється абоненту ресурс завжди кратний в частотній області смузі шириною 180 кГц, а в часовій - інтервалу тривалістю 1 мс, що відповідає двом слотам радіосигналу або одному підкадру. Контроль за сигналами абонентів здійснюється БС таким чином, щоб їх сигнали перекривалися за частотою або в часі. Змінюючи номера входів блоку ЗШПФ передавача, ТК може передавати свій сигнал в потрібній смузі (рисунок 1.16).

Згенерований SC-FDMA-сигнал має гарні властивості огибаючої в тимчасовій області. З огляду на те, що в певний момент часу йде передача тільки одного модуляційного символу, величина пік-фактора таких сигналів виявляється значно менше, ніж в сигналах, згенерованих за схемою OFDM, що дозволяє спростити передавальну апаратуру ТК і знизити витрату енергії акумулятора.

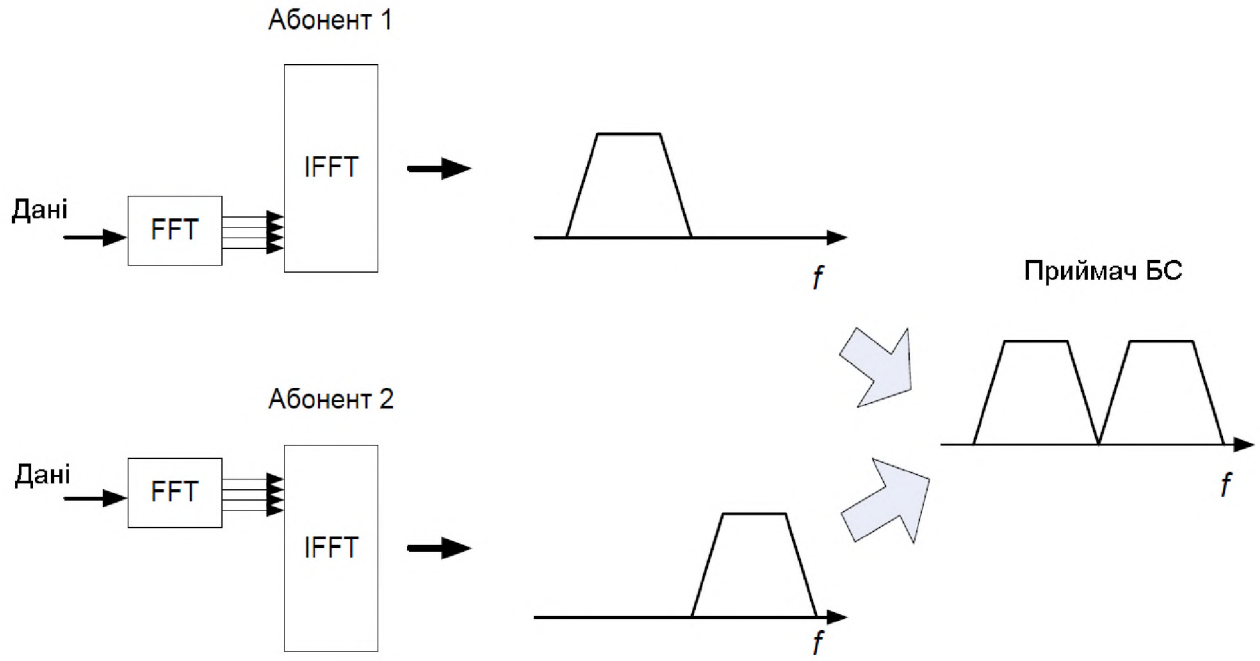

Рисунок 1.16 – Частотне рознесення сигналів різних абонентів

1.2 Висновок. Постановка задачі

Якщо узагальнити вищесказане, то можна зробити декілька висновків:

- наступним етапом розвитку світових телекомунікаційних технологій в галузі мобільного зв'язку є розробка і впровадження стандартів четвертого покоління 4G, що забезпечують ще більші швидкості передачі даних;

- мережі LTE є подальшим розвитком мереж UMTS третього покоління і служать основою для побудови мереж 4G;

- технологія LTE дозволяє вирішувати багато завдань сучасних телекомунікацій, які виникають у звязку з появою нових технічних розробок і винаходів: підтримку пакетного трафіку, мобільність з мінімальними затримками доставки пакетів і високими показниками якості обслуговування, бездротовий широкосмуговий доступ і т.д..

Але існує постійне зростання попиту користувача до високої швидкості передачі даних, тому метою даної кваліфікаційної роботи є знаходження рішення щодо зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв'язку в стільниковій системі довготермінової еволюції.

Для цього необхідно:

- проаналізувати існуючі методи та алгоритми сигналізації фізичного рівня у стільниковій системі довготермінової еволюції (LTE);
- дослідити існуючі методи зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв'язку;
- запропонувати методи і способи усунення недоліків або зменшення їх впливу на пропускну здатність каналів зв'язку даної системи;
- оцінити ефективність запропонованої методики.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Існуючі рішення

2.1.1 Основні фізичні низхідні канали

Для низхідних каналів використовується PDSCH, загальний для мобільних станцій, і низхідний канал управління LTE. Іншими словами, під низхідними каналами можуть розумітися PDSCH і низхідний канал управління LTE. Серед низхідних каналів спадний канал управління LTE використовується для передачі інформації про користувачів та/або про транспортні формати, що відносяться до низхідних загальних фізичних каналів, інформації підтвердження для висхідних загальних фізичних каналів і т.п. Низхідний загальний фізичний канал використовується для передачі даних користувача [21].

БС проводить оцінку якості каналу між користувачем і БС на основі індикаторів CQI, переданих терміналами, і відповідно до результатів виділяє користувачам ті або інші ресурсні блоки. Зрозуміло, що якщо користувачеві необхідно передавати дані на більш високій швидкості, то йому має бути виділено більшу кількість ресурсних блоків. Також, як і у випадку висхідного каналу, положення і параметри ресурсів, що виділяються користувачеві можуть змінюватися з плином часу (рисунок 2.1) [22].

Службові повідомлення про те, які ресурсні блоки призначаються даному користувачеві, передаються у фізичному низхідному управляючому каналі PDCCH. Дані каналу PDSCH можуть займати від трьох до шести OFDMA-символів у слоті залежно від конфігурації каналу PDSCH і від використовуваного циклічного префікса (нормальний або розширений). У кожному підкадрі дані каналу PDCCH можуть міститися тільки в першому слоті підкадру, в той час як другий слот підкадру містить тільки дані PDSCH.

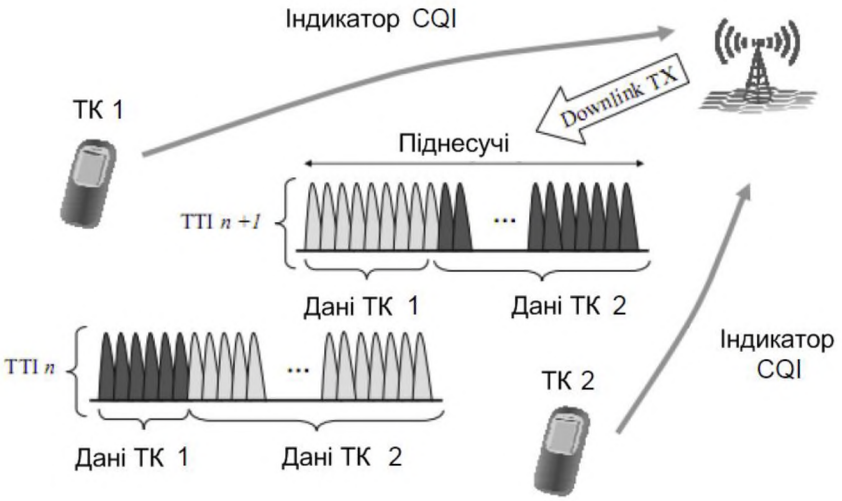

Рисунок 2.1 – Перерозподіл ЧЧР між користувачами

У прикладі, показаному на рисунку 2.2, в першому слоті підкадру каналу PDCCH виділено 3 OFDMA-символа, але в загальному випадку дані цього каналу можуть займати від одного до трьох OFDMA-символів.

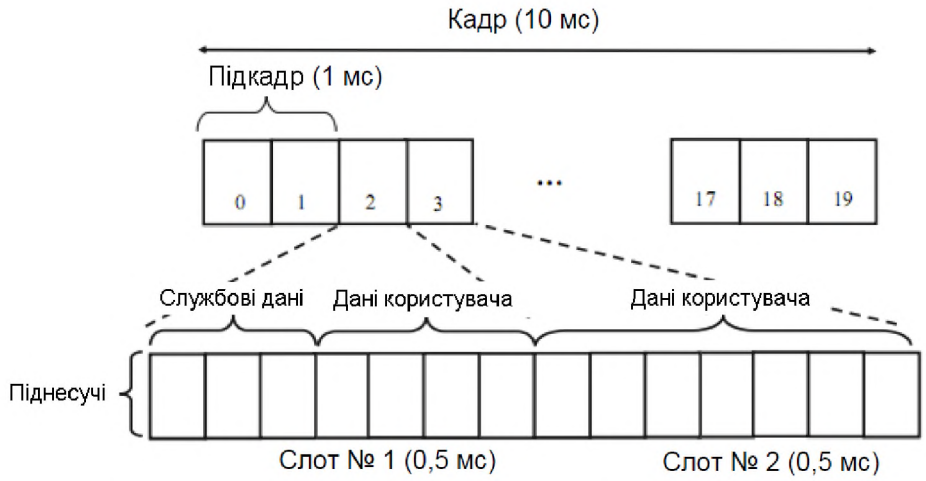

Рисунок 2.2 – Розміщення службових та даних користувача у підкадрі

У режимі роботи, при якому системі виділено діапазон частот шириною 1,4 МГц, в першому слоті підкадру радіосигналу каналу PDCCH може виділятися від двох до чотирьох OFDMA-символів.

Разом з даними каналів PDCCH і PDSCH в сигналі низхідного каналу необхідно розміщення пілотних сигналів і даних широкомовного каналу PBCH (Physical Broadcast Channel). Для більш ефективної оцінки передавальної характеристики каналу символи пілотної послідовності розподіляються

рівномірно по ЧЧР підкадру, як по частотному діапазону, так і в часі (за OFDMA-символам). Приклад розподілу пілотних символів по ЧЧР підкадру показаний на рисунку 2.3.

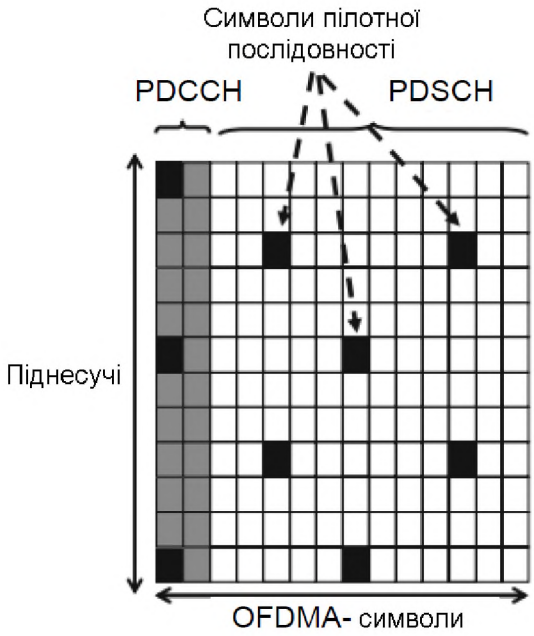

Рисунок 2.3 – Приклад розподілу пілотних символів у під кадрі

2.1.2 Основні фізичні висхідні канали

Для висхідних каналів PUSCH, загальний для мобільних станцій, і висхідний канал управління LTE. Іншими словами, під висхідними каналами можуть розумітися канал PUSCH і висхідний канал управління LTE. Висхідний канал управління включає два типи каналів: канал, мультиплексований з PUSCH з використанням часового мультиплексування, і канал, мультиплексований з PUSCH з використанням частотного мультиплексування [21, 22].

У висхідному фізичному спільному каналі PUSCH передаються сигнали управління рівнів L1/L2 разом з передачею даних користувача у висхідному напрямку. Передача сигналів управління проводиться на виділених частотно-часових ресурсах підкадру висхідного сигналу. Користувальницькі і службові дані – A/N, індикатори якості CQI, індикатори класу RI (Rank Indicator), індикатори матриці попереднього кодування PMI (Precoding Matrix Indicator)

проходять процедури кодування і модуляції, причому ці процедури різні для кожного виду даних, потім здійснюється процедура їх мультиплексування в блок SC-FDMA-символів.

Співвідношення інформаційних і службових символів може бути різним і змінюватися при переході до наступного підкадру. Однак мультиплексування службових даних і користувальницького трафіку завжди здійснюється таким чином, щоб службові дані були представлені в обох слотах підкадру.

У кожному слоті може виділятися не більш двох SC-FDMA-символів для даних A/N. Такі ж вимоги пред'являються і до даних індикатора класу RI, символи якого розташовуються поруч з символами A/N. Індикатори матриці попереднього кодування PMI та індикатори якості каналу CQI розміщуються за всіма доступними SC-FDMA-символам і на початку символів (рисунок 2.4).

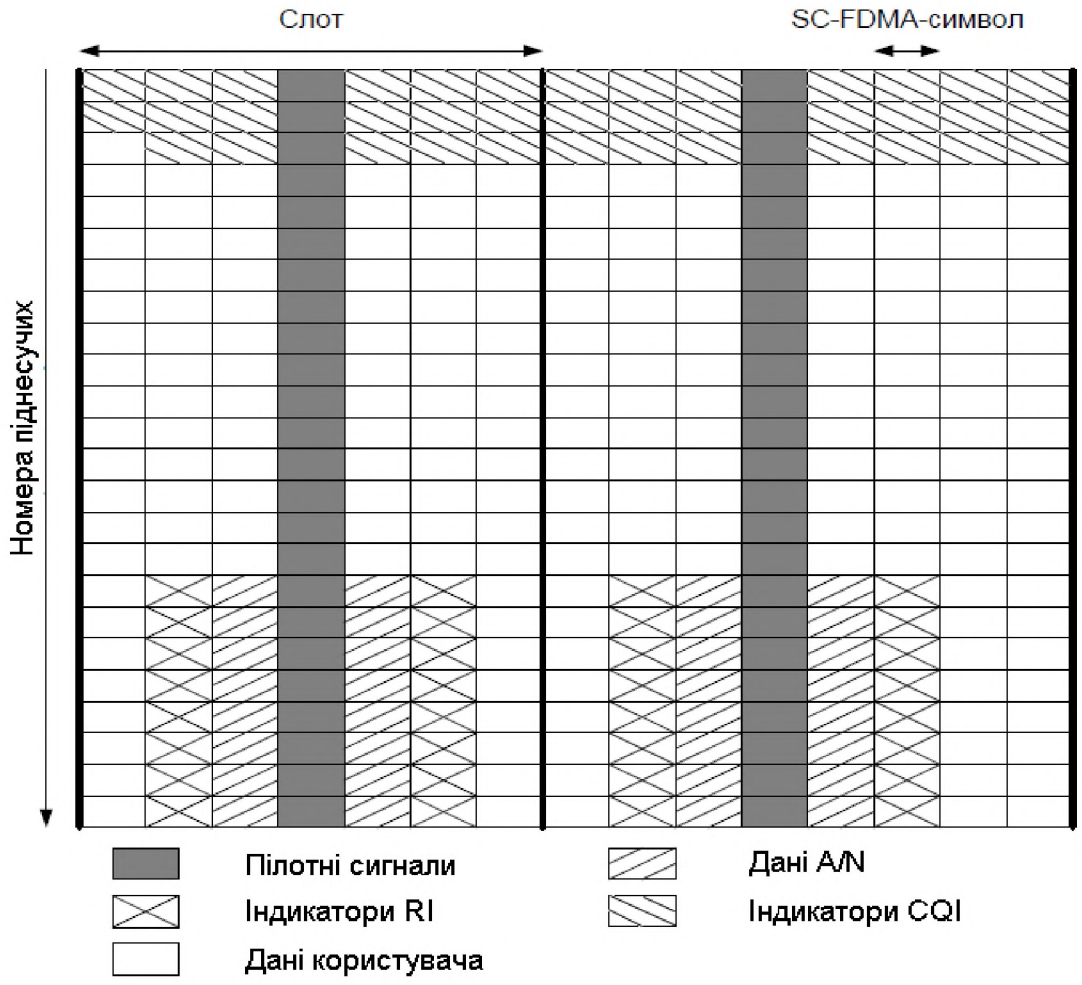

Рисунок 2.4 – Приклад розподілу ресурсів між призначеними для користувача і службовими даними

2.1.3 Пілотні сигнали висхідних каналів

Крім службових даних і даних користувача у висхідному напрямку необхідно передавати заздалегідь відомі БС послідовності інформаційних символів для забезпечення умов когерентного прийому сигналів. В системі UMTS це реалізовувалося передачею пілотних символів у фізичному виділеному висхідному управляючому каналі PDCCH. В системі LTE пілотні сигнали передаються у фізичному висхідному управляючому каналі PUCCH і у фізичному висхідному спільному каналі PUSCH в якості так званих демодулюючих пілотних сигналів (Demodulation Reference Signals, DMRS), також можлива передача SRS [23].

Комплексні послідовності, що використовуються в якості пілотних символів, повинні відповідати таким властивостям:

- послідовності повинні мати хороші автокореляційні і взаємокореляційні властивості;

- кількість можливих пілотних послідовностей має бути достатнім для розподілу серед абонентів, що працюють як в одній соті, так і в сусідніх;

- спектр пілотного сигналу повинен бути, по можливості, широким і рівномірним для спрощення оцінки частотної характеристики радіоканалу.

На рисунку 2.5 показано сімейство функцій взаємної кореляції пілотних послідовностей, що належать одній групі, тобто отриманих на основі однієї і тієї ж базової послідовності, але з різними циклічними зсувами.

Індекси k, l функції взаємної кореляції показують циклічні зсуви n_{cs} базової пілотної послідовності. Як видно з рисунка 2.5, в разі нерівних зрушень ($n_{cs1} \neq n_{cs2}$) функція взаємної кореляції має нульове значення при нульовому зсуві, тобто такі послідовності являються ортогональними[24].

Демодулюючі пілотні сигнали, як уже говорилося, необхідні для оцінки передавальної характеристики каналу, а також для реалізації когерентного прийому. Такий пілотний сигнал повинен займати в частотний області весь діапазон, доступний даному абоненту для передачі сигналу висхідного каналу. У кожному слоті каналу PUSCH може розміщуватися лише один

демодулюючий пілотний сигнал, а у слоті каналу PUCCH їх може бути 2 або 3 – це залежить від формату PUCCH. У слоті спільного каналу PUSCH пілотний сигнал DMRS займає 4 SC-FDMA символа, а довжина пілотної послідовності завжди відповідає кількості виділених користувачеві піднесучих.

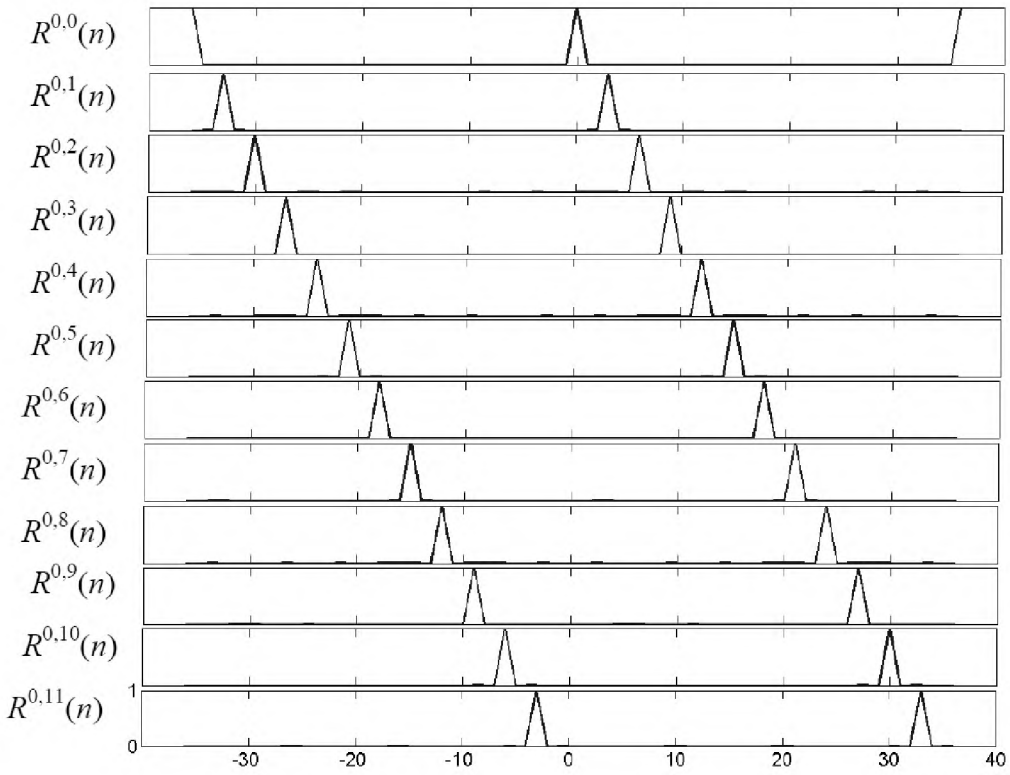

Рисунок 2.5 – Сімейство функцій взаємної кореляції пілотних послідовностей однієї групи

Різні абоненти, що знаходяться в обслуговуванні однієї БС, повинні використовувати різні циклічні зсуви демодулюючої пілотної послідовності, а сусідні соти, як правило, повинні використовувати різні групи пілотних послідовностей для правильного поділу сигналів абонентів. Пілотні послідовності, що належать різним групам, володіють хорошими взаємними кореляційними властивостями.

SRS необхідні для оцінки якості каналу базовою станцією у всій смузі частот висхідного каналу, навіть якщо передача каналу PUSCH займає не весь виділений частотний діапазон або зовсім відсутній. БС приймає сигнал SRS, проводить оцінку якості каналу і використовує інформацію про якість каналу

для оптимального рішення про виділення частотного ресурсу абоненту. Сигнал SRS завжди розміщується в останньому SC-FDMA-символі підкадру, як показано на рисунку 2.6.

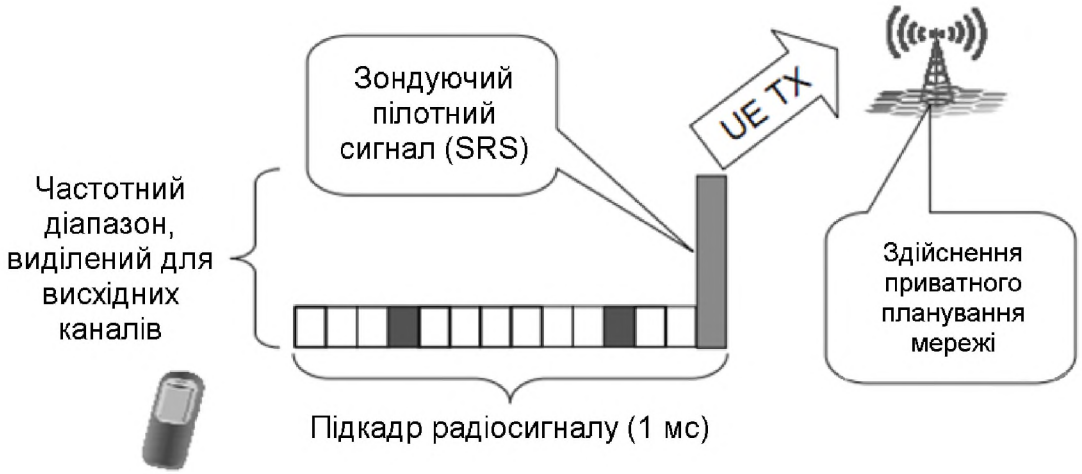

Рисунок 2.6 – Передача зондуючого пілотного сигналу

При передачі сигналу SRS використовується режим розподіленої по символу передачі, при якому символи пілотної послідовності поміщаються на кожну другу піднесучу SC-FDMA-символу. Для зондуючого сигналу використовуються такі ж пілотні послідовності, що і для демодулюючого пілотного сигналу. Довжина пілотної SRS-послідовності завжди кратна 24, таким чином, діапазон сигналу SRS завжди кратний діапазону чотирьох ресурсних блоків.

2.1.4 Фізичний канал випадкового доступу

Передача сигналу каналу випадкового доступу RACH може здійснюватися в довільний момент часу, на відміну від сигналів фізичних каналів розглянутих вище. Передача даних по цьому каналу неможлива до виконання процедури синхронізації з БС. Більше того, відстань до БС залишається невідомою величиною навіть після синхронізації, тому сигнал каналу RACH може приходити від різних ТК з різними значеннями часової затримки, яка оцінюється на БС за сигналом каналу RACH [25].

У системах LTE, що працюють у режимі FDD і використовують

структуру кадру типу 1, передача по каналу RACH може здійснюватися тільки один раз протягом часового інтервалу, відповідного одному підкадру радіосигналу. Частота, з якою може використовуватися даний канал, залежить від завантаженості мережі і від потреб користувача. Передача може здійснюватися з частотою проходження підкадрів або один раз на 20 мс. Передача каналом випадкового доступу завжди являє собою преамбулу і циклічний префікс. Можливі структури преамбул показані на рисунку 2.7.

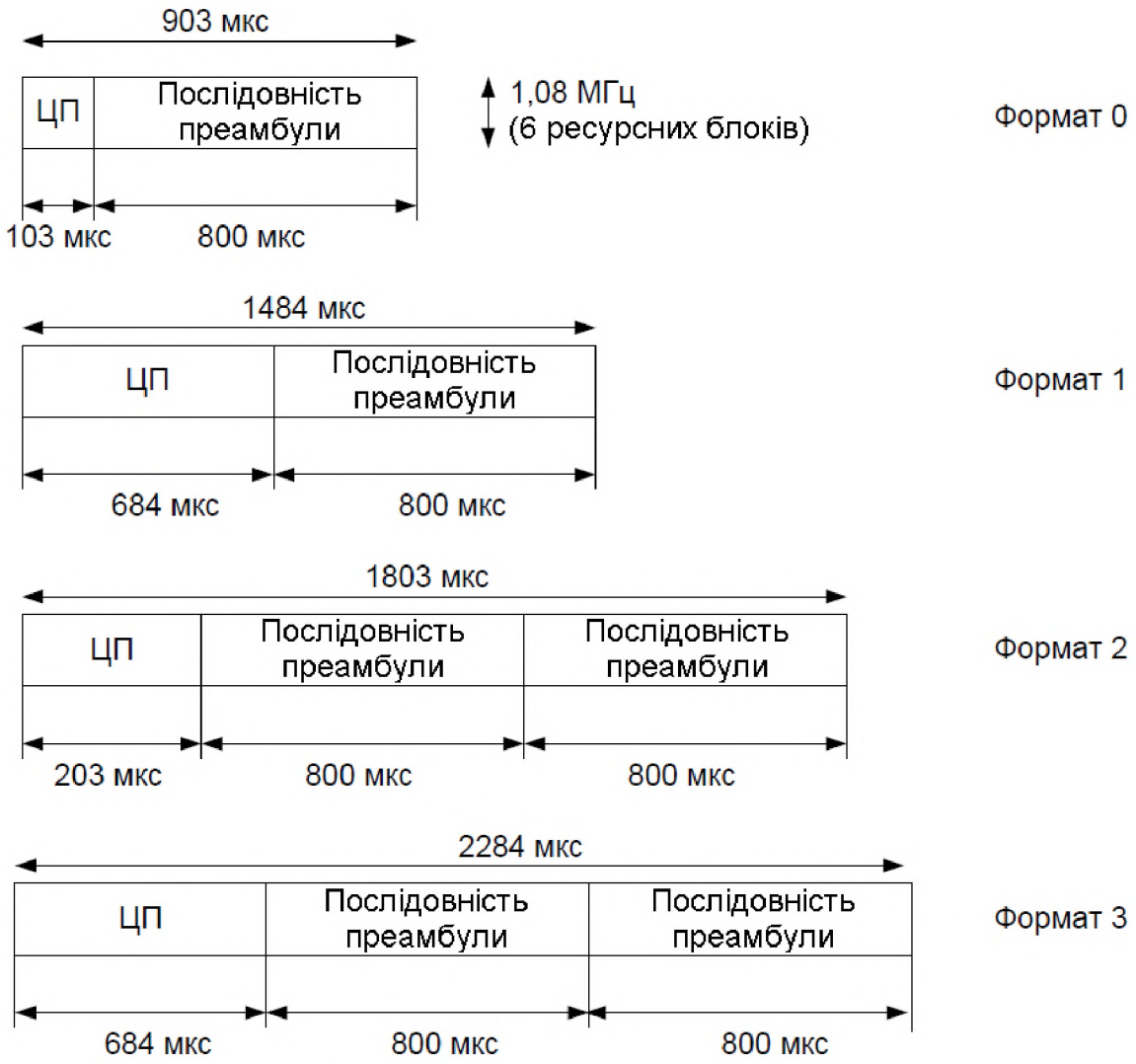

Рисунок 2.7 – Формати преамбули каналу RACH (режим FDD)

Формати преамбули 1, 3, які мають велику тривалість циклічного префікса, можуть використовуватися в сотах, обслуговуючих великі території, де затримка поширення сигналу між ТК і БС може приймати великі значення

(радіус соти в системі LTE може досягати 100 км, при цьому затримка поширення сигналу складе близько 333 мкс). Формати преамбул з повторюваними послідовностями можуть використовуватися в умовах роботи з великими втратами під час розповсюдження. У кожній соті можливе формування 64 послідовностей преамбули, які можуть бути розподілені між абонентами. Передача даних по каналу RACH завжди займає смугу частот шириною 1,08 МГц, що відповідає шести ресурсним блокам.

В якості послідовностей преамбули використовуються послідовності Задова-Чу довжиною 839 елементів. Автокореляційні властивості цих послідовностей дозволяють точно виявляти сигнал каналу RACH і оцінювати затримку його поширення. В одній соті використовується одна послідовність Задова-Чу з 64 можливими значеннями циклічного зсуву. Дана умова виключає ситуацію, при якій затриману на час поширення сигналу від ТК до БС преамбулу можливо сплутати з преамбулою іншого користувача (рисунок 2.8).

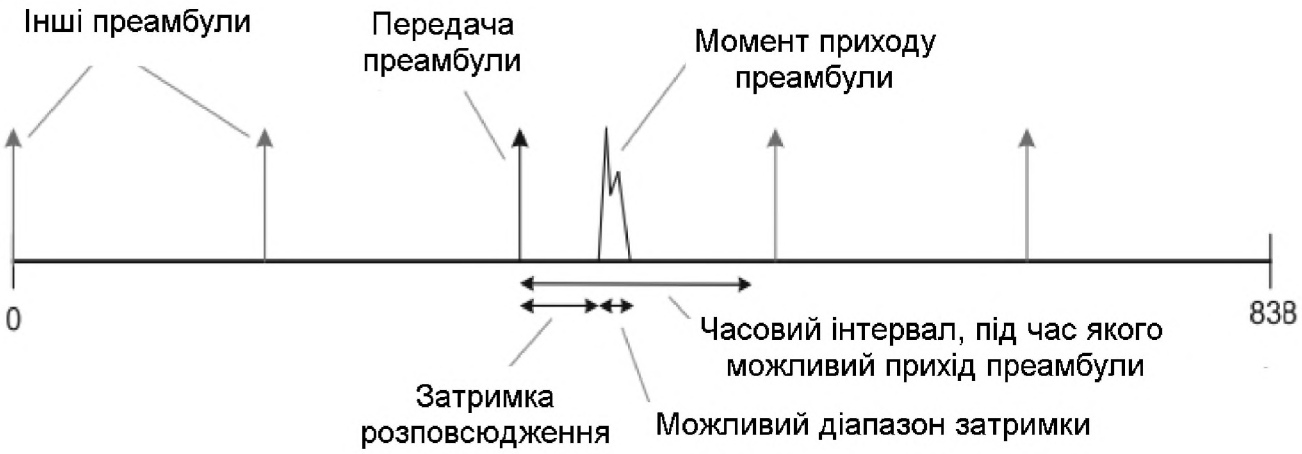

Рисунок 2.8 – Умова коректної оцінки моменту приходу преамбули сигналу RACH

2.2 Принцип роботи системи

В системі LTE базова станція управляє моментами часу прийому сигналів, прийнятих у висхідних каналах (каналах висхідної лінії зв'язку) від мобільних станцій, що одночасно звертаються, таким чином, щоб моменти часу

прийому знаходилися в межах тривалості ЦП (або захисний інтервал). Крім того, для забезпечення ортогональності серед мобільних станцій базова станція управляє моментами часу передачі мобільних станцій за допомогою низхідної сигналізації (сигналізації в низхідній лінії зв'язку) [26].

Якщо мобільна станція знаходиться на зв'язку з базовою станцією, то базова станція може управляти моментом часу передачі на підставі моменту часу прийому пілотного сигналу, що передається з мобільної станції. З іншого боку, коли мобільна станція намагається встановити зв'язок з базовою станцією, базова станція може управляти моментом часу передачі на підставі моменту часу прийому каналу RACH, який передається з мобільної станції.

Для зазначеної вище низхідної сигналізації величину підстроювання моменту часу передачі для мобільної станції можна визначити за формулою (2.1).

$$P = e \times k, \tag{2.1}$$

де $k=-K_1, -K_1+1, \ldots, -1,0,1, \ldots, K_2-1, K_2$;

P – величина підстроювання;

e – мінімальна одиниця величини підстроювання.

Тут величини від $-K_1$ до K_2 відповідають діапазону значень величини підстроювання моменту часу передачі, і чим цей діапазон ширше, тим більша кількість бітів потрібна для низхідної сигналізації.

Цей рівень техніки має ряд недоліків, які викладені нижче.

2.3 Недоліки системи

Описана вище система може знаходитися в двох станах:

- у стані встановлення зв'язку або у стані, по суті аналогічному стану встановлення зв'язку, внаслідок порушення зв'язку після його встановлення (які далі спільно іменуються «станом встановлення зв'язку»);

- у стані під час зв'язку.

Якщо окремо розглянути другий випадок, то можна зрозуміти, що навіть під час руху мобільної станції момент часу її передачі не може сильно відхилитися від належного моменту часу передачі під час зв'язку. З цього випливає, що для управління моментом часу передачі, в даному випадку, можна використовувати менший діапазон значень величини підстроювання [26].

Так як для обох станів використовується один і той же діапазон значень величини підстроювання моментів часу передачі, то має місце розгляд двох випадків. Якщо використовується великий діапазон значень величини підстроювання, відповідний стану встановлення зв'язку, то для передачі його значень за допомогою низхідної сигналізації може знадобитися велика кількість бітів, що призводить до збільшення непродуктивних витрат на сигналізацію і відповідно до зменшення величини пропускної здатності. Навпаки, якщо використовується малий діапазон значень величини підстроювання, відповідний стану здійснення зв'язку, то належне управління моментом часу передачі в стані встановлення зв'язку може не виконатися.

2.4 Запропоноване рішення

Стає можливою реалізація БС, системи мобільного зв'язку, мобільної станції і способу управління зв'язком для належного управління моментом часу передачі під час висхідної передачі (передачі у висхідній лінії зв'язку) зі зниженням витрат на сигналізацію шляхом визначення різних діапазонів значень величини підстроювання моменту часу передачі для стану встановлення зв'язку і стану під час зв'язку [26].

Для цього БС повинна включати в себе модуль установки діапазону значень величини підстроювання, виконаний з можливістю установки величини підстроювання для підстроювання моменту часу передачі висхідного сигналу в різних діапазонах значень залежно від типу каналу, переданого мобільною станцією. У свою чергу мобільна станція повинна включати в себе модуль установки діапазону, виконаний з можливістю установки величини підстроювання для підстроювання моменту часу передачі висхідного сигналу в

різних діапазонах значень залежно від величини підстроювання моменту часу, що вказує БС у низхідному сигналі управління.

У результаті здійснення запропонованого алгоритму БС, система мобільного зв'язку, мобільна станція і спосіб управління зв'язком здатні належним чином управляти моментом часу передачі під час висхідної передачі зі зниженням службових витрат на сигналізацію шляхом визначення різних діапазонів значень величини підстроювання моменту часу передачі для стану встановлення зв'язку і для стану під час зв'язку.

Розглянемо систему радіозв'язку з точки зору базової станції (рисунок 2.9). Система 1000 радіозв'язку являє собою систему, в якій може застосовуватися, наприклад, Evolved UTRA і UTRAN, які також можуть іменуватися «Long Term Evolution» або «Super 3G». Система 1000 радіозв'язку включає в себе БС 200, безліч мобільних станцій 100_n (100_1, 100_2, 100_3, ... , 100_n, де n – ціле позитивне), що здійснюють поточний зв'язок з базовою станцією 200, і безліч мобільних станцій 110_m (110_1, 110_2, 110_3, ... , 110_m, де m – ціле позитивне), що знаходяться в стані спроби встановлення зв'язку з БС 200 або у стані, по суті аналогічному стану встановлення зв'язку внаслідок порушення зв'язку. БС 200 з'єднана зі станцією старшого рівня, такою як шлюз 300 доступу, яка, у свою чергу, з'єднана з базовою мережею 400 [27].

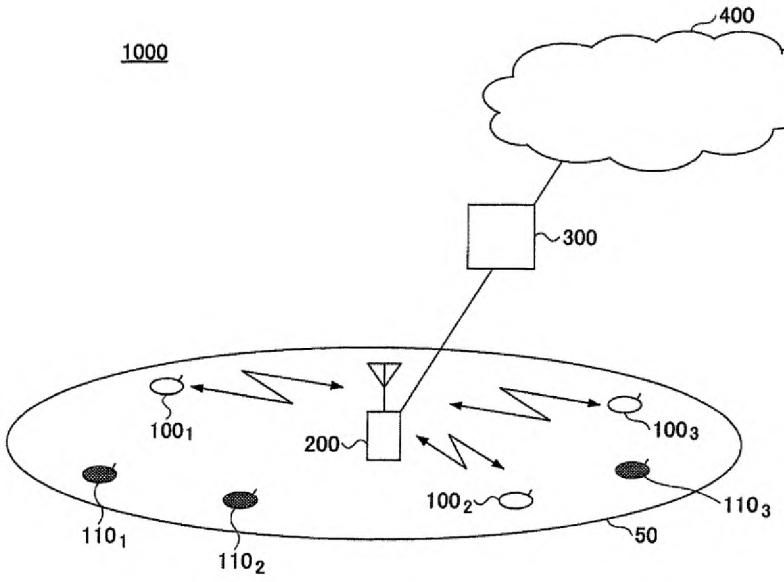

Рисунок 2.9 – Приклад реалізації системи радіозв'язку

У даному варіанті здійснення мобільні станції 100_n перебувають на зв'язку з БС 200 в соті 50, що використовує Evolved UTRA і UTRAN. Можна очікувати, що висхідні сигнали, які передаються з мобільних станцій 100_n, опиняться в межах часового вікна прийому БС 200 або поблизу часового вікна прийому. БС 200 вимірює моменти часу прийому висхідних сигналів з мобільних станцій 100_n, таких як опорні сигнали для зондування і сигнали повідомлення CQI. Якщо моменти часу прийому змінюються через зміну умов розповсюдження та/або пересування мобільних станцій 100_n, БС 200 обчислює величину підстроювання для моменту часу передачі висхідних сигналів з мобільних станцій 100_n для забезпечення належних моментів часу прийому і передає обчислену величину підстроювання в мобільні станції 100_n в якості інформації управління фізичного рівня або інформації управління рівня MAC.

З іншого боку, мобільні станції 110_m, розташовані в соті 50, що використовує Evolved UTRA і UTRAN, перебувають у стані спроби встановлення зв'язку з БС 200 або у стані, по суті аналогічному стану встановлення зв'язку внаслідок порушення зв'язку. Таким чином, не можна передбачити, чи потраплять висхідні сигнали, що передаються з мобільних станцій 110_m, в межі часового вікна прийому БС 200, або ж значною мірою вийдуть за межі часового вікна прийому. У цьому випадку мобільні станції 110_m передають канал довільного доступу RACH перед початком або закінченням сеансів зв'язку. БС 200 обчислює оптимальні моменти часу передачі для мобільних станцій 110_m і величини підстроювання моментів часу передачі каналу RACH з мобільних станцій 110_m на підставі моментів часу прийому каналу RACH і передає величини підстроювання в мобільні станції 110_m в якості інформаційних елементів у відгуках на канал RACH. У даному варіанті здійснення часове вікно прийому БС 200 визначається довжиною ЦП і часом виконання ШПФ.

Далі з посиланням на рисунок 2.10 описана БС 200 відповідно до одного з варіантів реалізації кваліфікаційної роботи.

У даному варіанті реалізації БС 200 включає в себе приймально-передавальну антену 202, підсилюючий модуль 204, приймально-передавальний модуль 206, модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот, модуль 210 обробки виклику і інтерфейс 212 каналу.

Пакетні дані для передачі в низхідному каналі з БС 200 в мобільну станцію 100_n надходять зі станції старшого по відношенню до БС 200 рівня, такої як шлюз 300 доступу, через інтерфейс 212 каналу в модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот.

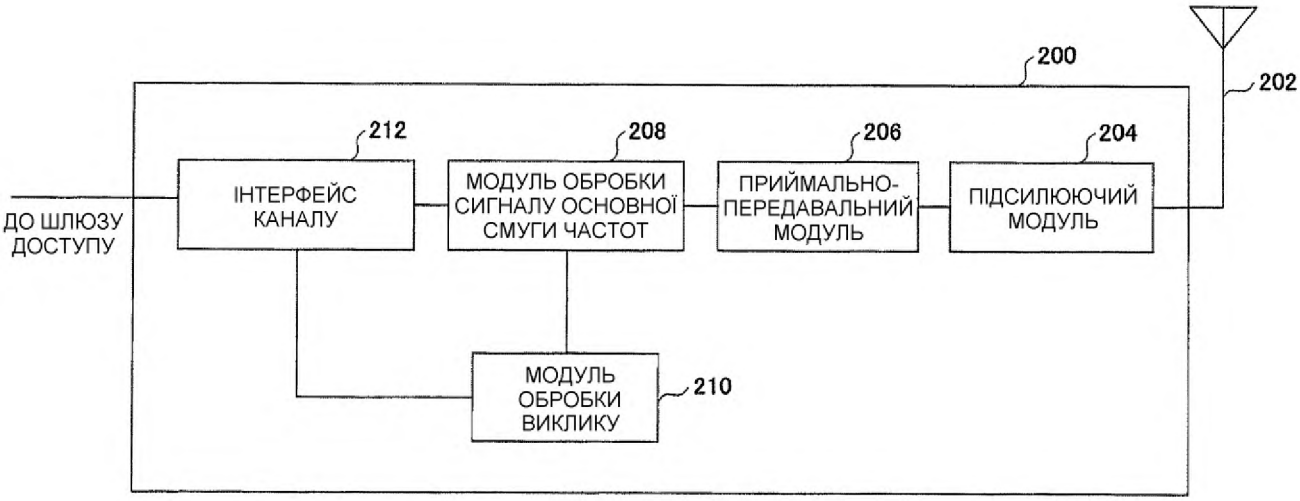

Рисунок 2.10 – Неповна блок-схема базової станції

Модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот виконує різні дії, включаючи сегментування і з'єднання пакетних даних, дії щодо передачі на рівні RLC, дії з передачі, пов'язані з управлінням повторною передачею на рівні RLC, управління повторною передачею на рівні MAC, дії з передачі HARQ, планування, вибір формату передачі, канальне кодування і ЗШПФ, і передає результуючі дані в приймально-передавальний модуль 206.

Приймально-передавальний модуль 206 виконує перетворення частоти для перетворення сигналу основної смуги частот, що надходить з модуля 208 обробки сигналу основної смуги частот, в радіочастотний сигнал. Потім приймально-передавальний модуль 206 передає радіочастотний сигнал,

посилений підсилюючим модулем 204, через приймально-передавальну антену 202.

З іншого боку, для даних, що передаються з мобільних станцій 100_n і 110_m в БС 200 за допомогою висхідних каналів, підсилюючий модуль 204 посилює радіочастотний сигнал, що приймається приймально-передавальною антеною 202. Приймально-передавальний модуль 206 виконує частотне перетворення результуючого радіочастотного сигналу в сигнал основної смуги частот і подає цей сигнал в модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот.

Модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот виконує різні дії відносно вхідного сигналу основної смуги частот, включаючи ШПФ, декодування з виправленням помилок, дії з прийому, пов'язані з управлінням повторною передачею на рівні MAC, і дії щодо прийому на рівні RLC і подає результуючі сигнали до шлюзу 300 доступу через інтерфейс 212 каналу.

Модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот також вимірює момент часу прийому висхідного сигналу, що передається з мобільної станції 100_n, обчислює величину підстроювання для підстроювання моменту часу передачі мобільної станції 100_n, щоб забезпечити попадання висхідного сигналу в часове вікно прийому БС 200, і повідомляє мобільній станції 100_n цю величину підстроювання. Слід зауважити, що часове вікно прийому БС 200 визначається часом ШПФ і довжиною ЦП.

Крім того, модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот обчислює оптимальний момент часу передачі для мобільної станції 110_m і величину підстроювання моменту часу передачі каналу RACH, який передається з мобільної станції 110_m, на підставі моменту часу прийому каналу RACH, і повідомляє мобільній станції 110_m цю величину підстроювання.

Модуль 210 обробки виклику виконує управління станом і/або виділенням ресурсів БС 200.

Далі з посиланням на рисунок 2.11 описана конструкція модуля 208 обробки сигналу основної смуги частот.

Модуль 208 обробки сигналу основної смуги частот включає в себе модуль 2081 обробки рівня 1, модуль 2082 обробки рівня MAC, модуль 2083 обробки рівня RLC і модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі.

Модуль 2081 обробки рівня 1 виконує канальне кодування та/або ЗШПФ даних, що передаються у низхідних каналах та/або канальне декодування та/або ШПФ даних, що передаються у висхідних каналах. Модуль 2081 обробки рівня 1 також вимірює момент часу прийому сигналу, що передається з мобільної станції 100_n, і повідомляє модулю 2084 управління моментом часу висхідної передачі інформацію про стан моменту часу прийому, що вказує положення моменту часу прийому в межах часового вікна прийому. Опорний момент часу висхідного прийому (прийому у висхідній лінії зв'язку) (далі опорний час ШПФ) заздалегідь визначається для моменту часу низхідної передачі в модулі 2081 обробки рівня 1, наприклад, на підставі радіуса соти.

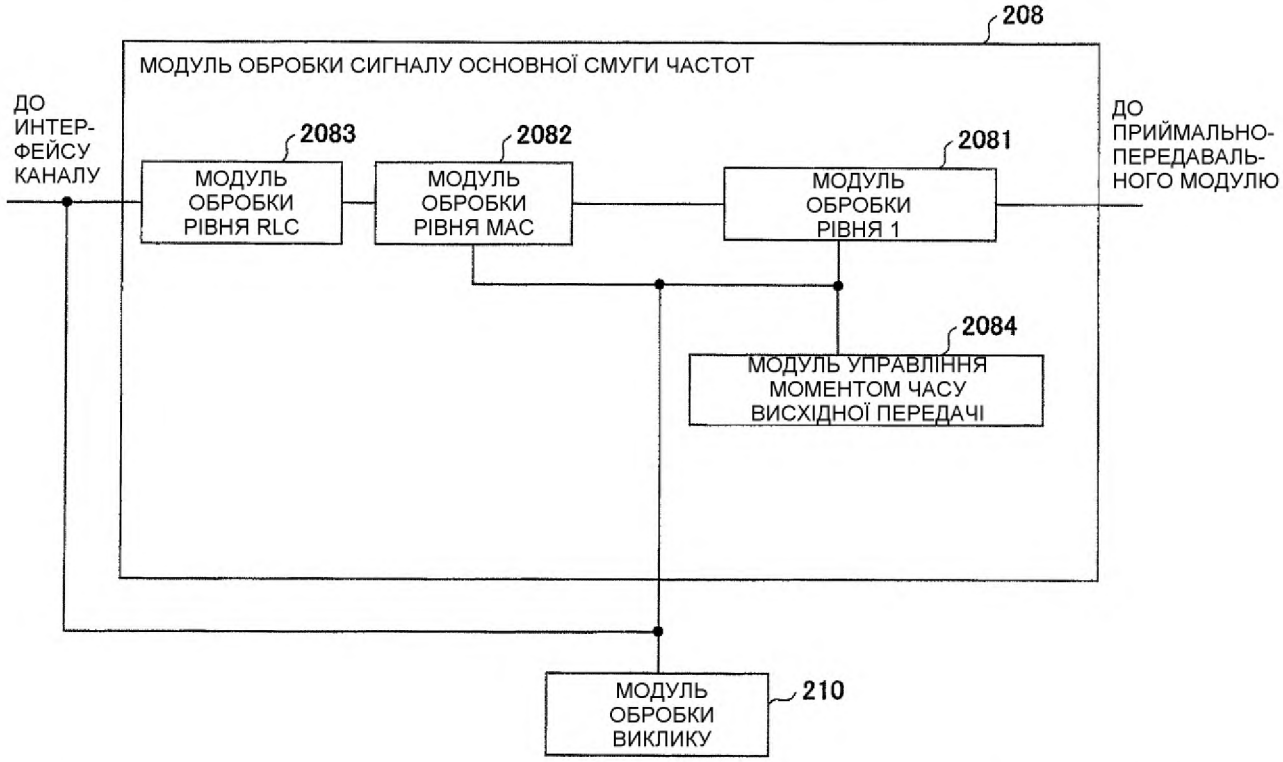

Рисунок 2.11 – Блок-схема модуля обробки сигналу основної смуги частот

Наприклад, модуль 2081 обробки рівня 1 може використовувати висхідні

опорні сигнали, такі як опорні сигнали зондування, для визначення моментів часу прийому сигналів відповідних мобільних станцій 100_n. В результаті моменти часу прийому мобільних станцій 100_1-100_5 можуть визначатися, як показано на рисунку 1.12. На ньому показана початкова (головна) частина підкадрів. Незважаючи на те, що рисунок 2.12 ілюструє випадок однопроменевого прийому, необхідно, щоб при багатопроменевому прийомі враховувалися всі промені з відносно високою потужністю, що опиняються в межах часового вікна прийому.

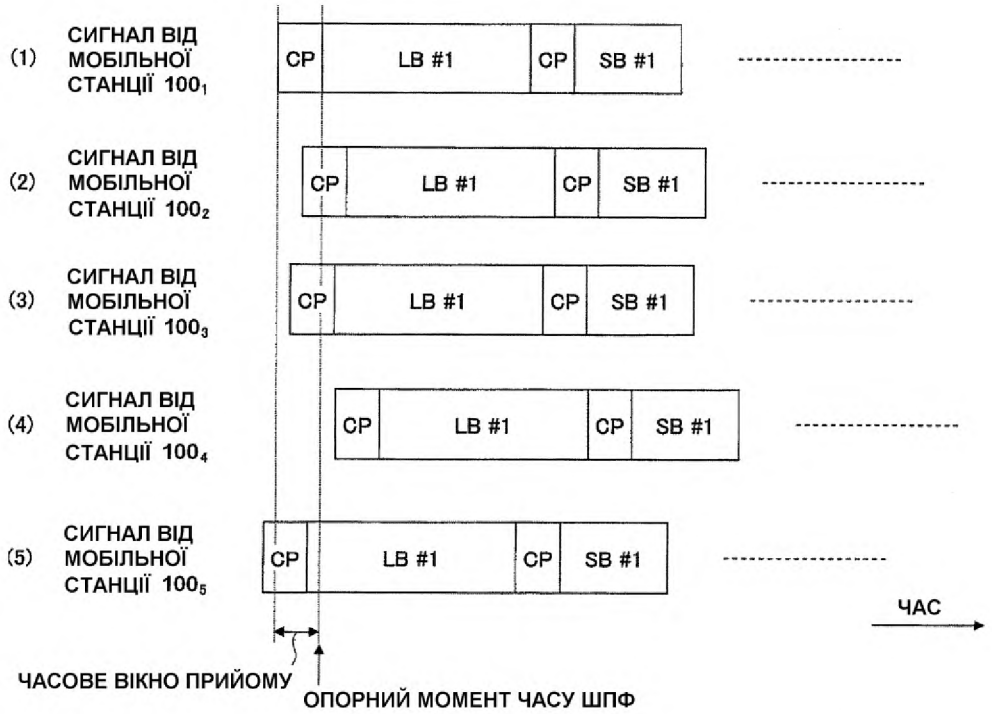

Рисунок 2.12 – Ілюстрація моментів часу прийому

Модуль 2081 обробки рівня 1 обчислює різницю між опорним часом ШПФ і оптимальним моментом часу прийому для кожної мобільної станції (який далі може іменуватися оптимальним часом ШПФ), наприклад оптимальний час ШПФ мінус опорний час ШПФ для кожної мобільної станції, і передає обчислену різницю в якості інформації про стан моменту часу прийому в модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі. Як показано вище, для визначення моменту часу прийому кожної мобільної станції може використовуватися висхідний опорний сигнал зондування. В іншому випадку,

за умови поліпшення деяких характеристик, можуть використовуватися CQI, канали зворотного зв'язку або опорні сигнали демодуляції.

Крім того, модуль 2081 обробки рівня 1 вимірює момент часу прийому каналу RACH, який передається з мобільної станції 110_m, і передає в модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі інформацію про стан моменту часу прийому, що вказує положення моменту часу прийому в межах часового вікна прийому. Опорні моменти часу висхідного прийому (опорний час ШПФ) мобільної станції 110_m і мобільної станції 100_n однакові.

Модуль 2081 обробки рівня 1 обчислює різницю між опорним часом ШПФ і оптимальним моментом часу прийому для кожної мобільної станції, що визначаються на підставі моментів часу прийому каналу RACH, наприклад оптимальний час ШПФ для кожної мобільної станції мінус опорний час ШПФ, і передає обчислену різницю в якості інформації про становище моменту часу прийому в модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі.

Модуль 2082 обробки рівня MAC служить для здійснення передачі під час управління повторною передачею низхідних даних на рівні MAC, таких як HARQ, виконує планування або вибирає формати передачі. Модуль 2082 обробки рівня MAC також виконує прийом під час управління повторною передачею висхідних даних на рівні MAC і т.п.

Модуль 2083 обробки рівня RLC здійснює передачу низхідних пакетних даних на рівнях RLC, наприклад сегментування і конкатенацію, або передачу під час управління повторною передачею рівня RLC та/або здійснює прийом висхідних даних на рівнях RLC, наприклад сегментування і конкатенацію, або прийом при управлінні повторною передачею рівня RLC.

Модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі передає сигнал управління моментом часу висхідної передачі, такий як часове випередження (ЧВ), в кожну мобільну станцію 100_n через модуль 2082 обробки рівня MAC або модуль 2081 обробки рівня 1 для підстроювання моментів часу прийому мобільної станції 100_n на підставі інформації про стан моменту часу прийому мобільної станції 100_n, що передається з модуля 2081 обробки рівня 1,

якщо це необхідно. Теж саме модуль 2084 виконує і для мобільних станцій 110_m, тільки на підставі інформації про становище моменту часу прийому каналу RACH, який передається з мобільних станцій 110_m. Іншими словами, модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі визначає момент часу передачі так, щоб покрити в межах довжини ЦП моменти часу прийому багатопроменевих сигналів, що одночасно приймаються в точках прийому БС 200 від великої кількості мобільних станцій 100_n та 110_m. Модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі через модуль 2082 обробки рівня MAC або модуль 2081 обробки рівня 1 передає в мобільну станцію 100_n (110_m) величину підстроювання моменту часу передачі для виконання підстроювання мобільною станцією 100_n (110_m) з метою досягнення вищезазначеного моменту часу передачі в якості сигналу управління моментом часу висхідної передачі. Наприклад, в даному варіанті здійснення величина підстроювання моменту часу передачі може бути отримана різницею опорного часу ШПФ та оптимального часу ШПФ для кожної мобільної станції. Іншими словами, величина підстроювання може обчислюватися так, щоб різниця між оптимальним часом ШПФ для кожної мобільної станції і опорним часом ШПФ дорівнювала нулю.

У даному варіанті здійснення модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі визначає величину підстроювання моменту часу передачі для підстроювання мобільною станцією за формулою 2.1. Модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі передає в мобільну станцію значення k в якості сигналу управління моментом часу висхідної передачі. У даному варіанті здійснення діапазон значень від - K_1 до K_2 відповідає діапазону значень величини підстроювання моментів часу передачі.

Оскільки БС 200 вже встановила зв'язок з мобільною станцією 100_n і передбачається, що висхідні сигнали, що передаються з мобільної станції 100_n, знаходяться в межах або поблизу часового вікна прийому БС 200, то модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі встановлює малі значення K_1 і K_2. Кожна мобільна станція 100_n управляє моментом часу передачі на

підставі сигналу управління моментом часу висхідної передачі, який передається з БС 200, в результаті чого моменти часу прийому висхідних сигналів, що передаються з мобільних станцій 100_n в точку прийому БС 200, знаходяться в межах довжини ЦП і таким чином зберігається ортогональность між мобільними станціями.

У випадку з мобільними станціями 110_m модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі встановлює великі значення K_1 і K_2, оскільки неможливо визначити, чи знаходиться мобільна станція 110_m в стані, коли мобільна станція 110_m намагається почати зв'язок або у стані, по суті аналогічному стану встановлення зв'язку внаслідок порушення зв'язку, і чи знаходяться висхідні сигнали, що передаються з мобільної станції 110_m, в межах або виходять за межі часового вікна прийому БС 200.

Слід зауважити, що і БС 200 і мобільні станції повинні заздалегідь знати діапазон значень величини підстроювання моментів часу передачі, переданої в мобільну станцію 100_n, тобто діапазон значень ЧВ під час зв'язку, а також діапазон значень величини підстроювання моментів часу передачі, переданої в мобільну станцію 110_m, тобто діапазон значень ЧВ при встановленні зв'язку. Іншими словами, у системі 1000 радіозв'язку два діапазони значень ЧВ повинні бути визначені як фіксовані системні параметри .

Мобільні станції 100_n та 110_m влаштовані однаково, але позначаються порізному залежно від відповідного стану зв'язку з БС 200, під час зв'язку або за умови встановлення зв'язку. Далі з посиланням на рисунок 2.13 описана мобільна станція відповідно до одного з варіантів реалізації кваліфікаційної роботи.

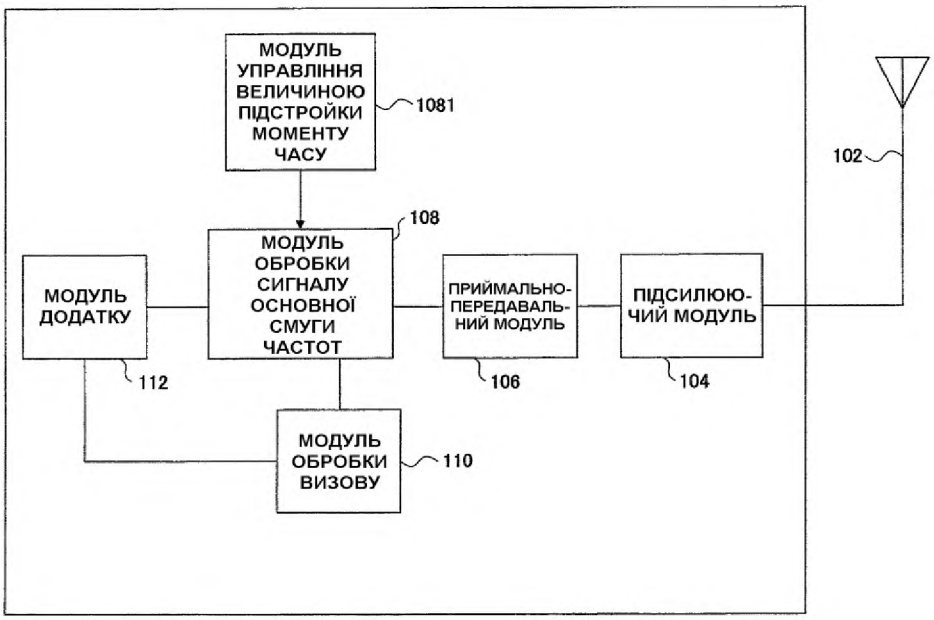

Рисунок 2.13 – Неповна блок-схема мобільної станції

Мобільна станція на рисунку 2.13 включає в себе приймально-передавальну антену 102, підсилюючий модуль 104, приймально-передавальний модуль 106, модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот, модуль 110 обробки виклику і модуль 112 додатку.

Радіочастотні сигнали низхідних даних приймаються приймально-передавальною антеною 102, посилюються підсилюючим модулем 104 і потім піддаються частотному перетворенню в сигнали основної смуги частот в приймально-передавальному модулі 106. Модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот виконує відносно сигналів основної смуги частот дії, що включають ШПФ, декодування з виправленням помилок і прийом, пов'язаний з управлінням повторною передачею, і потім результуючі сигнали направляються в модуль 112 додатку.

З іншого боку, висхідні пакетні дані надходять з модуля 112 додатку в модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот. Модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот виконує передачу висхідних пакетних даних, пов'язану з управлінням повторною передачею HARQ, вибір формату передачі, канальне кодування, дискретне перетворення Фур'є (ДПФ), ЗШПФ і т.п. і направляє результуючі сигнали в приймально-передавальний модуль 106.

Приймально-передавальний модуль 106 виконує частотне перетворення з метою перетворення сигналу основної смуги частот, що подається з модуля 108 обробки сигналу основної смуги частот, в радіочастотний сигнал, який посилюється підсилюючим модулем 104 і передається через приймально-передавальну антену 102.

Крім того, в мобільній станції 100_n, що здійснює в даний момент зв'язок з БС 200, модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот декодує ЧВ, передане у вигляді низхідних каналів як сигналів управління фізичного рівня або сигналів управління рівня MAC, і підлаштовує момент часу висхідної передачі на підставі результату декодування. В мобільній станції 110_m, яка знаходиться у спробі встановити зв'язок з БС 200, виконується теж саме, але ЧВ сповіщається у відгуках на канал RACH. У даному варіанті здійснення модуль 1081 управління величиною підстроювання моменту часу зберігає інформацію про мінімальне значення і діапазон значень ЧВ, що передається базовою станцією в якості сигналів управління, і передає мінімальне значення і діапазон в модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот. Потім модуль 108 обробки сигналу основної смуги частот підлаштовує момент часу передачі висхідних сигналів на основі мінімального значення і діапазону значень ЧВ, що передається базовою станцією в якості сигналів управління, і фактично прийнятого ЧВ. У даному варіанті здійснення мінімальне значення і діапазон значень ЧВ, що передаються базовою станцією в якості сигналів управління, аналогічні мінімальному значенню і діапазону значень ЧВ у модулі 2084 управління моментом часу висхідної передачі БС 200 і тому їх опис опущено.

Модуль 110 обробки виклику управляє зв'язком з БС 200. Модуль 112 додатку виконує дії, пов'язані з рівнями вище фізичного рівня або рівня MAC.

Вищевказана інформація про діапазон значень величини підстроювання моментів часу передачі, що передається в мобільну станцію 100_n, тобто інформація про діапазон значень ЧВ під час зв'язку, та інформація про діапазон значень величини підстроювання моментів часу передачі, передана в мобільну станцію 110_m, тобто інформація про діапазон значень ЧВ при встановленні

зв'язку, повинні бути ідентичні, і переважно визначаються в якості загальних системних параметрів або фіксованих величин.

Далі з посиланням на рисунок 2.14 описана змінена частина алгоритму управління передачею для БС 200 відповідно з даним варіантом реалізації кваліфікаційної роботи.

На кроці 1, коли модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі визначає сигнал управління моментом часу висхідної передачі, такий як ЧВ, для підстроювання моментів часу прийому мобільної станції модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі визначає, чи передає мобільна станція RACH в якості первинного каналу.

Якщо канал, переданий мобільною станцією, є каналом RACH, (гілка ТАК на кроці 1), то модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі призначає більший діапазон значень величини підстроювання для підстроювання моментів часу передачі. Наприклад, на кроці 3 модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі встановлює значення K_1 і K_2 як $K_1 = K_2 = = 1024$ (формула 2.1).

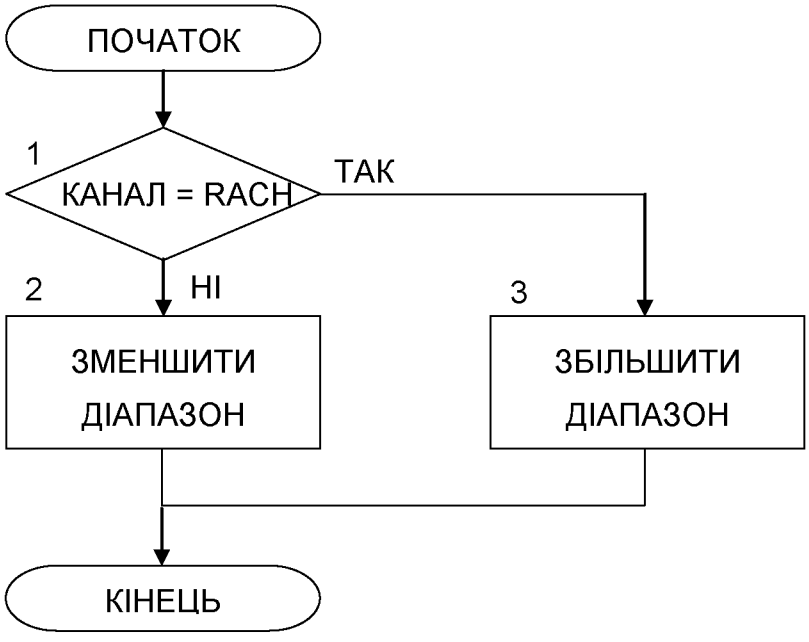

Рисунок 2.14 – Окрема функція синтезованого алгоритму

З іншого боку, якщо канал, переданий мобільною станцією, не є каналом RACH (гілка HI на кроці 1), тобто якщо цей канал є вторинним каналом, відмінним від каналу RACH, то модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі призначає менше значення величини підстроювання моменту часу передачі. Наприклад, на кроці 2 модуль 2084 управління моментом часу висхідної передачі встановлює значення K_1 і K_2 як $K_1 = K_2 = 8$ (формула 2.1).

Відповідно з варіантом здійснення даного винаходу, для стану при встановленні зв'язку або при втраті зв'язку й для стану під час зв'язку можна визначити різні оптимальні величини підстроювання моментів часу передачі. Завдяки цьому можуть бути реалізовані базова станція, система мобільного зв'язку і спосіб управління зв'язком, здатні мінімізувати витрати на сигналізацію, забезпечуючи при цьому належне управління моментом часу висхідної передачі.

2.5 Оцінка ефективності запропонованого рішення

Відомо, що в одному підкадрі закладено 20 біт службової інформації і це 9,5% від усього об’єму підкадру. 10 біт службової інформації займає значення ЧВ, так як діапазон значень підстроювання моменту часу передачі дорівнює від $-K_1$ до K_2, при $K_1 = K_2 = 1024 = 2^{10}$. Якщо для управління моментом часу висхідної передачі під час зв’язку використовувати діапазон значень підстроювання моменту часу передачі від $-K_1$ до K_2, при $K_1 = K_2 = 8 = 2^3$, то ми отримаємо зменшення об’єму службової інформації на 7 біт (на 35% від об’єму службової інформації). Отже, за рахунок зменшення кількості бітів необхідних для сигналізації ми збільшуємо об’єм корисної інформації підкадру (пропускну здатність) на 3,325%.

Програмний код синтезованого алгоритму управління каналами зв’язку в стільниковій системі довготермінової еволюції представлений у додатку Д.

2.6 Вплив синтезованого алгоритму на систему зв'язку

Для перевірки працездатності синтезованого алгоритму та оцінки впливу на систему зв'язку в цілому, була обрана модель LTE PHY Downlink with Spatial Multiplexing (рисунок 2.15), яка відноситься до розділу Communication System Toolbox пакету прикладних програм MATLAB R2013a [28].

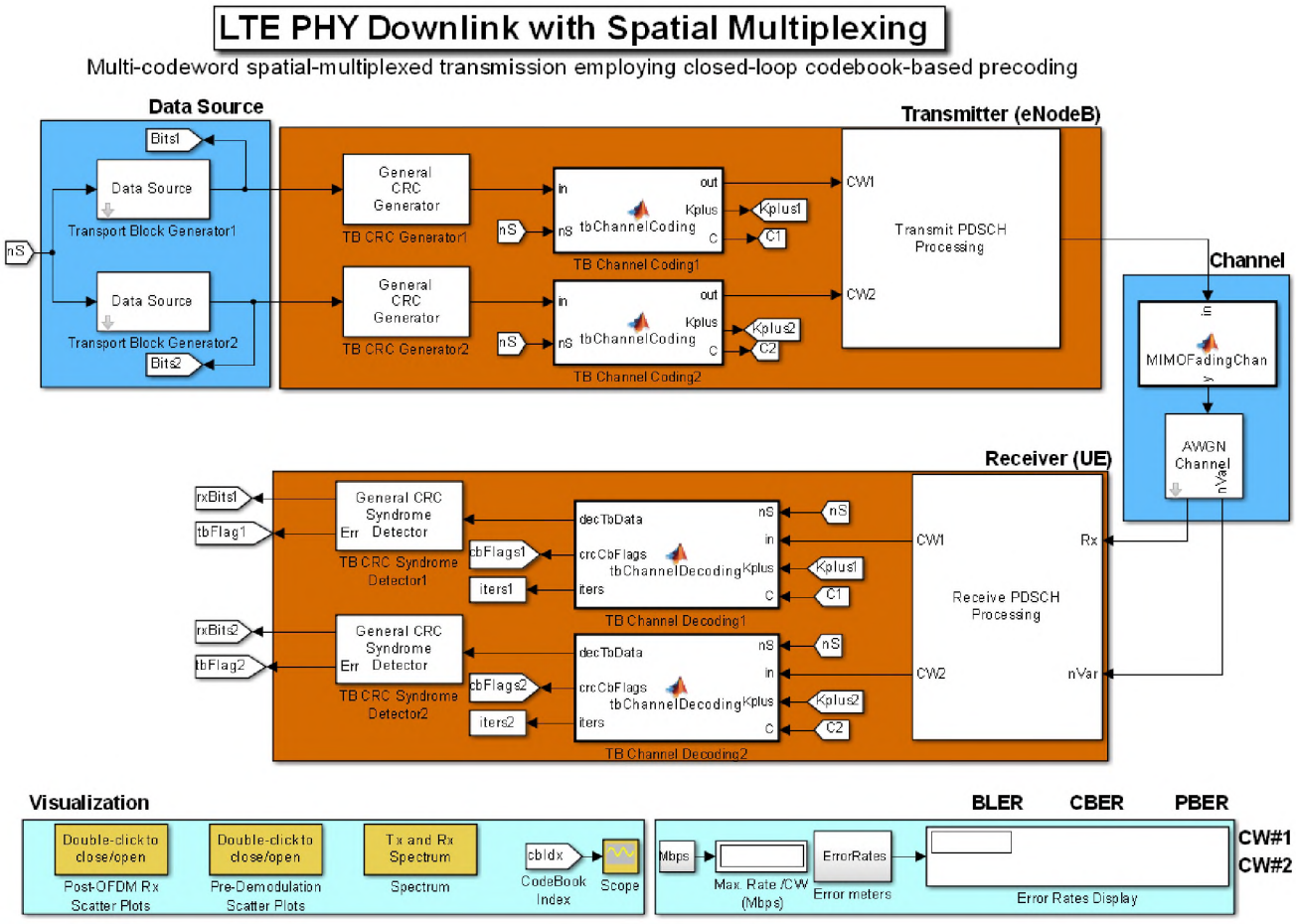

Рисунок 2.15 – Модель стільникової системи зв'язку

Модель складається з восьми основних підсистем, які входять у склад чотирьох функціональних блоків:

а) джерело інформації (Data Source):

- генератор бітової послідовності.

б) базова станція (eNodeB):

- підсистема прикріплення циклічного надлишкового коду;
- підсистема канального кодування;
- підсистема формування каналу PDSCH.

в) канал зв'язку (Channel):

- підсистема каналу AWGN.

г) термінал користувача (UE):

- підсистема розчеплення каналу PDSCH;
- підсистема канального декодування;
- детектор циклічного надлишкового коду.

БС виконує наступні функції:

- прикріплення циклічного надлишкового коду;
- об'єднання та сегментування транспортних блоків;
- канальне кодування;
- узгодження швидкостей;
- перемноження у складений канал;
- розширення спектру;
- модуляція даних.

На приймальній стороні ТК виконує:

- «збирання» копій сигналу багатопроменевого поширення в один сигнал;
- стиснення спектру;
- демодуляцію даних;
- розділення на канали трафіку та управління;
- канальне декодування;
- детектування помилок.

Дана модель дозволяє отримати спектри, сузір'я, часові діаграми сигналів, оцінки помилок в каналах управління і трафіку, а також оцінити швидкість передачі даних.

Для того, щоб підтвердити результати теоретичного розрахунку та оцінити зміни у роботі системи зв'язку необхідно провести випробовування моделі без змін в алгоритмі управління та зі синтезованим алгоритмом. Вхідні параметри моделі, за яких будуть проведені випробовування, відображені на рисунку 2.16.

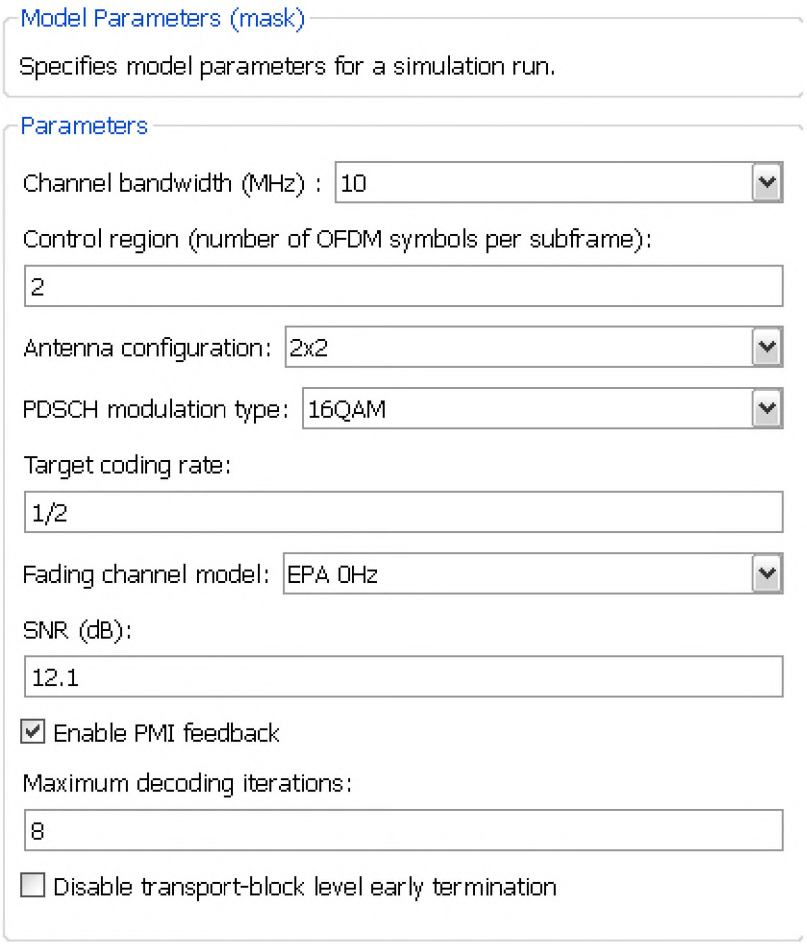

Рисунок 2.16 – Вхідні параметри моделі

Першочергово проведемо оцінку швидкості передачі даних. Результати моделювання без змін в алгоритмі управління каналами зв'язку та з використанням синтезованого алгоритму зображені на рисунках 2.17 та 2.18 відповідно.

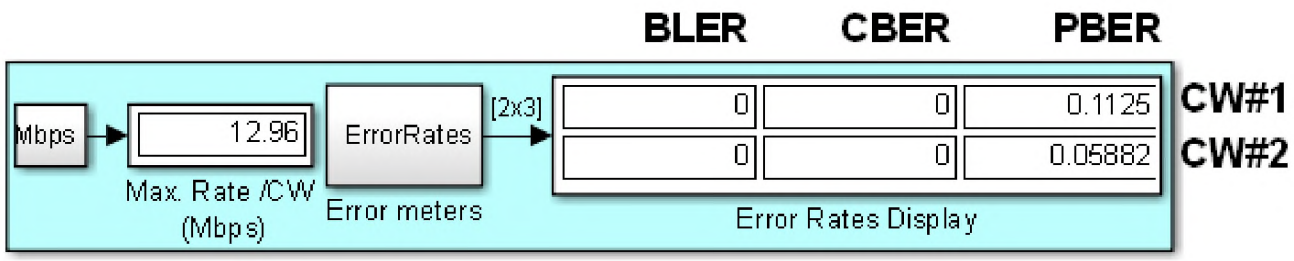

Рисунок 2.17 – Результати моделювання без змін в алгоритмі управління

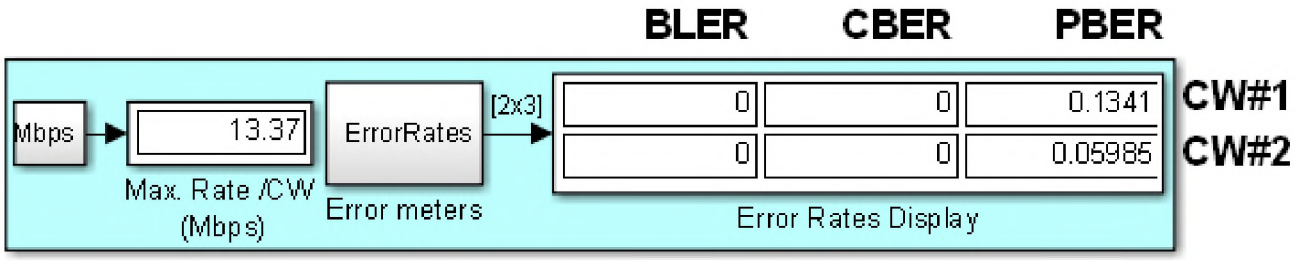

Рисунок 2.18 – Результати моделювання зі синтезованим алгоритмом

З результатів випробовувань видно, що за умови використання синтезованого алгоритму управління ми маємо збільшення швидкості передачі на 0,41 Мбіт, тобто на 3,16%. Це на 0,09% менше порівняно з теоретичними розрахунками. Отже помилка теоретичних розрахунків складає 2,77%.

Не можна не звернути увагу на те, що за умови використання синтезованого алгоритму управління збільшилася вірогідність прийому помилкового біту (BER). Необхідно прослідкувати залежність вірогідності прийому помилкового біту (BER_1 та BER_2) від відношення сигнал/завада (SNR) для обох випадків та оцінити різницю. Результати випробовувань наведені у таблиці 2.2. Для наглядного представлення результатів побудовано графіки залежностей для обох випадків (рисунок 2.19).

Таблиця 2.1 – Залежність BER від SNR

SNR, дБ	BER_1, %	BER_2, %	Різниця, %
-20	49,67	49,74	0,07
-18	49,48	49,58	0,1
-16	49,19	49,34	0,15
-14	48,73	48,96	0,23
-12	48,08	48,41	0,33
-10	47,15	47,62	0,47
-8	45,85	46,5	0,65
-6	44,18	45,02	0,84
-4	42,16	43,17	1,01
-2	39,89	41,03	1,14
0	37,47	38,68	1,21
2	34,9	36,13	1,23
4	32,01	33,35	1,34
6	28,39	30,01	1,62
8	23,73	25,46	1,73
10	17,93	19,82	1,89
12	11,56	13,5	1,94
14	6,02	7,79	1,77
16	2,36	3,69	1,33
18	0,65	1,31	0,66
20	0,1	0,38	0,28

Спостерігається зниження завадостійкості системи в середньому на 0,95%.

Подальші випробовування моделі показали, що використання синтезованого алгоритму не впливає на інші параметри і роботу системи в цілому.

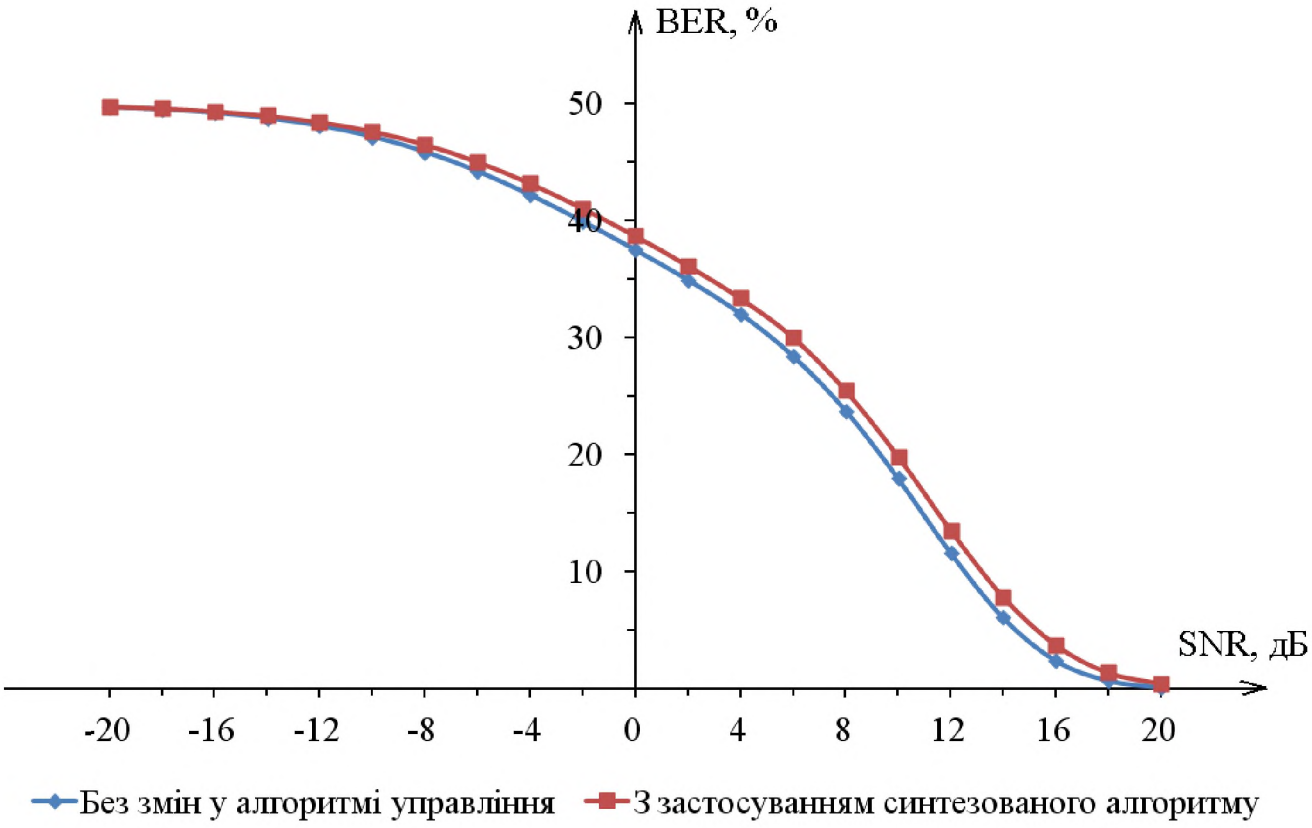

Рисунок 2.19 - Залежність BER від SNR

2.7 Висновок

У спеціальному розділі:

- досліджено існуючі методи зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв'язку;

- запропоновано синтезований алгоритм управління каналами зв'язку, який забезпечує зменшення витрат на сигналізацію на 35%, що призводить до збільшення пропускної здатності каналу на 3,16%.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У кваліфікаційній роботі розглядається синтез алгоритму управління каналами зв’язку в стільниковій системі довготермінової еволюції.

Пропонується розробити програмне забезпечення, яке дозволить зменшити витрати на сигналізацію та підвищити пропускну здатність каналів зв'язку. Завдяки цьому зменшиться час обслуговування одного абонента і базова станція зможе обслуговувати більшу кількість абонентів за один і то й же проміжок часу, що забезпечить збільшення прибутку.

3.1 Визначення трудомісткості розробки програмного продукту

Трудомісткість створення методу можна розрахувати за формулою (3.1) [29]:

$$t = t_0 + t_{\text{И}} + t_{\text{А}} + t_{\text{П}} + t_{\text{ВІДПЛ}} + t_{\text{Д}}, \qquad \text{людино} - \text{годин} \qquad (3.1)$$

де t_O - витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;

$t_И$ - витрати праці на дослідження алгоритму рішення задачі;

$t_А$ - витрати праці на розробку блок-схеми алгоритму;

$t_П$ - витрати праці на програмування за розробленою блок-схемою;

$t_{ВІДЛ}^{К}$ - витрати праці на налагодження програми на ЕОМ;

$t_Д$ - витрати праці на підготовку документації по завданню.

Зважаючи на той факт, що дослідження, пов'язані з обробкою складних сигналів в телекомунікаційних системах, охоплюють великий пласт інформації, приймаємо $t_O = 40\,ãîäèí$.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості операторів в програмному продукті. Причому до цього числа входять ті

оператори, які програмістові необхідно написати в процесі роботи над завданням з урахуванням можливих уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів розраховується за формулою (3.2):

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \tag{3.2}$$

де q - передбачувана кількість операторів;

c - коефіцієнт складності програми;

p - коефіцієнт корекції програми в ході її розробки.

Коефіцієнт складності програми **c** визначає відносну складність програм завдання по відношенню до типового завдання, складність якого прийнята рівній одиниці. Діапазон його зміни 1,25…2,0.

Коефіцієнт корекції програми ***p*** визначає збільшення об'єму робіт за рахунок внесення змін до алгоритму або програми в результаті уточнення постановки завдання. Величина ***p*** знаходиться в межах 0,05…0,1, що відповідає внесенню 3…5 корекцій, що спричиняють за собою переробку 5-10 % готової програми.

Проведемо розрахунок умовної кількості операторів в програмному продукті, що розробляється, за формулою (3.3):

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p) = 76 \cdot 1{,}4 \cdot (1 + 0{,}08) = 115 \ опер. \tag{3.3}$$

Витрати праці на дослідження алгоритму рішення задачі визначаються з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста за формулою (3.4):

$$t_{Е} = \frac{Q \cdot B}{(75...85) \cdot K}, \tag{3.4}$$

де B - коефіцієнт збільшення витрат праці унаслідок недостатнього опису завдання, *B*=1,2…1,5;

k - коефіцієнт кваліфікації програміста, що визначається залежно від стажу роботи за даною спеціальністю.

Він складає при стажі роботи, років:

– до 2 - 0,8;

– від 2 до 3 - 1,0;

– від 3 до 5 - 1,1…1,2;

– від 5 до 7 - 1,3…1,4;

$$t_{\text{И}} = \frac{QB}{(75 \ldots 85)K}, \qquad \text{людино} - \text{годин} \tag{3.4}$$

Витрати праці на розробку блок-схеми алгоритму визначаються за формулою (3.5):

$$t_A = \frac{Q}{(20 \ldots 25)K}, \text{людино} - \text{годин} \tag{3.5}$$

Отже витрати праці на розробку алгоритму рішення поставленої задачі складуть:

$$t_{\grave{A}} = \frac{115}{20 \cdot 1{,}2} = 4{,}8 \ \ \tilde{a}\hat{i}\ddot{a}\grave{e}\acute{i} \ .$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі розраховуються за формулою (3.6):

$$t_{\grave{I}} = \frac{Q}{(10 \ldots 15) \cdot K} = \frac{115}{10 \cdot 1{,}2} = 9{,}58 \ \ \tilde{a}\hat{i}\ddot{a}\grave{e}\acute{i} \ . \tag{3.6}$$

Витрати на відладку програми на ЕОМ розраховуються за наступними формулами (3.7) та (3.8):

– за умови автономної відладки одного завдання:

$$t_{\text{отл}} = \frac{Q}{(4\ldots5)K}, \qquad \text{людино} - \text{годин} \tag{3.7}$$

– за умови комплексного складання завдання:

$$t_{\text{ВІДЛ}}^{K} = 1.5 \cdot t_{\text{отл}}, \qquad \text{людино} - \text{годин} \tag{3.8}$$

Оскільки підбір параметрів програмного забезпечення, що розробляється, є комплексним завданням, розрахунок витрат на налаштування програми проведемо за формулами (3.7) та (3.8):

$$t_{Â²ÄË} = \frac{Q}{(4...5)\cdot K} = \frac{115}{4\cdot 1{,}2} = 23{,}96 \quad ãîäèí ,$$

$$t_{Â²ÄË}^{Ê} = 1{,}5 \cdot t_{Â²ÄË} = 1{,}5 \cdot 23{,}96 = 35{,}94 \quad ãîäèí .$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню $t_{Д}$ визначаються за формулою (3.9):

$$t_{\text{Д}} = t_{\text{ДР}} + t_{\text{ДО}}, \qquad \text{людино} - \text{години} \tag{3.9}$$

де $t_{ДР}$ - трудомісткість підготовки матеріалів до рукопису, $t_{ДР} = \frac{Q}{(15...20)\cdot K}$;

$t_{ДО}$ - трудомісткість редагування, друку і оформлення документації, $t_{ДО} = 0{,}75 \cdot t_{ДР}$.

Отже, трудомісткість створення програмного продукту, відповідно до формули (3.9) складає:

$$t_{Ä} = t_{ÄÐ} + t_{ÄÎ} = \frac{Q}{(15...20)\cdot K} + 0.75\cdot(\frac{Q}{(15...20)\cdot K}) = 1{,}75\cdot\frac{115}{15\cdot 1{,}2} = 11{,}18 \ \ ãîäèí .$$

Таким чином, визначивши трудомісткість окремих показників, розрахуємо сумарну трудомісткість розробки програмного продукту за формулою (3.1):

$$t = 40 + 1{,}66 + 4{,}8 + 9{,}58 + 35{,}94 + 11{,}18 = 103{,}16 \ \ ãîäèí .$$

3.2 Розрахунок витрат на створення програмного продукту

Витрати на створення програмного виробу включають витрати на заробітну плату програмістам і вартість машинного часу, необхідного для налагодження програми на ЕОМ (формула (3.10)) [30]:

$$К_{ИЗ} = З_{ЗП} + З_{МЧ}, \qquad грн \tag{3.10}$$

Заробітна плата програмістів визначається за формулою (3.11):

$$З_{ЗП} = t \cdot C_{ПР}, \qquad грн \tag{3.11}$$

де t - загальна трудомісткість розробки програмного продукту, визначувана за формулою (3.1), годин;

$C_{ПР}$ - середня годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова) з урахуванням відрахувань на соціальні потреби, грн/год.

Для визначення мінімальної середньої годинної оплати програміста необхідно спочатку визначити його річний фонд заробітної плати з урахуванням єдиного соціального внеску. Це можна зробити, знаючи середній щомісячний оклад програміста.

На 01.05.2022 він складає 16590 грн. Отже, заробітна плата програміста з урахуванням премій (20%) складає 19908 грн.

Таким чином, річний фонд заробітної плати – 238896 грн. Єдиний соціальний внесок складає 22%, тобто 52557,12 грн., військовий збір складає 1,5%, тобто 3583,44 грн.

Разом, річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби склав 295036,56 грн.

Визначимо номінальний річний фонд робочого часу за формулою (3.12), при цьому прийнявши середню тривалість робочого дня рівної 8 годинам:

$$F_H = (T_K - T_{\text{ПР}} - \text{Т}_{\text{ВИХ}} - \text{Т}_{\text{ОТЛ}}) \cdot 8, \qquad \text{годин} \tag{3.12}$$

де T_K - кількість календарних днів в році, 365 днів.

$T_{ПР}$ - кількість святкових днів в році, 10 днів

$T_{ВИХ}$ - кількість вихідних днів в році, 104 дні

$T_{ОТП}$ - календарна тривалість відпустки 24 дні

Отже, річний фонд часу дорівнює:

$$F_{\text{Н}} = (365 - 10 - 104 - 24) \cdot 8 = 1816 \text{ годин}$$

Середня годинна заробітна плата програміста визначається співвідношенням (3.13), яке має вигляд:

$$\text{С}_{\text{ПР}} = \frac{\text{ФЗП}_{\text{СН}}}{F_H} \tag{3.13}$$

де $ФЗП_{СН}$ - річний фонд заробітної плати з урахуванням відрахувань на соціальні потреби;

F_H - річний фонд робочого часу.

$$С_{ПР} = \frac{ФЗП_{СН}}{F_H} = \frac{295036,56}{1816} = 162,5 \text{ грн/год}$$

Таким чином, витрати на оплату праці розробника, з урахуванням формули (3.11), складають:

$$З_{ЗП} = 103,16 \cdot 162,5 = 16763,5 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості машинного часу, необхідного для відладки програми на ЕОМ здійснюється по формулі (3.14):

$$З_{МИ} = (t^{К}_{ВІДЛ} + t_{Д}) \cdot C_{МЧ}, \quad (3.14)$$

де $t^{К}_{ВІДЛ}$ - трудомісткість відладки програми на ЕОМ, яка визначається за формулами (3.7) і (3.8), годин;

$t_{Д}$ - витрати праці на підготовку документації, які визначаються по формулі (3.9);

$C_{МЧ}$ - вартість машино-часу ЕОМ, грн/год.

Для розрахунку вартості машино-часу необхідно знати вартість ЕОМ та ПЗ на момент їх придбання і введення в експлуатацію, а також вартість споживаної електроенергії. Відповідні дані представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вартість програмного та апаратного забезпечення

Найменування	***Вартість, грн***
Системний блок Everest Home 4070, клавіатура і мишка	19500
Монітор 24" Samsung Professional S24R650	5699
MS Windows 7 Professional	250
Matlab R2012b 8.0 (Simulink, Toolbox)	1580
Разом:	***27029***

Термін експлуатації – 5 років. Розрахунок амортизаційних відрахувань проводиться методом прискореного зменшення залишкової вартості за формулою (3.15):

$$САМ = В_{ПЕР} \cdot H_A \quad (3.15)$$

де $В_{ПЕР}$ - первинна вартість ЕОМ і необхідного програмного забезпечення;

H_A - норма амортизації, що розраховується за формулою (3.16):

$$Н_А = 2/Т, \quad (3.16)$$

де Т - термін експлуатації.

Отже, амортизаційні відрахування на 2022 рік складуть:

$$САМ = 27029 \times 0,4 = 10811,6 \text{ грн}$$

Розрахунок вартості машино-часу ЕОМ проведемо за формулою (3.17):

$$С_{МЧ} = \frac{Ф_{ОСТ}}{Ф_{год.раб.ч.}} + W \cdot Ц_е, \quad \text{грн} \quad (3.17)$$

де $Ф_{год.раб.ч.}$ - річний фонд корисного часу роботи ЕОМ;

W - потужність ЕОМ, $W = 0,4\ кВт$;

$Ц_э$ - вартість $1 кВт*год$ електроенергії для не побутових споживачів. На 01.05.2022 – 1,68 грн.

Річний фонд корисного часу роботи ЕОМ дорівнює річному фонду робочого часу програміста і складає 1816 годин.

Таким чином, вартість машино-години ЕОМ складе:

$$C_{мч} = \frac{27029}{1816} + 0.4 \cdot 1.68 = 15{,}56 \text{ грн/год}$$

Враховуючи відому вартість машино-години проведемо розрахунок вартості машинного часу, яке є необхідним для налаштування ПЗ на ЕОМ за формулою (3.14):

$$З_{мч} = (35.94 + 11.18) \cdot 15{,}56 = 733.19 \text{ грн}$$

Отже, витрати на створення програмного продукту, виходячи з формули (3.10), складають:

$$К_{ИЗ} = 16763{,}5 + 733{,}19 = 17496{,}69 \text{ грн}$$

Визначені таким чином витрати є одноразовими капітальними витратами на створення програмного продукту і складають 17496,69 грн.

3.3 Розрахунок економічної ефективності програмного продукту

В середньому, стандартна 3-секторна базова станція передає об'єм інформації у розмірі 1220 Гб за місяць, тобто це 14640 Гб за рік. Відомо, що ціна 1 Мб інформації, в залежності від оператору мобільного зв'язку, коливається у діапазоні від 8 коп. до 12 коп.. Отже, в середньому, 1 Мб інформації коштує 10 коп. Розрахуємо дохід за рік від однієї БС за формулою (3.18):

$$Д = Q \times Ц \qquad (3.18)$$

$$Д_1 = (14640 \times 1024)\ 0{,}1 = 1499136 \text{ грн/рік}$$

Завдяки впровадженню програмного засобу збільшується швидкість передачі даних на 3,16%, а як наслідок, за інших рівних умов, і об'єм переданої інформації зросте на той же відсоток. Використовуючи формулу (3.18)

розрахуємо дохід за рік від однієї БС за умови впровадження програмного засобу:

$$Д_2 = (14640 \times 1024 \times 1,0316)\ 0,1 = 1546509 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо економічний ефект за рік розрахований за формулою (3.19):

$$Е = Д_2 – Д_1 = 1546509 – 1499136 = 47373 \text{ грн} \quad (3.19)$$

Розрахуємо економічну ефективність за формулою (3.20):

$$ЕЕ = Е/К = 47373 / 17496,69 = 2,7 \quad (3.20)$$

Термін окупності розрахуємо за формулою (3.21):

$$Т = К/Е = 17496,69 / 47373 = 0,37 \text{ років} \quad (3.21)$$

3.4 Висновок

За результатами розрахунків отримано:

– кількість часу, що необхідна для розробки програмного засобу: 103,16 години;

– заробітна плата програміста за створення ПЗ: 16763,5 грн;

– загальні витрати на створення ПЗ: 17496,69 грн;

– економічний ефект: 47373 грн/рік;

– термін окупності: 0,37 року.

ВИСНОВКИ

Для узагальнення результатів кваліфікаційної роботи зроблено декілька висновків:

- проаналізовано існуючі методи та алгоритми сигналізації фізичного рівня у стільниковій системі стандарту 4G довготермінової еволюції (LTE);

- досліджено існуючі методи зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв'язку;

- запропоновано синтезований алгоритм управління каналами зв'язку, який забезпечує зменшення витрат на сигналізацію на 35%, що призводить до збільшення пропускної здатності каналу на 3,16%;

- в економічному розділі розраховано економічний ефект від впровадження ПЗ на одній БС, який дорівнює 47373 грн\рік, та термін окупності, що відповідає 0,37 року;

Наукова новизна результатів, полягає у синтезі алгоритму управління каналами зв'язку, що, на відміну від відомого, визначає різні діапазони значень величини підстроювання моментів часу передачі для стану системи при встановленні та в процесі зв'язку.

Практична цінність результатів полягає у методиці синтезу алгоритмів управління каналами зв'язку, що забезпечує зменшення витрат на сигналізацію, що призводить до збільшення пропускної здатності каналів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.

2 В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура.

3 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Минаев И.В. Стандартизация, спецификации, эволюция технологии и архитектура базовой сети LTE // Сети и средства связи, № 2 (10), 2009.

4 Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения Серия изданий «Связь и бизнес», М.: 2000- 208с.

5 Кааринен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааринен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен, С. Найан, В. Ниеми. —М. : Тех-носфера, 2007.—464 с.

6 Ханцо Л.Л., Дж. Блох, С. Ни Системы радиодоступа 3G, HSPA и FDD в сравнении с технологией TDD /При поддержке ОАО «Концерн «Созвездие» пер. с англ. Н.Л. Бирюкова под ред. к.т.н. В.И. Сорокина.

7 Громаков Ю.А., Поповский А.В. Технологии определения местоположения абонентов в системах сотовой связи второго и третьего поколений // Мобильные системы. – 2003. –№12.

8 Громаков Ю.А., Северин А.В.. Шевцов В.А Технологии определения местоположения в GSM и UMTS. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 144 с.: ил.

9 Корсунский А.В. Технологии и платформы определения местоположения – к старту готовы? // Мобильные телекоммуникации. – 2003. – №1.

10 Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем исетей: учебное пособие / И.М. Тепляков. - М.: Радио и связь, 2004. - 328 с.: ил.

11 Системы мобильной связи: учебное пособие для вузов / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов; под ред.В.П. Ипатова. - М.: Горячая линия - Телеком, 2003. - 272 с., ил.

12 Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. - М.: Эко-Трендз, 2001.

13 Адрианов В.И. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи/В.И. Адрианов, А.В. Соколов.-СПб.: BHV - Санкт-Петербург; Арлит, 2001.

14 Кирилов В.И. Многоканальные системы передачи: учебник / В.И. Кирилов. - 2-е изд. - М.: Новое знание, 2003. - 751 с.: ил.

15 Ортогональное частотное разделение со многими поднесущими (OFDM) (Електрон. ресурс)/Спосіб доступу: URL:http: //siblec.ru /index.php? dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC84c2VtLzA3NS8 yLTQtMy5odG0.

16 Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко.—СПб. : БХВ —Петербург, 2011.—768 с.

17 Попов Е. А. Технология GPRS пакетной передачи данных в сетях GSM : учеб. пособие / Е. А. Попов.—СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008.—182 с.

18 Макаров С. Б. Телекоммуникационные технологии: введение в технологии GSM :учеб. пособие для высш. учеб. заведений / С. Б. Макаров, Н. В. Певцов, Е. А. Попов, М. А. Сиверс.—М. : Издатель-ский центр “Академия”, 2006.—256 с.

19 Печаткин А. Системы мобильной связи. Часть 1. Принципы организации, функционирования и частотного планирования систем мобильной связи, РГТА-2008.- 486с.

20 Закон Украины «О телекоммуникациях» от 18.11.2003 № 1280-IV(с изменениями и дополнениями).

21 Биккенин Р. Р. Теория электрической связи : учебное пособие для студ. высших учебных заведений / Р. Р. Биккенин, М. Н. Чесноков.—М. : Издательский центр “Академия”, 2010. —336 с.

22 Ксенофонтов С.Н. Направляющие системы электросвязи: учебное пособие для вузов / С.Н. Ксенофонтов, Э.Л. Портнов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004, - 268 с.: ил.

23 Закиров З.Г., Файзуллин Р.Р., Надев А.Ф. Системы сотовой связи стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения. – М.: Эко-трендз, 2004.

24 Волков А. Н. UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения/А. Н.Волков, А.Е.Рыжков, М. А.Сиверс.—СПб.:Издательство “Линк”, 2008.—224 с.

25 Громаков, Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков. - М.: Эко-Трендз, 1998.

26 Европейская наука XXI века. Синтез алгоритма управления каналами связи в сотовой системе долговременной эволюции (LTE): статья / Сивко Д.Ю., Корниенко В.И. – Д.: Изд-во «Руснаука», 2014.

27 Л.В. Листрова, А. В. Могилев Средства информатизации: Телекоммуникационные технологии.-2009.

28 LTE PHY Downlink with Spatial Multiplexing (Електрон. ресурс)/Спосіб доступу: http://www.mathworks.com/help/comm/examples/lte-phy-downlink-with-spatial-multiplexing.html.

29 Расчет трудовых затрат (Електрон. ресурс)/Спосіб доступу: http://www.twirpx.com/file/64404.html.

30 Економіка підприємства. Конспект лекцій. / Романюк Н.М. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – 93 с.

31 Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов / Г.А.Ерохин, О.В.Чернышов, Н.Д.Козырев, В.Г. Кочержевский; под. ред. Г.А.Ерохина. - 2-е изд., испр. - М.: Горячая линия - Телеком, 2004. - 491 с.: ил.

32 Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт (проектів) баалаврів 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 кваліфікаційної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість аркушів	Примітки
Документація				
1	А4	Реферат	3	
2	А4	Список умовних скорочень	2	
3	А4	Зміст	2	
4	А4	Вступ	1	
5	А4	Стан питання. Постановка задачі	25	
6	А4	Спеціальна частина	30	
7	А4	Економічний розділ	10	
8	А4	Висновки	1	
9	А4	Перелік посилань	3	
10	А4	Додаток А	1	
11	А4	Додаток Б	14	
12	А4	Додаток В	1	
13	А4	Додаток Г	1	
14	А4	Додаток Д	1	

ДОДАТОК Б. Лістінг М-файлу моделі

```
% LTE PHY Downlink with Spatial Multiplexing
currDir = pwd;
tmpDir = tempdir;
cd(tmpDir);
mdlName = 'LTEDownlinkExample';
open_system(mdlName);
set_param([mdlName '/Model Parameters'], 'showResults', 'off');
sim(mdlName)
close_system(mdlName, 0);
cd(currDir);
displayEndOfDemoMessage(mfilename)

% Model Parametrs
function LTEDownlinkExample_init(chanBW, contReg, antConfig, modType,
cRate,...
chanMdl, snrdB, enPMIfback, cbIdx, maxIter, fullDecode, showResults)
[p, prm] = ltePDSCHprms(4, chanBW, contReg, modType, chanMdl, ...
antConfig, enPMIfback, cbIdx);
prm.corrLevel = 'Low';
prm.showResults = showResults;
p2.trellis = poly2trellis(4, [13 15], 13);
if (cRate >= 1) || (cRate <= 0)
error(message('comm:LTEDownlinkExample_init:InvalidCRate'));
end
p2.cRate = cRate;
TBLenVec = zeros(1, length(p.numPDSCHBits));
C = zeros(1, length(TBLenVec)); Kplus = zeros(1, length(C));
for i = 1:length(TBLenVec)
```

```
        TBLenVec(i) = getTBsizeRMC(modType, p2.cRate, p.Nrb, ...
        p.numLayPerCW, p.numPDSCHBits(i));
        [C(i), ~, Kplus(i)] = lteCblkSegParams(TBLenVec(i));
        end
        p2.TBLenVec = TBLenVec;
        p2.maxTBLen = max(p2.TBLenVec);
        p2.maxC = max(C);
        p2.minC = min(C);
        p2.maxKplus = max(Kplus);
        p2.maxIter = maxIter;
        p2.fullDecode = fullDecode;
        switch modType
        case 1
        str = 'QPSK';
        case 2
        str = '16-QAM';
        case 3
        str = '64-QAM';
        end
        modStr = [str ' Modulator'];
        dmodStr = ['Soft-Decision ' str ' Demodulator'];
        set_param('LTEDownlinkExample/Tx PDSCH Processing/PDSCH
Modulators1', ...
        'BlockChoice', modStr);
        set_param('LTEDownlinkExample/Tx PDSCH Processing/PDSCH
Modulators2', ...
        'BlockChoice', modStr);
        set_param(sprintf('LTEDownlinkExample/Rx PDSCH Processing/PDSCH
Soft-Decision\nDemodulators1'), ...
        'BlockChoice', dmodStr);
```

```
set_param(sprintf('LTEDownlinkExample/Rx PDSCH Processing/PDSCH
Soft-Decision\nDemodulators2'), ...
'BlockChoice', dmodStr);
assignin('base', 'snrdB', snrdB);
assignin('base', 'prmMdl', prm);
assignin('base', 'prmLTEPDSCH', p);
assignin('base', 'prmLTEDLSCH', p2);

% General CRC Generator
function y = lteCSCGen(nS, numAP)
persistent hSeqGen;
persistent hInt2Bit;
NcellID = 0;
Ncp = 1;
NmaxDL_RB = 110;
y = complex(zeros(NmaxDL_RB*2, 2, 2, numAP));
l = [0; 4];
seq = zeros(size(y,1)*2, 1);
if isempty(hSeqGen)
hSeqGen = comm.GoldSequence('FirstPolynomial',[1 zeros(1, 27) 1 0 0 1],...
'FirstInitialConditions', [zeros(1, 30) 1], ...
'SecondPolynomial', [1 zeros(1, 27) 1 1 1 1],...
'SecondInitialConditionsSource', 'Input port',...
'Shift', 1600,...
'SamplesPerFrame', length(seq));
hInt2Bit = comm.IntegerToBit('BitsPerInteger', 31);
end
for i = 1:2
for lIdx = 1:2
```

```
c_init = (2^10)*(7*((nS+i-1)+1)+l(lIdx)+1)*(2*NcellID+1) + 2*NcellID +
Ncp;
iniStates = step(hInt2Bit, c_init);
seq = step(hSeqGen, iniStates);
y(:, lIdx, i, 1) = (1/sqrt(2))*complex(1-2.*seq(1:2:end), 1-2.*seq(2:2:end));
end
end
if (numAP>1)
y(:, :, :, 2) = y(:, :, :, 1);
end
if (numAP>2)
for i = 1:2
c_init = (2^10)*(7*((nS+i-1)+1)+1+1)*(2*NcellID+1) + 2*NcellID + Ncp;
iniStates = step(hInt2Bit, c_init);
seq = step(hSeqGen, iniStates);
y(:, 1, i, 3) = (1/sqrt(2))*complex(1-2.*seq(1:2:end), 1-2.*seq(2:2:end));
end
y(:, 1, :, 4) = y(:, 1, :, 3);
end

% Channel Coding
function [out, Kplus, C] = lteTbChannelCoding(in, nS, prmLTEDLSCH,
prmLTEPDSCH)
persistent hCBCRCGen hCBTEnc1 hCBTEncAll;
if isempty(hCBCRCGen)
hCBCRCGen = comm.CRCGenerator('Polynomial', [1 1 zeros(1, 16) 1 1 0 0 0
1 1]);
end
if isempty(hCBTEnc1)
```

```
        hCBTEnc1 = comm.TurboEncoder('TrellisStructure', prmLTEDLSCH.trellis,
...
        'InterleaverIndicesSource', 'Input port');
        end
        if isempty(hCBTEncAll)
        hCBTEncAll = comm.TurboEncoder('TrellisStructure', prmLTEDLSCH.trellis,
...
        'InterleaverIndicesSource', 'Input port');
        end
        inLen = size(in, 1);
        [C, ~, Kplus] = lteCblkSegParams(inLen-24);
        intrlvrIndices = lteIntrlvrIndices(Kplus);
        G = prmLTEPDSCH.maxG;
        switch nS
        case {0}
        G = prmLTEPDSCH.numPDSCHBits(1);
        case {2, 4, 6, 8, 12, 14, 16, 18}
        G = prmLTEPDSCH.numPDSCHBits(3);
        case {10}
        G = prmLTEPDSCH.numPDSCHBits(2);
        otherwise
        end
        Nl = prmLTEPDSCH.numLayPerCW;
        Qm = prmLTEPDSCH.Qm;
        Gprime = G/(Nl*Qm);
        gamma = mod(Gprime, C);
        out = false(G, 1);
        if (C==1)
        tEncCbData = step(hCBTEnc1, in, intrlvrIndices);
        rmCbData = lteCbRateMatching(tEncCbData, Kplus, C, G);
```

```
out = logical(rmCbData);
else
startIdx = 0;
for cbIdx = 1:C
cbData = in((1:(Kplus-24))' + (cbIdx-1)*(Kplus-24));
crcCbData = step(hCBCRCGen, cbData);
tEncCbData = step(hCBTEncAll, crcCbData, intrlvrIndices);
if ((cbIdx-1) <= (C-gamma-1))
E = Nl*Qm*floor(Gprime/C);
else
E = Nl*Qm*ceil(Gprime/C);
end
rmCbData = lteCbRateMatching(tEncCbData, Kplus, C, E);
out((1:E)' + startIdx) = logical(rmCbData);
startIdx = startIdx + E;
end
end

% Transmit PDSCH Processing
function [p, prm] = ltePDSCHprms(txMode, chanBW, contReg, modType, ...
chanMdl, varargin)
switch chanBW
case 1
BW = 1.4e6; N = 128; cpLen0 = 10; cpLenR = 9;
Nrb = 6; chanSRate = 1.92e6;
case 2
BW = 3e6; N = 256; cpLen0 = 20; cpLenR = 18;
Nrb = 15; chanSRate = 3.84e6;
case 3
BW = 5e6; N = 512; cpLen0 = 40; cpLenR = 36;
```

```
Nrb = 25; chanSRate = 7.68e6;
case 4
BW = 10e6; N = 1024; cpLen0 = 80; cpLenR = 72;
Nrb = 50; chanSRate = 15.36e6;
case 5
BW = 15e6; N = 1536; cpLen0 = 120; cpLenR = 108;
Nrb = 75; chanSRate = 23.04e6;
case 6
BW = 20e6; N = 2048; cpLen0 = 160; cpLenR = 144;
Nrb = 100; chanSRate = 30.72e6;
end
p.BW = BW;
p.N = N;
p.cpLen0 = cpLen0;
p.cpLenR = cpLenR;
p.Nrb = Nrb;
% Modified Part of M-file
p.chanSRate = chanSRate;
if p.chanSRate == 'RACH'
range = 1023;
else
range = 7;
if (Nrb<=10)
if (~ismember(contReg, [2 3 4]))
error(message('comm:ltePDSCHprms:InvalidCReg1'));
end
else
if (~ismember(contReg, [1 2 3]))
error(message('comm:ltePDSCHprms:InvalidCReg2'));
end
```

```
end  %End of Modified Part
p.contReg = contReg;
if (txMode==1)
narginchk(5, 5);
p.numTx = 1;
p.numRx = 1;
numCSRRE_RB = 2*2*2;
p.numLayers = 1;
p.numCodeWords = 1;
elseif (txMode==2)
narginchk(7, 7);
numTx = varargin{1};
numRx = varargin{2};
switch numTx
case 2
numCSRRE_RB = 4*2*2;
case 4
numCSRRE_RB = 4*3*2;
end
p.numTx = numTx;
p.numRx = numRx;
p.numLayers = 1;
p.numCodeWords = 1;
elseif (txMode==4)
narginchk(8, 8);
antConfig = varargin{1};
enPMIfback = varargin{2};
cbIdx = varargin{3};
switch antConfig
case 1
```

```
p.numTx = 2; p.numRx = 2;
numCSRRE_RB = 4*2*2;
case 2
p.numTx = 4; p.numRx = 4;
numCSRRE_RB = 4*3*2;
end
p.antConfig = antConfig;
p.numLayers = min([p.numTx, p.numRx]);
p.numCodeWords = 2;
end
p.deltaF = 15e3;
p.Nrb_sc = 12;
p.Ndl_symb = 7;
p.numResources = (p.Nrb*p.Nrb_sc)*(p.Ndl_symb*2);
p.numCSRResources = p.Nrb * numCSRRE_RB;
p.numDataResources = p.numResources - p.numCSRResources;
switch p.numTx
case 1
numContRE = (10 + 12*(p.contReg-1))*p.Nrb;
numBCHRE = 60+72+72+72;
case 2
numContRE = (8 + 12*(p.contReg-1))*p.Nrb;
numBCHRE = 48+72+72+72;
case 4
numContRE = (8 + (p.contReg>1)*(8+ 12*(p.contReg-2)))*Nrb;
numBCHRE = 48+48+72+72;
end
p.numContRE = numContRE;
p.numBCHRE = numBCHRE;
if modType==1
```

```
Qm = 2;
elseif modType==2
Qm = 4;
elseif modType==3
Qm = 6;
end
p.Qm = Qm;
p.numLayPerCW = p.numLayers/p.numCodeWords;
p.numDataBits = p.numDataResources*Qm*p.numLayPerCW;
numPDSCHBits = zeros(1,3);
numPDSCHBits(1) = (p.numDataResources - ...
(numBCHRE+72+72+numContRE))*Qm*p.numLayPerCW;
numPDSCHBits(2) = (p.numDataResources -
(72+72+numContRE))*Qm*p.numLayPerCW;
numPDSCHBits(3) = (p.numDataResources -
numContRE)*Qm*p.numLayPerCW;
p.numPDSCHBits = numPDSCHBits;
p.maxG = max(numPDSCHBits);

% Channel
function obj = LTEMIMOChannel(varargin)
end
function sub = AWGNChannel(varargin)
end

% Receive PDSCH Processing
function y = ltePDSCHReceiver(in, chEst, prmLTEPDSCH, snrdB, Wn)
numLayers = prmLTEPDSCH.numLayers;
snrLin = 10^(0.1*snrdB);
noisFac = numLayers/snrLin * eye(numLayers);
```

```
numData = size(in, 1);
y = complex(zeros(size(in)));
iWn = inv(Wn);
for i = 1:numData
h = chEst(i, :, :);
h = reshape(h(:), numLayers, numLayers).';
Q = (h'*h + noisFac)\h';
x = Q * in(i, :).';
tmp = iWn * x;
y(i, :) = tmp.';
end

% Channel Decoding
function [decTbData, crcCbFlags, iters] = lteTbChannelDecoding(nS, in, ...
Kplus, C, prmLTEDLSCH, prmLTEPDSCH)
persistent hCBTDec hCBTDecCRC;
if isempty(hCBTDec)
hCBTDec = comm.TurboDecoder('TrellisStructure', prmLTEDLSCH.trellis,...
'InterleaverIndicesSource', 'Input port', ...
'NumIterations', prmLTEDLSCH.maxIter);
end
if isempty(hCBTDecCRC)
hCBTDecCRC = commLTETurboDecoder('InterleaverIndicesSource', ...
'Input port', 'MaximumIterations', prmLTEDLSCH.maxIter);
end
assert(C <= prmLTEDLSCH.maxC, 'C>maxC'); assert(C > 0, 'C<=0');
assert(Kplus <= 6144, 'Kplus>6144'); assert(Kplus >= 40, 'Kplus<40');
intrlvrIndices = lteIntrlvrIndices(Kplus);
crcCbFlags = zeros(prmLTEDLSCH.maxC, 1);
iters = zeros(prmLTEDLSCH.maxC, 1);
```

```
maxG = prmLTEPDSCH.maxG;
G = maxG;
switch nS
case {0}
G = prmLTEPDSCH.numPDSCHBits(1);
case {2, 4, 6, 8, 12, 14, 16, 18}
G = prmLTEPDSCH.numPDSCHBits(3);
case {10}
G = prmLTEPDSCH.numPDSCHBits(2);
otherwise
end
Nl = prmLTEPDSCH.numLayPerCW;
Qm = prmLTEPDSCH.Qm;
maxGprime = maxG/(Nl*Qm);
Gprime = G/(Nl*Qm);
gamma = mod(Gprime, C);
if (C==1)
deRMCbData = lteCbRateDematching(-in, Kplus, C, G);
tDecCbData = step(hCBTDec, deRMCbData, intrlvrIndices);
decTbData = logical(tDecCbData);
crcCbFlags(1) = 0;
iters(1) = prmLTEDLSCH.maxIter;
else
decTbData = false((Kplus-24)*C,1);
E = Nl*Qm*ceil(maxGprime/prmLTEDLSCH.minC);
coder.varsize('rxCbData', E, 1);
coder.varsize('dtIdx', E, 1);
dtIdx = (1:E).';
startIdx = 0;
for cbIdx = 1:C
```

```
if ((cbIdx-1) <= (C-gamma-1))
E_CB = Nl*Qm*floor(Gprime/C);
else
E_CB = Nl*Qm*ceil(Gprime/C);
end
rxCbData = in(dtIdx(1:E_CB) + startIdx);
startIdx = startIdx + E_CB;
deRMCbData = lteCbRateDematching(-rxCbData, Kplus, C, E_CB);
[crcDetCbData, crcCbFlags(cbIdx), iters(cbIdx)] = ...
step(hCBTDecCRC, deRMCbData, intrlvrIndices);
if (~prmLTEDLSCH.fullDecode)
if (crcCbFlags(cbIdx)==1)
crcCbFlags(cbIdx+1:end) = ones(prmLTEDLSCH.maxC-cbIdx,1);
break;
end
end
decTbData((1:(Kplus-24))' + (cbIdx-1)*(Kplus-24)) = logical(crcDetCbData);
end
end

% General CRC Syndrome Detector
function y = lteCSCGenDetec(nS, numAP)
persistent hSeqGen;
persistent hInt2Bit;
NcellID = 0;
Ncp = 1;
NmaxDL_RB = 110;
y = complex(zeros(NmaxDL_RB*2, 2, 2, numAP));
l = [0; 4];
seq = zeros(size(y,1)*2, 1);
```

```
        if isempty(hSeqGen)
        hSeqGen = comm.GoldSequence('FirstPolynomial',[1 zeros(1, 27) 1 0 0 1],...
        'FirstInitialConditions', [zeros(1, 30) 1], ...
        'SecondPolynomial', [1 zeros(1, 27) 1 1 1 1],...
        'SecondInitialConditionsSource', 'Input port',...
        'Shift', 1600,...
        'SamplesPerFrame', length(seq));
        hInt2Bit = comm.IntegerToBit('BitsPerInteger', 31);
        end
        for i = 1:2
        for lIdx = 1:2
        c_init = (2^10)*(7*((nS+i-1)+1)+l(lIdx)+1)*(2*NcellID+1) + 2*NcellID +
Ncp;
        iniStates = step(hInt2Bit, c_init);
        seq = step(hSeqGen, iniStates);
        y(:, lIdx, i, 1) = (1/sqrt(2))*complex(1-2.*seq(1:2:end), 1-2.*seq(2:2:end));
        end
        end
        if (numAP>1)
        y(:, :, :, 2) = y(:, :, :, 1);
        end
        if (numAP>2)
        for i = 1:2
        c_init = (2^10)*(7*((nS+i-1)+1)+1+1)*(2*NcellID+1) + 2*NcellID + Ncp;
        iniStates = step(hInt2Bit, c_init);
        seq = step(hSeqGen, iniStates);
        y(:, 1, i, 3) = (1/sqrt(2))*complex(1-2.*seq(1:2:end), 1-2.*seq(2:2:end));
        end
        y(:, 1, :, 4) = y(:, 1, :, 3);
end
```

ДОДАТОК В. Перелік документів на оптичному носії

1 Кваліфікаційна робота Зоніна В.М.doc

2 Презентація Зоніна В.М.ppt

ДОДАТОК Г. Відгук керівника економічного розділу

Керівник розділу _____ Романюк Н.М.

(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Д. Відгук керівника кваліфікаційної роботи

В І Д Г У К

на кваліфікаційну роботу студента групи 172-19ск-1 Зоніна В.М.

на тему: «Вдосконалення алгоритму управління каналами зв'язку в стільниковій системі стандарту 4G»

Мета кваліфікаційної роботи є актуальною, оскільки вона спрямована на удосконалення методів управління каналами зв'язку в стільниковій системі стандарту 4G, зменшення витрат на сигналізацію та підвищення пропускної здатності каналів зв'язку в стільниковій системі довготермінової еволюції та покращення цих показників.

У кваліфікаційній роботі запропоновано синтезований алгоритм управління каналами зв'язку, який забезпечує значне зменшення витрат на сигналізацію. Технічним результатом є збільшення пропускної здатності каналу.

Перевагою даної роботи є розроблено та змодельовано програмне забезпечення, яке дозволяє зменшити витрати на сигналізацію та підвищити пропускну здатність каналів зв'язку.

В економічному розділі розраховано кількість часу, необхідного для розроблення програмного засобу, заробітну плату фахівця, вартість капітальних затрат, на основі чого було зроблено висновок щодо економічної ефективності програмного засобу та термін його окупності.

Рівень запозичень у кваліфікаційній роботі відповідає вимогам «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

В цілому робота задовольняє усім вимогам, а її автор Зонін В.М. заслуговує на оцінку «добре» та присвоєння кваліфікації «Бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Керівник роботи
д.т.н., проф. **В.І. Корнієнко**