

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

Факультет інформаційної безпеки та електронних комунікацій
(повне найменування факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)
магістра
(ступінь вищої освіти)

на тему СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ СИГНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
НА СТІЛЬНИКОВУ МЕРЕЖУ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Виконав(ла): студент(ка) 2м курсу, групи БК-212м

Спеціальності _____

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Радіотехніка»

АВДЄСВ Антон Миколайович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КОСТЕНКО Валер'ян Остапович

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент КОНОВАЛЕНКО Юлія Олександрівна

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Інформаційної безпеки та електронних комунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Радіотехніка
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри РТТ

К.Ф.-М.Н., доц. САМОЙЛИК С.С.

« » грудня 20 23 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА)

АВДССВУ Антону Миколайовичу

(ПІРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Спосіб зниження сигнального навантаження на стільникову мережу мобільного зв'язку

керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент, КОСТЕНКО Валер'ян Остапович
(науковий ступінь, вчене звання, ПІРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "14" листопада 2023 року №443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Необхідно дослідити питання ефективного використання ресурсів у стільникових мережах мобільного зв'язку та методів, способів зниження сигнального навантаження

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Актуальність роботи та постановка задач. Визначення основних відомостей про структуру СММЗ та сигнальне навантаження. Аналіз наявних методів і способів зниження сигнального навантаження на СММЗ. Обґрунтування обраного способу зниження сигнального навантаження на СММЗ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) презентація роботи в Microsoft PowerPoint

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконання завдання
1-4	КОСТЕНКО В.О., доцент		
Нормо-контроль	МОРОЗ Г.В., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Актуальність роботи та постановка задачі та її виконання	1-й тиждень	виконано
2	Дослідження структури СММЗ та сигнальне навантаження	1-й тиждень	виконано
3	Аналіз наявних методів і способів зниження сигнального навантаження на СММЗ	2-й тиждень	виконано
4	Математичне обґрунтування запропонованого способу	4-й тиждень	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки та презентації у Microsoft PowerPoint	5-й тиждень	виконано
6	Проходження нормоконтролю, рецензування, антиплагіату, оформлення дублінісного ядра	5-й тиждень	виконано

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)


 (підпис)
Антон АВДЕЄВ
(п.п.п. ПРИЗВИЩЕ)Валер'ян КОСТЕНКО
(п.п.п. ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 78 с., 6 табл., 18 рис., 43 джерела.

СТІЛЬНИКОВІ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ, СИГНАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ПЕРІОДИЧНЕ УТОЧНЕННЯ МІСЦЯ ПОЛОЖЕННЯ, ПЕЙДЖИНГ.

Об'єктом дослідження в даній магістерській роботі є стільникові мережі мобільного зв'язку та їх системи сигналізації.

Мета роботи – дослідити питання ефективного використання ресурсів у стільникових мережах мобільного зв'язку та методи, способи зниження сигнального навантаження в них.

Основними завданнями виконання магістерської роботи є вивчення структури, процесу функціонування та систем управління у стільникових мережах мобільного зв'язку; вивчення видів сигнального навантаження у яких, аналіз джерел її походження; аналіз вже існуючих методів та способів зниження сигнального навантаження, визначення їх основних переваг та недоліків. Визначення основного підходу щодо зниження обсягу сигнального трафіку і варіанти вирішення цієї проблеми.

Актуальність проведення дослідження обумовлена стрімким збільшенням обсягів трафіку, що передається в мобільних мережах і необхідністю задовольняти зростаючі потреби абонентів, при максимально ефективному використанні ресурсів існуючих мереж стільникового зв'язку.

ЗМІСТ

	С.
Скорочення та умовні позначки	7
Вступ.....	8
1 Обґрунтування актуальності теми та постановка завдань дослідження	10
1.1 Інфокомунікаційні послуги та нові вимоги до мереж зв'язку	10
1.1.1 Роль інфокомунікаційних послуг у створенні інформаційного суспільства.....	10
1.1.2 Особливості інфокомунікаційних послуг	11
1.2 Актуальність теми дослідження	12
1.3 Постановка завдань дослідження	14
2 Основні відомості про структуру СММЗ і сигнальне навантаження	16
2.1 Структура мережі GSM	16
2.2 Сигнальний трафік у мережах стандарту GSM	19
2.3 Управління інформацією про місцезнаходження абонента в мобільних мережах	29
2.3.1 Позиціонування в мобільних мережах	30
2.3.2 Мережеві методи відстеження.....	32
2.3.2.1 Активне відстежування.....	33
2.3.2.2 Пасивне відстежування.....	35
2.3.3 Термінальні методи відстежування	36
2.4 Визначення підходу до вирішення питання, що розглядається	38
3 Аналіз наявних методів і способів зниження сигнального навантаження на СММЗ	39
3.1 Способи проведення процедури пейджинга	39
3.1.1 Рівномірний спосіб пейджинга.....	40
3.1.2 Послідовний спосіб пейджинга.....	42
3.1.3 Саморегульований спосіб пейджинга.....	42
3.1.4 Реверсивний спосіб пейджинга	43

3.1.5 Напівреверсивний спосіб пейджинга	44
3.1.6 Широкомовний спосіб пейджинга	45
3.2 Основні методи проведення процедури періодичного уточнення місця розташування.....	45
4 Спосіб зниження сигнального навантаження на СММЗ.....	48
4.1 Математичне обґрунтування пропонованого способу.....	48
4.1.1 Варіанти практичної реалізації пропонованого способу	53
4.1.2 Переваги запропонованого способу.....	54
4.2 Проблема «незапланованого переміщення абонента» під час використання пропонованого способу зниження сигнального навантаження на СММЗ	55
4.2.1 Постійно скановані технічні параметри СММЗ	56
4.2.2 Можливий варіант розв'язання проблеми «незапланованого переміщення абонента» під час використання пропонованого способу ..	57
4.2.2.1 Параметр компенсації часу проходження сигналу від телефону до БС, діапазон його значень для мереж GSM	58
4.2.2.2 Рівень прийнятого сигналу мережі R_xLEV , діапазон його значень для мереж GSM.....	61
4.2.3 Визначення порогового значення рівня сигналу, що приймається, для відновлення проведення процедури періодичного уточнення місця розташування.....	62
4.3 Розрахунок втрат поширення на трасі згідно з моделлю Окамури-Хата.....	66
Висновки	74
Перелік джерел посилань	75

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

GII	—	глобальна інформаційна інфраструктура
GSM	—	глобальна система мобільного зв'язку
LTE	—	довгостроковий розвиток мереж зв'язку
UMTS	—	універсальна мобільна телекомунікаційна система
БС	—	базова станція
BBC	—	еталонна модель взаємодії відкритих систем
BPM	—	візитний реєстр місця розташування
КБС	—	контролер базових станцій
КС	—	комутаційна система
МС	—	мобільна станція
ОРМ	—	опорний реєстр місця розташування
СБС	—	система базових станцій
СММЗ	—	стільникові мережі мобільного зв'язку
ЦА	—	центр аутентифікації
ЦКМЗ	—	центр комутації мобільного зв'язку

ВСТУП

Глобалізація економічного життя і зростаюча роль технологічних інновацій серйозно підвищили роль інформації як одного з ключових чинників забезпечення конкурентоспроможності в сучасній економіці. Телекомунікації стали інтегральною частиною бізнесу і забезпечують внутрішні та міжнародні потоки інформації в процесі прийняття ділових рішень. Обсяг інформації, що передається через інформаційно-телекомунікаційну інфраструктуру, подвоюється у світі кожні 2-3 роки, що підсилює значення телекомунікацій як на рівні компанії, так і загалом в економіці світу, що, своєю чергою, посилює процеси глобалізації.

У процесі економічного розвитку активне використання телекомунікаційних технологій забезпечує перехід до так званого інформаційного суспільства, коли інформація стає найважливішим економічним ресурсом. Тому активний розвиток телекомунікацій сьогодні є необхідною умовою економічного прогресу і руху до постіндустріального суспільства в країнах з перехідною економікою. Сьогодні в більшості країн телекомунікації розвиваються випереджаючими темпами відносно економіки загалом, почасти згладжуючи коливання ВВП і обганяючи стадії загального розвитку багатьох країн.

Серед сучасних телекомунікаційних засобів найстрімкіше нині розвиваються системи радіотелефонного стільникового зв'язку. Їхнє впровадження дало змогу розв'язати проблему економічного використання виділеної смуги радіочастот шляхом передавання повідомлень на одних і тих самих частотах і збільшити пропускну здатність телекомунікаційних мереж. Свою назву вони отримали відповідно до стільникового принципу організації зв'язку, згідно з яким зона обслуговування (територія міста або регіону) ділиться на комірки (стільники). Ці системи рухомого зв'язку, що з'явилися порівняно недавно, є принципово новим видом систем зв'язку, оскільки їх

побудовано відповідно до стільникового принципу розподілу частот по території обслуговування і призначено для забезпечення радіозв'язком великої кількості рухомих абонентів із виходом у телефонну мережу загального користування.

Оптимальне управління ресурсами стільникової мережі мобільного зв'язку (СММЗ) є основним фактором виживання в умовах ринкової економіки. СММЗ являє собою систему масового обслуговування, для успішної роботи якої потрібна певна технічна оснащеність і широка мережа абонентів. При цьому має забезпечуватися певний баланс ресурсів системи рухомого зв'язку і джерела заявок. Однак одне не існує без іншого, тому можливості СММЗ мають відповідати потребам в обслуговуванні абонентів мережі. Звідси під управлінням ресурсами слід розуміти і ефективно використання каналів зв'язку, і регулювання інтенсивності вхідного потоку заявок. Чіткість і надійність функціонування окремих складових ресурсів визначає життєздатність компанії оператора зв'язку.

Метою цієї магістерської роботи є розгляд питання ефективного використання ресурсів СММЗ і визначення можливого варіанта його вирішення.

1 ОБҐРУНТУВАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Інфокомунікаційні послуги та нові вимоги до мереж зв'язку

1.1.1 Роль інфокомунікаційних послуг у створенні інформаційного суспільства

Сучасний етап розвитку світової цивілізації характеризується переходом від індустріального до інформаційного суспільства, що передбачає наявність нових форм соціальної та економічної діяльності, які базуються на масовому використанні інформаційних і телекомунікаційних технологій.

Технологічним підґрунтям інформаційного суспільства є Глобальна інформаційна інфраструктура (Global Information Infrastructure – GII), яка має забезпечити можливість доступу до інформаційних ресурсів кожного жителя планети [1]. Інформаційну інфраструктуру становить сукупність баз даних, засобів обробки інформації, взаємодіючих мереж зв'язку та терміналів користувачів. Доступ до інформаційних ресурсів у GII реалізується за допомогою послуг зв'язку нового типу, які отримали назву послуг Інформаційного суспільства або інфокомунікаційних послуг.

Спостережувані нині високі темпи зростання обсягів надання інфокомунікаційних послуг дають змогу прогнозувати їх переважання на мережах зв'язку в найближчому майбутньому. На сьогоднішній день розвиток інфокомунікаційних послуг здійснюється, в основному, в рамках комп'ютерної мережі Internet, доступ до послуг якої здійснюється через традиційні мережі зв'язку. Водночас у низці випадків послуги Internet, зважаючи на обмежені можливості її транспортної інфраструктури, не відповідають сучасним вимогам, що пред'являються до послуг

інформаційного суспільства. У зв'язку з цим розвиток інфокомунікаційних послуг вимагає розв'язання завдань ефективного управління інформаційними ресурсами з одночасним розширенням функціональності мереж зв'язку. У свою чергу, це стимулює процес інтеграції Internet і мереж зв'язку.

1.1.2 Особливості інфокомунікаційних послуг

До основних технологічних особливостей, що відрізняють інфокомунікаційні послуги від послуг традиційних мереж зв'язку, можна віднести такі:

- інфокомунікаційні послуги надаються на верхніх рівнях еталонної моделі взаємодії відкритих систем (BBC) (тоді як послуги зв'язку надаються на третьому, мережевому рівні);
- більшість інфокомунікаційних послуг передбачає наявність клієнтської та серверної частин (клієнтська частина реалізується в обладнанні користувача, а серверна – на спеціальному виділеному вузлі мережі, що називається вузлом служб);
- інфокомунікаційні послуги зазвичай передбачають передання інформації мультимедіа, яка характеризується високими швидкостями передання і несиметричністю вхідного і вихідного інформаційних потоків;
- для надання інфокомунікаційних послуг часто необхідні складні багатоточкові конфігурації з'єднань;
- для інфокомунікаційних послуг характерна різноманітність прикладних протоколів і можливостей з управління послугами з боку користувача;
- для ідентифікації абонентів може використовуватися додаткова адресація в рамках даної інфокомунікаційної послуги.

Більшість інфокомунікаційних послуг є «додатками», тобто їхня функціональність розподілена між обладнанням постачальника послуги та кінцевим обладнанням користувача. Як наслідок, функції кінцевого

обладнання також мають бути віднесені до складу інфокомунікаційних послуг, що необхідно враховувати під час їх регламентації.

Бізнес-модель, що визначає учасників процесу надання інфокомунікаційних послуг та їхні взаємовідносини, також відрізняється від моделі традиційних послуг електрозв'язку, у якій було представлено лише три основні учасники: оператор, абонент і користувач. Нова ділова модель передбачає наявність постачальника послуг, який надає інфокомунікаційні послуги абонентам і користувачам. При цьому сам постачальник є споживачем послуг перенесення, що надаються оператором мережі зв'язку. На ринку можуть також бути присутніми додаткові види постачальників послуг:

- постачальники інформації (надає інформацію постачальнику послуг для поширення);
- брокери (надає інформацію про постачальників послуг та їхніх потенційних абонентів, сприяє користувачам під час пошуку постачальників послуг, які надають необхідні їм послуги);
- ритейлери (виступає як посередник між постачальником послуг і користувачем з метою адаптації послуги до його індивідуальних вимог) та ін.

1.2 Актуальність теми дослідження

Протягом останнього десятиліття розвиток мобільного зв'язку був феноменальним. Сучасне зростання популярності мобільного зв'язку зумовлене впровадженням нових послуг для абонентів, а також доступністю самого зв'язку для населення.

Надання сучасних мультимедійних послуг є важливою темою в питанні розвитку наявних мереж рухомого зв'язку в рамках концепції задоволення вимог користувачів і відповідності актуальним тенденціям розвитку.

Стрімкий розвиток технічного прогресу в галузі телекомунікацій і цифрових систем рухомого зв'язку неминуче веде до збільшення кількості

абонентів, які інтенсивно використовують мобільні системи. При цьому операторами зв'язку для залучення абонентів запроваджуються всілякі додаткові види послуг, зокрема й визначення місця розташування абонента на його замовлення або запит іншого абонента. Це не може не позначитися на обсязі сигнального трафіку мережі мобільного зв'язку і веде до його збільшення.

Збільшення сигнального трафіку є актуальною і важливою проблемою в мережах персонального зв'язку. Це зумовлено тим, що для обслуговування сигнального трафіку потрібні значні витрати ресурсів мережі (наприклад, бездротова смуга пропускання, обчислювальні можливості мобільних терміналів, базових станцій і баз даних). Неефективне використання смуги пропускання, зі свого боку, може призвести до перевантаження мережі, а отже, і до відмови її роботи. Також при зростанні обсягу службового трафіку в мережі, зростає і витрата енергії мобільним апаратом, що призводить до швидкої розрядки акумуляторної батареї мобільного телефону [2-4].

Нині найбільшого поширення серед засобів рухомого зв'язку, через свою доступність і простоту, набули СММЗ.

Для повнішого використання наявного частотного ресурсу в стільникових мережах використовуються різні спеціальні процедури, що сприяють зменшенню навантаження на систему мережевого управління і підвищенню якості обслуговування абонента. До деяких із них належать процедури підключення та ініціалізації мобільної станції (МС), хендовера, здійснення виклику абонента, її відключення тощо.

Зі зростанням кількості абонентів мережі дуже важливо, щоб процедури, які не беруть участі в обслуговуванні викликів, займали мінімальні ресурси. Так, наприклад, під час проведення процедури відключення МС від мережі в радіоканалі можлива поява перешкоди, яка заблокує отримання базовою станцією (БС) повідомлення про відключення, і мережа продовжуватиме вважати МС активною. Для розв'язання цієї проблеми, наприклад, у мережах стандарту GSM, проводять процедуру

періодичної реєстрації (уточнення місця розташування), що здійснюється в режимі очікування всіма МС. За цієї процедури, якщо МС протягом певного часового інтервалу T (визначається параметром $T3212$ для мереж стандарту GSM) не підтверджує свою присутність, то така станція вважається відключеною від мережі [5].

Однак можлива ситуація, коли МС залишається увімкненою, але проходження періодичної реєстрації з якихось причин у точно зазначений термін параметром $T3212$ неможливе. Тоді таку працюючу МС у системі буде позначено як відключену і виклик до абонента буде неможливим.

З іншого боку, якщо повторювати уточнення місця розташування до отримання квитанції від БС про його проведення, то значно зросте навантаження на систему мережевого управління. Не виключена ситуація, коли в цей самий час відбудеться запит на визначення місця розташування іншими МС, що перебувають у стільнику, що так само збільшить навантаження на сигналізаційну частину мережі. Якщо одночасно з попередніми подіями абонент зробить запит на визначення свого місця розташування, яке може входити до складу додаткових послуг оператора, то за умови, що кількість МС у стільниковій мережі досить велика, сигнальне навантаження може зрости до повної відмови системи управління.

Таким чином, проблема ефективного використання ресурсів сучасних мереж мобільного зв'язку є актуальною темою для операторів зв'язку.

1.3 Постановка завдань дослідження

Для подальшого дослідження питання ефективного використання ресурсів сучасних мереж стільникового зв'язку, необхідно визначити основні завдання, що підлягають вирішенню в цій роботі:

- вивчення структури, процесу функціонування та систем управління в СММЗ;

- дослідження видів сигнального навантаження даних мереж, аналіз джерел його походження;
- визначення основного підходу в питанні зниження обсягу сигнального трафіку;
- аналіз уже наявних методів і способів зниження сигнального навантаження, визначення їхніх основних переваг і недоліків;
- пропозиція способу зниження сигнального навантаження на СММЗ;
- проведення математичного обґрунтування;
- підтвердження його ефективності.

2 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СТРУКТУРУ СММЗ І СИГНАЛЬНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

Мобільна мережа – це бездротова мережа, що складається з радіосот (основних географічних складових стільникових систем), кожна з яких обслуговується щонайменше однією фіксовано розташованою БС.

Для вирішення поставлених у першому розділі завдань необхідно розглянути основні відомості про структуру мобільних мереж, систем сигналізації в них. Також провести аналіз наявних джерел сигнального навантаження і визначити можливий загальний підхід до дослідження питання більш ефективного його розподілу.

Це питання розглядається на прикладі мережі стандарту GSM (Global System for Mobile communication – глобальна система мобільного зв'язку). Хоча частка сучасних мереж, що розвиваються, таких як UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – універсальна мобільна телекомунікаційна система) і LTE (Long Term Evolution – довгостроковий розвиток мереж зв'язку), постійно зростає, на сьогоднішній день технологія GSM має найширше охоплення ринку послуг мобільного зв'язку, а ці мережі обслуговують понад 85 % населення земної кулі [6].

2.1 Структура мережі GSM

Мережа GSM ділиться на 2 системи. Кожна з цих систем містить у собі низку функціональних пристроїв, які, своєю чергою, є компонентами мережі мобільного радіозв'язку.

Такими системами є:

- комутаційна система (КС);
- система базових станцій (СБС);

Кожна з цих систем контролюється комп'ютерним центром управління. На рисунку 2.1 представлено функціональну схему цих систем.

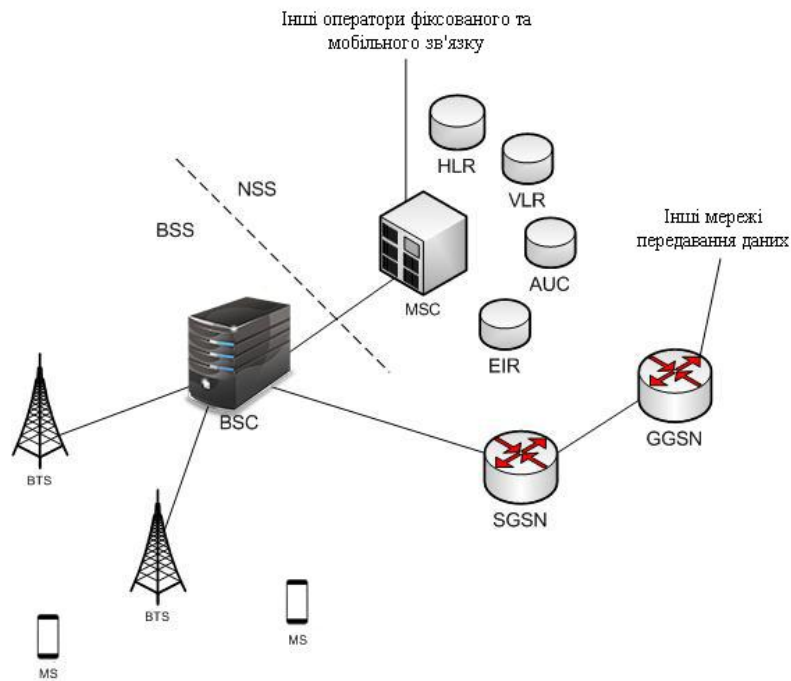


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи мобільного радіозв'язку

У таблиці 2.1 наведено розшифровки скорочень, наведених на рисунку 2.1.

Таблиця 2.1 – Розшифровки скорочень функціональних елементів системи мобільного радіозв'язку

Абревіатура	Англійська назва	Українська назва
AUC	Authentication Center	Центр аутентифікації (перевірки автентичності абонента)
BSC	Base Station Controller	Контролер базових станцій
BSS	Base Station System	Система базових станцій

Пробовження таблиці 2.1

Абревіатура	Англійська назва	Українська назва
BTS	Base Transceiver Station	Базова станція, що приймає та передає сигнал
EIR	Equipment Identity Register	Регістр ідентифікації обладнання
GGSN	Gateway GPRS Support Node	Шлюзовий вузол
HLR	Home Location Register	Опорний регістр місця розташування
MS	Mobile Station	Мобільна станція
MSC	Mobile services Station Center	Центр комутації мобільного зв'язку
NSS	Network Switching System	Комутаційна система
SGSN	Serving GPRS Support Node	Вузол обслуговування абонентів
VLR	Visitor Location Register	Реєстр місцезнаходження відвідувачів

Система КС виконує функції обслуговування викликів і встановлення з'єднань, а також відповідає за реалізацію всіх призначених абоненту послуг.

КС містить у собі такі функціональні пристрої:

- центр комутації мобільного зв'язку (ЦКМЗ);
- опорний регістр місця розташування (ОРМ);
- візитний регістр місця розташування (ВРМ);
- центр аутентифікації (ЦА);
- регістр ідентифікація обладнання (РІО).

Система СБС відповідає за всі функції, що стосуються радіоінтерфейсу. Ця система містить у собі такі функціональні блоки:

- контролер базових станцій (КБС);
- базову станцію (БС).

Центр технічного обслуговування (ЦТО) виконує всі завдання з експлуатаційно-технічного обслуговування для мережі, наприклад, з нього проводиться спостереження за мережевим трафіком, за аварійними сигналами від усіх мережевих елементів. З ЦТО доступ здійснюється як до КС, так і до СБС.

Пакетні дані, на відміну від голосового трафіку, передаються від підсистеми базових станцій не в бік ЦКМЗ, а в бік вузла обслуговування абонентів (ВОА). Цей елемент являє собою маршрутизатор із розширеними функціями. На нього покладено функції встановлення сесії пакетного передавання даних, маршрутизації пакетів, нарахування плати за надані послуги.

Шлюзовий вузол (ШВ) являє собою шлюз мережі. Якщо пакети маршрутизуються за межі мережі оператора, то вони потрапляють саме в ШВ. Цей елемент часто конструктивно об'єднується разом із ВОА в одному пристрої.

МС не належить до жодної з цих систем, але розглядається як елемент мережі.

Усі мережеві функціональні компоненти в стандарті GSM взаємодіють відповідно до системи сигналізації МККТТ ОКС № 7.

2.2 Сигнальний трафік у мережах стандарту GSM

У мережах GSM для обміну інформацією в процесі обслуговування викликів між елементами мережі, а також для взаємодії з іншими мережами електрозв'язку прийнято дві основні системи сигналізації: ОКС №7 і LAP-D. Використання цих двох систем сигналізації зумовлено тим, що для організації міжстанційної сигналізації електронних АТС стаціонарних ТМЗК уже значний час використовується система сигналізації ОКС №7, і вона

також прийнята для забезпечення сигналізації в цифрових мережах ISDN. Крім того, в мережі GSM необхідно здійснювати сигналізацію в конфігурації «точка-багатокапка». А протокол LAP-D спеціально створений для цих цілей, і він широко використовується в мережі ISDN. Таким чином, використання цих мереж сигналізації робить GSM сумісною з ТфОП і ISDN.

Система сигналізації ОКС №7 розроблена з урахуванням її узгодження з еталонною моделлю взаємодії відкритих систем (BBC). Функціонально модель ОКС також має рівневу структуру, але рівні моделі ОКС №7 не ідентичні рівням еталонної моделі BBC.

Модель ОКС №7 зображено на рисунку 2.2 та має такі елементи: MTP – підсистема передавання повідомлення, SCCP – підсистема управління з'єднанням сигналізації, TCAP – підсистема обробки транзакцій, MAP – підсистема користувача рухомого зв'язку, ISUP – підсистема користувача ISDN, TUP – підсистема користувача телефонії, MUP – підсистема користувача рухомого зв'язку (NMT), HUP – підсистема передавання сигналів керування в процесі розмови (NMT), INAP – підсистема користувача інтелектуальної мережі, OMAP – підсистема техобслуговування та експлуатації.

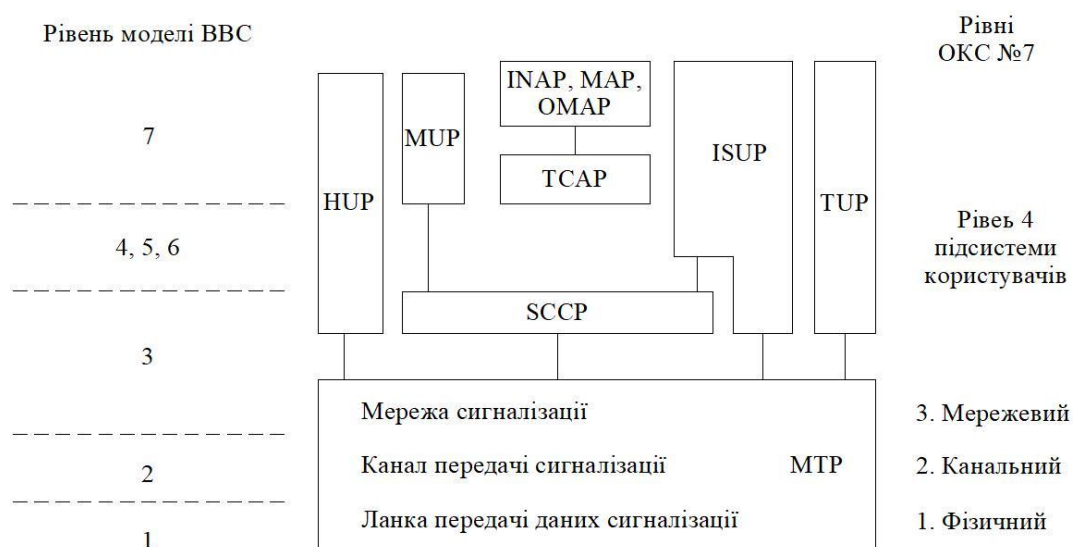


Рисунок – 2.2 Модель ОКС №7

Нижні рівні ОКС №7: ланка передачі даних сигналізації та канал передачі сигналізації повністю узгоджуються з фізичним і каналним рівнями моделі ВВС. Третій рівень ВВС – мережа сигналізації – не забезпечує всі функції мережевого рівня моделі ВОС: не виконуються повністю функції маршрутизації. Усі три рівні ОКС №7 разом називаються підсистемою передачі повідомлень МТР.

Для виконання всіх функцій мережевого рівня в модель ОКС №7 додано підсистему управління з'єднанням сигналізації SCCP, що забезпечує звернення підсистеми передавання повідомлень до мережевої послуги. Вищі рівні моделі ВОС безпосередньо зв'язуються з SCCP. Підсистема МТР разом із підсистемою SCCP утворюють підсистему мережевих послуг NSP.

На четвертому рівні визначено функції та процедури для різних підсистем користувачів.

Завданням підсистем користувачів є підготовка та обробка повідомлень під час обміну сигнальною інформацією між вузлами комутації. У загальному випадку повідомлення містить код типу повідомлення та інформаційні елементи повідомлення (поле сигнальної інформації – SIF).

Сформувавши повідомлення, підсистема користувачів передає його підсистемі передачі повідомлення МТР. До функцій третього рівня МТР входить маршрутизація сигнальних одиниць (СО) у мережі ОКС, для чого на третьому рівні додаються поля LABEL і SIO (рис. 2.3). Поле SIO (байт службової інформації) довжиною 8 біт є індикатором служби, тобто призначеної для користувача частини ОКС №7, якій адресовано інформацію.

Поле LABEL містить: код пункту призначення DPC; код пункту відправлення OPC; поле селекції ланки сигналізації SLS – містить код призначеного для користувача каналу, для управління яким передають сигнальну одиницю, а також вказівку вибору сигнальної ланки, якщо між вузлами комутації є кілька сигнальних каналів.

Другий рівень МТР охоплює функції та процедури управління передачею СО на одній ланці сигналізації. Ці функції забезпечують

достовірний обмін інформацією між двома сигнальними точками. Кожна СО на другому рівні (рис. 2.3) обрамляється прапорами F (01111110). Детектування можливих помилок під час передачі реалізується за рахунок 16-ти контрольних біт – СК. Кожна СЕ, передана й очікувана, має прямий і зворотний порядкові номери FSN і BSN, а також відповідні біт-індикатори FIB і BIB. Крім того, в полі індикатора довжини LI вказується число байт, що йдуть за байтом індикатора довжини і передують перевірочним бітам.

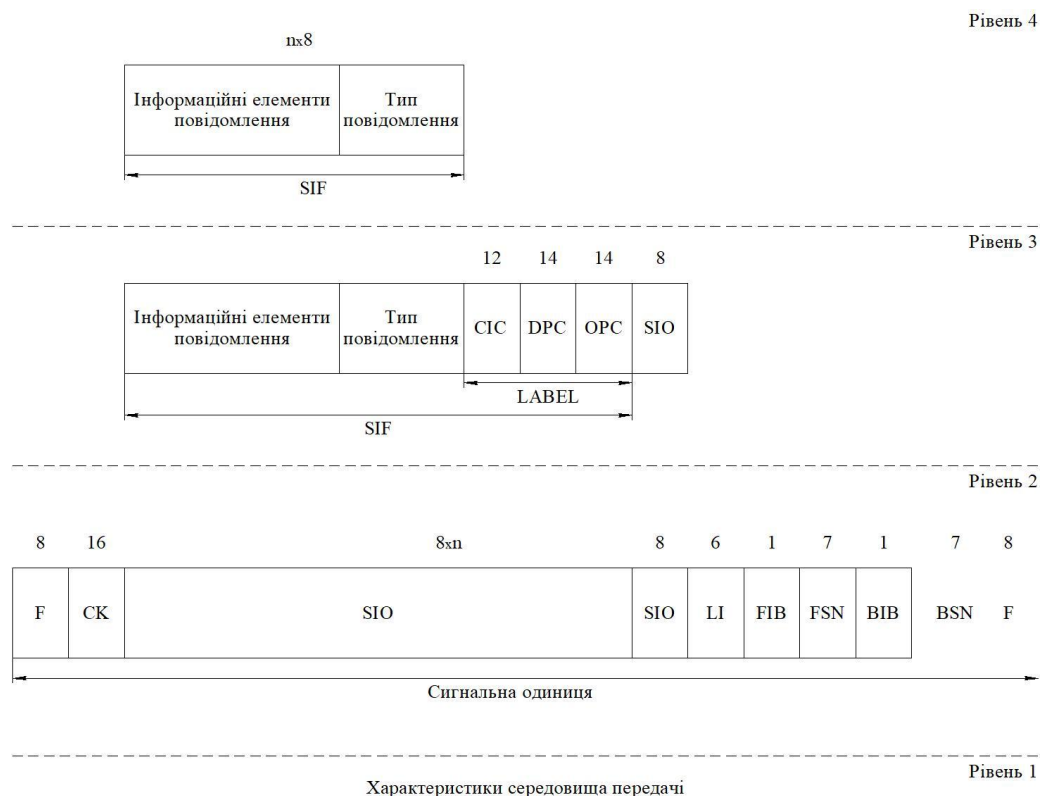


Рисунок – 2.3 Функції рівнів моделей ОКС №7

У разі виявлення помилки в прийнятій СО, вона перезапитується шляхом передання номера останньої правильно прийнятої СО в поле BSN, збільшеного на одиницю. При цьому інвертується значення FIB.

На першому рівні визначено всі фізичні, електричні та функціональні характеристики ланки ОКС, у яку включено канал обміну сигнальними повідомленнями в обидва напрямки одночасно. У ланку сигналізації може

бути включено і цифрове комутаційне поле, якщо сигнальний канал комутується. Характеристиками ланки мережі ОКС на першому рівні є: швидкість передавання, спосіб синхронізації, лінійне кодування, імовірність помилки в процесі передавання тощо.

Незважаючи на потужні можливості ОКС №7, у такому вигляді вона не може задовольнити потреби мережі GSM, тому що розрахована на те, що інтелект з обслуговування викликів сконцентрований у вузлах комутації, та її протоколи пов'язані з інформаційними каналами для передання користувацької інформації. У мережі GSM інтелект процесу обслуговування викликів розподілений між функціональними одиницями і необхідна наявність нормативних положень щодо протоколів обміну інструкціями та даними між розподіленими внутрішньомережевими ресурсами (прикладними процесами). Для цього в рамках ОКС №7 введено можливі транзакції ТС незалежно від застосувань, які додаються до служб мережевого рівня моделі BBC (MTP плюс SCCP). Можливості транзакції складаються з прикладної підсистеми обробки транзакції TCAP на 7 рівні моделі BBC і стандартних протоколів рівнів 4-6, що підтримують їх.

Для підтримки сигналізації в мережі GSM між її функціональними одиницями розроблено два різновиди підсистем ОКС №7: користувачів рухомого зв'язку – MAP і базових станцій – BSSAP.

Використання можливостей підсистем користувачів ОКС №7 для сигналізації в мережі GSM представлено на рисунку 2.4. Прикладна частина MAP реалізована в ЦКМЗ, OPM, BPM і PIO (рис. 2.5). Вона забезпечує їхню взаємодію між собою і складається з низки функціональних елементів ASE, кожен з яких виконує одне із завдань з обміну сигнальною інформацією (рис. 2.6) з однієї стільникової мережі в іншу.

Підсистема MAP забезпечує не тільки передачу інформації між стільниковими системами, а й організовує активацію тих чи інших операцій з віддаленого кінця. Наприклад, під час надходження певних повідомлень з іншої стільникової мережі активізуються послуги стільникової мережі, якій

належить абонент, що викликає, а також повідомляються у зворотному напрямку результати активації тих чи інших послуг.

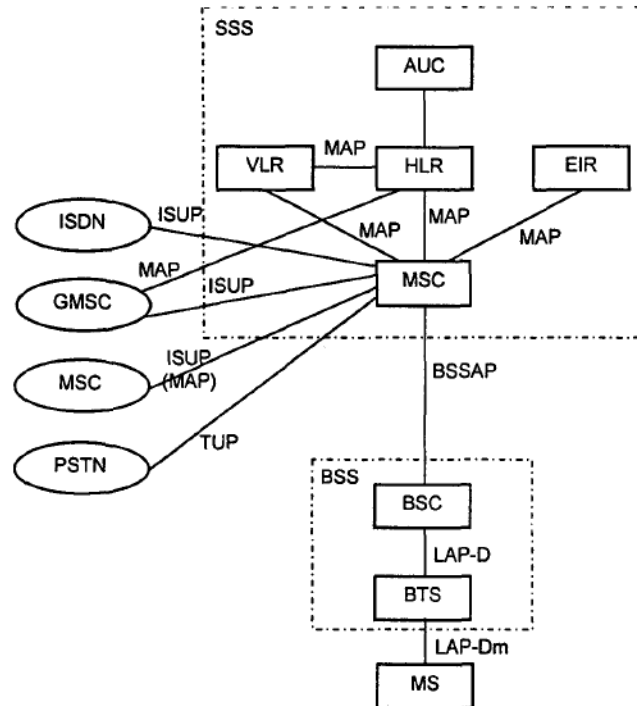


Рисунок 2.4 – Використання підсистем ОКС для сигналізації в мережі GSM

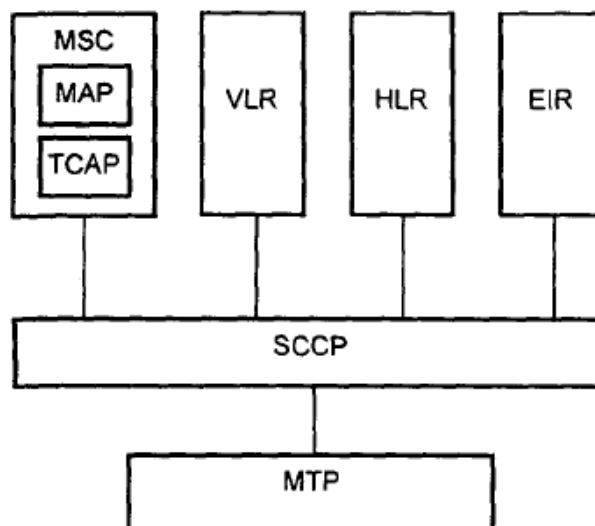


Рисунок 2.5 – Реалізація протоколів ОКС №7 для підтримки послуг мережі GSM

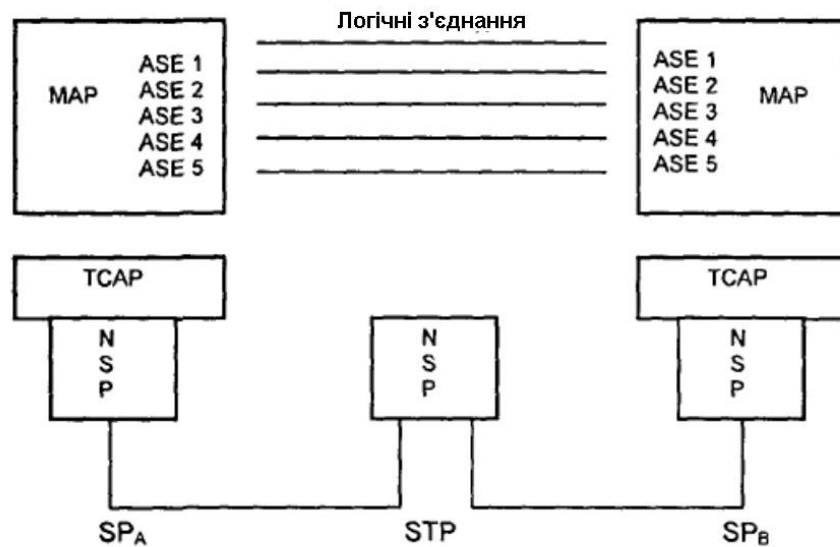


Рисунок 2.6 – Взаємодія прикладних підсистем ОКС №7

Початкові специфікації підсистеми MAP було надано в рекомендації МККТТ Q. 1051 Синьої книги. Надалі всі дослідження підсистеми проводилися ETSI.

До основних процедур MAP належать: реєстрація місця розташування абонента для збереження можливості здійснення вихідних і приймання вхідних дзвінків у межах усієї мережі, що забезпечує можливість роумінгу; перереєстрація та стирання попередньої інформації про місцезнаходження абонента; додаткові види обслуговування; зміна абонентських даних у реєстрах OPM і BPM; передання інформації про тарифікацію та ін.

З огляду на, з одного боку, функціональну побудову мережі GSM, а з іншого боку, особливості процесу обслуговування викликів під час організації взаємодії ЦКМЗ, OPM, BPM і РІО між собою, поряд із підсистемою мережеских послуг NSP (МТР плюс SCCP), використовується підсистема обробки транзакцій TCAP. При цьому MAP може здійснювати

управління декількома діалогами одночасно між функціональними одиницями мережі.

Прикладна частина BSSAP забезпечує взаємодію ЦКМЗ і обладнання СБС. При цьому BSSAP для транспортування повідомлень використовує тільки послуги NSP. На неї покладається управління обміном двома групами повідомлень: наскрізними повідомленнями через СБС між ЦКМЗ і мобільною станцією МС; повідомленнями між ЦКМЗ і СБС. Це призвело до того, що підсистема BSSAP розділена на дві функціональні частини: підсистема наскрізного передавання повідомлень – DTAP; підсистема управління BSS-SSMAP.

Повідомлення DTAP і BSSMAP включаються до формату SCCP як поле даних, структура якого наведена на рисунку 2.7. При цьому: 7-й біт дискримінатора вказує, чи прозоре сигнальне з'єднання («1» – так, «0» – ні), тобто якій функціональній частині BSSAP адресовано повідомлення; 6-й і 7-й біти ідентифікатора каналу DLCI використовуються тільки прикладною частиною для прозорого передавання DTAP для визначення логічного КУ між БС і МСС («0» – індивідуальний сигнальний D-канал або швидкий асоційований А-канал, «01» – повільний асоційований А-канал); біти 0, 1, 2 ідентифікатора каналу містять у собі ідентифікатор доступу до послуг SAPI, що визначає, чи є дані, що передаються, повідомленням сигналізації, техобслуговування або даними, адресованими другому рівню протоколу LAP-D.

На ділянці КБС – БС використовують стандартні цифрові канали зі швидкістю передавання 64 кбіт/с. Для транспортування сигнальної інформації стандартним цифровим каналом використовують ланкові можливості протоколу LAP-D, що широко застосовуються в ISDN. При цьому забезпечуються два режими доставки інформації на ланці: з підтвердженням і без підтвердження. Обмін інформацією на ланковому (другому) рівні (відповідно до моделі BOC) протоколу LAP-D здійснюється у вигляді кадрів (FCS – контрольні біти, TEI – ідентифікатор точки

підключення, SAPI – ідентифікатор доступу до послуг, C/R – індикатор команди/відповіді, EA – індикатор розширення адресного поля за байтами), формат якого наведено на рисунку 2.8. Будь-який кадр ідентифікується стартовим і кінцевим прапором F (01111110).

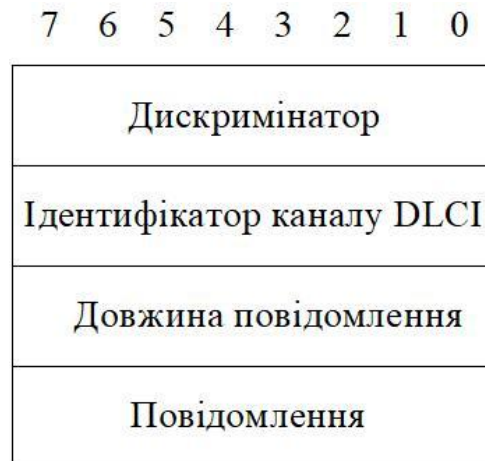


Рисунок 2.7 – Формат SCCP

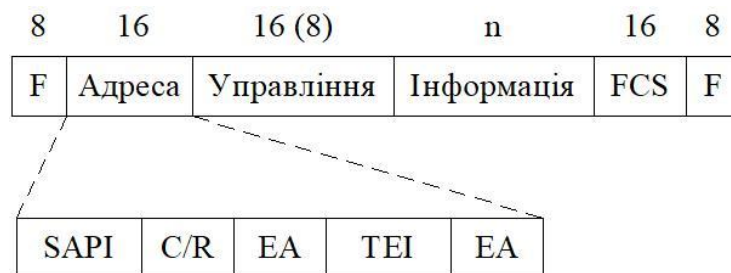


Рисунок 2.8 – Формат кадру в протоколі LAP-D

З метою забезпечення прозорості цифрового потоку каналу для інформації, що міститься між прапорами, використовується процедура біт-стаффінгу. Контроль над достовірністю реалізується за допомогою контрольних біт FCS. Адресне поле кадру містить ідентифікатор точки підключення – TEI; ідентифікатор доступу до послуг – SAPI; індикатор

команди («0») або відповіді («1») – C/R (Command/Response); індикатор розширення адресного поля за байтами – EA («0» – так, «1» – ні). Використання полів SAPI і TEI у процесі доставки інформації на ділянці КБС – БС показано на рисунку 2.9.

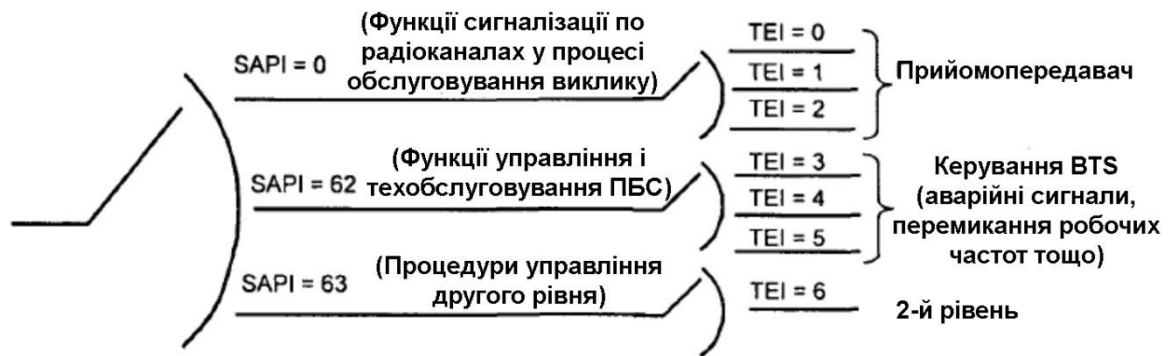


Рисунок 2.9 – Використання полів SAPI и TEI

Поле управління визначає тип формату кадру і містить інформацію, необхідну для управління обміном кадрами на ланці: номери переданого й очікуваного кадрів і відповідної біт-індикації.

У загальному випадку три типи форматів: I – інформаційний кадр; S – керуючий кадр; U – нумерований кадр. Формат кадру типу S не має інформаційного поля і використовується для: підтвердження про прийом кадру, (RR), сповіщення про зайнятість (RNR), перепитування кадрів (REJ) тощо. Кадри формату U можуть мати інформаційне поле, але не містять порядкових номерів. Вони використовуються: для встановлення двостороннього логічного каналу (SABME) і його руйнування (DISC), для відмови в разі переповнення буфера (FRMR) тощо.

Таким чином, для успішного встановлення з'єднань залежно від ланки ланцюга використовується і відповідний тип сигналізації.

2.3 Управління інформацією про місцезнаходження абонента в мобільних мережах

У будь-який момент часу мобільний термінал під'єднаний до мережі через одну обслуговуючу БС. Однак для економії смуги пропускання мережі та її обчислювальних ресурсів збереження інформації про з'єднання терміналу на рівні персональних осередків не виконується постійно. Для цього використовуються більш складні механізми визначення обслуговуючої стільники.

Управління інформацією про місцезнаходження абонента в СММЗ містить у собі процедури уточнення місця розташування і пейджінга (рис. 2.10) [7]. Уточнення місця розташування – це процес надання інформації про місцезнаходження МС з погляду обслуговуючої стільники мережі та зберігання цих даних у мережевому реєстрі. Ця процедура виконується, коли користувач перетинає межі «зони місцезнаходження» (географічно великі, що складаються з 10-100 осередків) або після закінчення істотного проміжку часу (для GSM визначається параметром T3212). Пейджинг – це процедура активного пошуку терміналу через останню відому зону місцезнаходження. Вона виконується щоразу при встановленні зв'язку з МС (виклик, SMS, передача даних).

Тому, коли не виконується процес комунікації, відома тільки область, у якій мобільний термінал працює в режимі очікування. Таким чином, точні відомості про розташування БС, що обслуговує, гарантуються тільки при виконанні процедури пейджінга або в разі активного підтримання зв'язку самим користувачем [7].

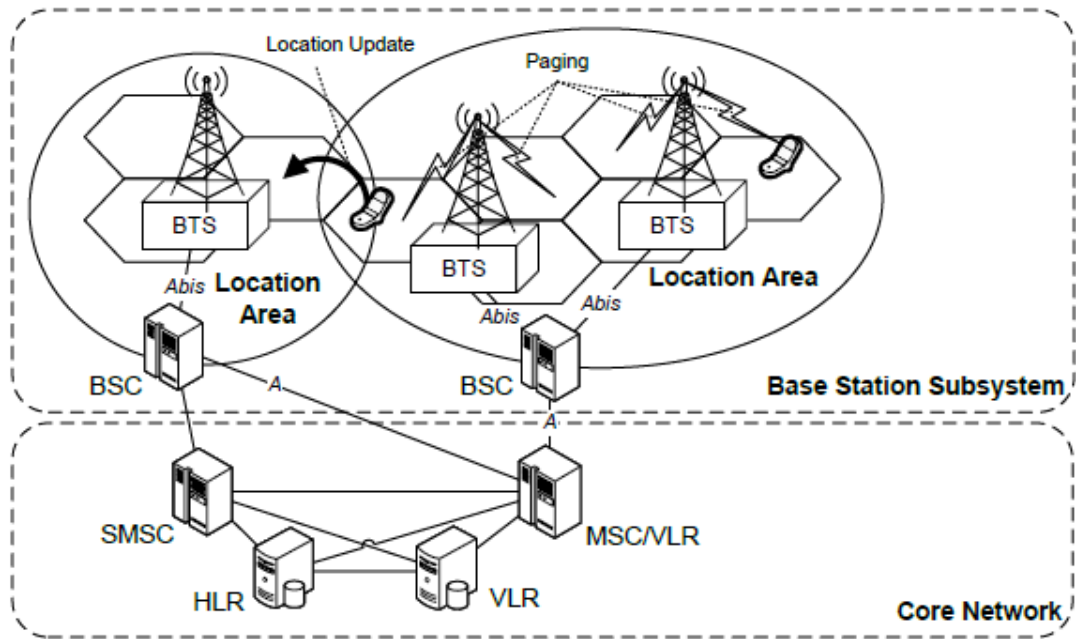


Рисунок 2.10 – Процес виконання процедури уточнення місця розташування

2.3.1 Позиціонування в мобільних мережах

Визначення місця розташування – це процедура визначення приблизного географічного місця розташування користувача МС у мобільній мережі. Здійснюється кількома способами: ті, що виконуються мережею, та ті, що виконуються терміналами, залежно від сторони, що виконує вимірювання та обчислення місцезнаходження МС.

Для реалізації методів, що виконуються МС, необхідне спеціальне обладнання або програмне забезпечення для терміналу. Вони, як правило, залежать від супутникової інфраструктури.

Найбільш відомим представником таких методів є Глобальна система визначення місцезнаходження (Global Positioning System – GPS) [7], що надає послуги позиціонування високої точності, але з невисоким рівнем доступу, з огляду на те, що під час GPS сигнал не приймають у будівлях.

Під час застосування A-GPS (Assisted Global Positioning System) [7] використовується додаткова допоміжна інформація CMMЗ, що призводить до скорочення часу першого визначення місця розташування терміналу. Дана послуга надає більш точні дані, ніж GPS і збільшує чутливість приймача.

Для реалізації методу «відбитків пальців» або «фінгерпринтинг» («fingerprinting») [7] використовується потужність сигналу, що приймається від БС мобільних мереж або розташованих неподалік точок бездротового доступу, для зіставлення з географічними координатами МС. Еталонні бази даних зразків сигналів і відповідне їм місце розташування дають змогу обчислювати розташування терміналу з високим рівнем точності.

Менш точним, але найбільш доступним усередині зони покриття мережі є спосіб визначення місця розташування за ID стільники [7]. У кожній МС є відомості про ID стільники, що обслуговує, на даний момент, таким чином, не потрібно ніякого додаткового обладнання. Оскільки користувацький термінал не має інформації про координати стільникової вишки, ці дані надаються базою даних ID осередків.

Також існують методи, засновані на додатковій термінальній допомозі, як-от E-OTD (Enhanced Observed Time of Difference) [7] у GSM або OTDoA (Observed Time Difference of Arrival) в UMTS мережах, які працюють за допомогою комбінування кругової або гіперболічної трилатерації з часовим вимірюванням. МС обчислює своє місце розташування з даних про сигнали декількох БС. Для реалізації цих методів на кожній БС (або кожній третій, четвертій тощо) мережі встановлюється блок вимірювання місця розташування (Location Measurement Unit – LMU) для встановлення і досягнення подальшої синхронізації між БС.

Засновані на мережевих даних методи позиціонування відрізняються за ступенем необхідності проведення мережевих оновлень і є компромісним рішенням у питаннях точності позиціонування і витрат реалізації.

Метод часової різниці приймання сигналу висхідним каналом (Uplink Time Difference of Arrival – U-TDOA) [7] ґрунтується на гіперболічній

трилатерації, що схоже на E-OTD. Але для цього методу тимчасові вимірювання проводять за допомогою висхідного каналу, це означає, що сигнал, який приймають від МС, відстежується мережею, тоді як для E-OTD у мережевих пристроях необхідно додатково встановлювати LMUs.

Cell-ID метод [7] базується на тому, що мобільний термінал може обслуговуватися тільки однією сотою в поточний момент. Cell-ID – це поточні географічні координати МС і стільники, які можуть бути виражені через розташування відповідної БС. Точність цього методу залежить від розмірів стільники.

Тимчасова затримка (Timing Advance – TA) – це параметр, який покращує показники точності позиціювання для методу Cell-ID шляхом комбінування з додатковими вимірами – TA використовується в мережах GSM для компенсації часу проходження сигналу від МС до БС. Застосування методу Cell-ID+TA обмежується тим, що місцеположення завжди розраховується з даних обслуговуючої БС, тому не можуть бути враховані показники інших БС для використання трилатерації [7].

Останній метод – AECID (Adaptive Enhanced Cell-ID) [7], що комбінує інформацію про Cell-IDs БС, що обслуговує, та сусідніх стільниках, вимірювання TA та вимірювання потужності оцифрованого сигналу, автоматично будує радіо «фінгерпринтинг» усієї мережі. Метод AECID є більш точним порівняно з методом Cell-ID+TA, але також є більш складним і використовує BSSAP-LE протокол, який має бути впроваджений у мережі.

2.3.2 Мережеві методи відстеження

Розрізняють два основні методи мережевого відстеження: активний і пасивний [8]. Активне відстеження ґрунтується на запитах мережі щодо місцезнаходження пристрою, що відстежується, тобто відбувається активний збір інформації про географічні координати МС або про її присутність у кінцевих мережевих вузлах, наприклад у стільниках. І навпаки: за пасивного

методу відстеження використовуються експлуатаційні дані, як-от білінгові записи або відомості мережевого журналу, що генеруються і зберігаються автоматично для білінгу та усунення пошкоджень мережі.

2.3.2.1 Активне відстежування

Для того щоб отримати поточні дані про місцезнаходження користувача, у мережі має відбуватися активний його пошук, що призводить до активних витрат додаткового трафіку. Найпростіший спосіб визначити приблизне місце розташування користувача – це отримати ID стільники, за якою користувач закріплений на даний момент. Відстежити користувацький мобільний термінал користувача, використовуючи ID стільники означає, що інформація про поточну обслуговуючу стільницю повинна бути збережена до моменту, поки не будуть отримані нові відомості від мережевих реєстрів, що не є мережевою функцією за замовчуванням. Для досягнення цього, мережа повинна бути змушена проводити процедуру пейджінга щоразу, коли відбувається запит інформації про місцезнаходження терміналу, для того щоб передавати ID поточної обслуговуючої стільниці в реєстрах мережі. Такі превентивні способи стимуляції мобільних терміналів називають активним відстеженням.

Існує кілька способів, як змусити мережу виконувати процедуру пейджингу терміналу. В останніх стандартах сучасних мобільних мереж запропоновано найпростіші сигнальні елементи, як-от повідомлення - запит у будь-який час (Any Time Interrogation (ATI) message) у GSM [9] або пейджинговий запит у UMTS або LTE мережах [10], які здатні ініціювати процедуру термінального пейджингу. Проте, ці найпростіші повідомлення часто включені в інфраструктуру опорної мережі тільки залежно від раніше діючих стандартів. Для забезпечення базових послуг викликів і передавання даних не потрібні їхні розширені можливості і тому розглядаються як зайві витрати.

Основним способом примусу мережі виконати процедуру пейджингу будь-якого терміналу є здійснення виклику мобільного терміналу. У [11] ми запропонували рішення, засноване на SMS, за якого доставляється «невидиме» створене мережею текстове повідомлення на термінал користувача.

Засноване на SMS рішення використовує спеціальний клас текстових повідомлень, SMS Клас 0 (Message Waiting Indicator Group [12]), які зазвичай використовуються для встановлення індикації активності або неактивності голосової пошти, факсу та e-mail. Основною перевагою є те, що доставлення не може бути попереджено або відхилено мобільним терміналом користувача. Більше того, SMS підтримується всіма мобільними мережами та мобільними терміналами відтоді, як став доступним у дуже ранній версії GSM.

Крім описаного вище заснованого на SMS рішення, можуть бути розглянуті інші методи виклику комунікаційної активності терміналу.

Орієнтований на передачу даних підхід посиляється на той факт, що можна пробувати надсилати ICMP echo-запит (відомий як «ping») на IP-адресу користувача для того, щоб здійснити процес комунікації з терміналом, що примушує мережу проводити процедуру пейджингу терміналу та призводить до розповсюдження відомостей про ID стільники серед реєстрів базової мережі. Однак цей метод може бути застосований тільки до активних користувачів послуги передачі даних.

USSD орієнтований підхід використовує дані неструктуризованої служби (UnStructured Service Data – USSD) і забезпечує двосторонній сесійний обмін текстовими даними в мобільних мережах. USSD є можливістю всіх терміналів [13]. Підхід, який використовує USSD-повідомлення для забезпечення інформацією про місцезнаходження, описується в патенті [14]: порожнє USSD-повідомлення може надіслатись мобільному терміналу, як результат проведеної мережею процедури пейджингу.

Протокол CAMEL [15] забезпечує Any Time Interrogation (ATI) і Provide Subscriber Info (PSI) сигнальні повідомлення, які можуть містити параметри «поточного розташування» і «запитуваного активного місця розташування для пошуку» відповідно, для негайного виконання процедури пейджінга [16]. Проте, незважаючи на інші корисні функції, повна реалізація протоколу CAMEL зазвичай не присутня в мобільних мережах.

Хибну процедуру хендвера можна встановити, використовуючи BSC, відправляючи команду хендвера мобільному терміналу для того, щоб імітувати необхідність проведення хендвера [17]. Термінал намагається виконати процедуру хендвера, проте BSC пригнічує підтвердження про її виконання – після закінчення певного періоду процедуру оцінюють як таку, що не відбулася, але з'єднання з мобільним телефоном було встановлено.

2.3.2.2 Пасивне відстежування

Пасивний режим відстежування користувачів означає те, що не потрібно передавати ніякої додаткової інформації через мобільну мережу для того щоб отримати відомості про місцезнаходження користувача. Цей метод або реалізується через записи в мережевому журналі про комунікації абонента, або встановленням пасивного зонда на мережевих інтерфейсах (сполучні ланки між виконавчими частинами мережі).

Записи даних про виклики (CDRs) зберігають інформацію про кожен виклик мобільного телефону (вхідні або вихідні) або використані послуги (SMS, MMS, передача даних). Його поля включають типи досконалих комунікацій (голосові, SMS), тимчасові мітки, тривалість, номери абонентів, що телефонують і викликаються, та ін., а також Глобальний мережевий ідентифікатор (Cell Global Identity), а отже, він апроксимує просторові дані, де було встановлене з'єднання та де воно було завершене. CDRs зберігаються в мережевих реєстрах і використовуються з метою білінгу з причин правового характеру. Їх вважають суворо конфіденційними, проте часто

використовують мобільні оператори та дослідники в анонімній або згрупованій формі [8, 18-21].

Моніторинг інтерфейсів може надавати корисну інформацію про місцезнаходження користувачів і про комунікаційну активність через мобільну мережу. Інтерфейс між МС і БС (рис. 2.10) здатний збирати інформацію про уточнення місцеположення в мережі, хендовери між стільниками під час викликів та ID осередків, за якими був закріплений користувач, коли було отримано або надіслано виклик (SMS). Моніторинг Abis інтерфейсу між БС і КБС може надавати середню якість сигналу, рівень сигналу, що приймається, і тимчасову затримку (TA). Ці мережеві параметри можуть бути використані для обчислення відстані від мобільного телефону до відповідної БС і, отже, можуть слугувати для кращої оцінки місцезнаходження, як описано в п. 2.1.3.

2.3.3 Термінальні методи відстежування

Термінальне відстежування (специфічне використання впізнавання мобільним телефоном) [22] – це процес тривалого збирання географічних координат від мобільного (А) GPS, ID стільники, що обслуговує мобільний термінал, або радіомаяка від навколишніх бездротових точок доступу, виходячи з яких потім можна обчислити або оцінити місцезнаходження мобільного терміналу. При застосуванні термінального способу збору даних доступна велика кількість розпізнавальних додатків і платформ для збереження записів даних і їхнього завантаження на віддалений сервер для їхньої подальшої обробки. Проста комутація комірок мобільної мережі може бути записана додатками CellTrack [23] або Netmonitor [24]. Складні розпізнавальні системи включають, наприклад, Mobile Context Toolbox [25] для Symbian S60, і Funf [26], і MobiSens [27] для Android. Мобільні платформи, що розпізнають, як-от PEIR [28] і Medusa [29], використовують мобільні термінали для того, щоб збирати й завантажувати дані на серверні

моделі, які генерують веб-орієнтовані результати для кожного інтерактивного розпізнавача-учасника, і дають змогу досягти колективного завдання, відповідно.

Очевидним недоліком програмних розширень є те, що вони зменшують цільову групу користувачів будь-якої операції зі збору даних до сприяючих користувачів, виключаючи загальне покриття. Навіть якість інформації за термінального методу часто є сумнівною: користувачі, як правило, забувають свої мобільні телефони вдома, розряд батареї унеможлиблює збирання даних упродовж кількох годин до наступної підзарядки, і навіть зловмисники можуть завдати шкоди цілісності даних.

Перспективні наукові дослідження охоплюють галузі кровдсенсину та інтерактивного моніторингу. Кровдсенсин [30] відноситься до процесу збору даних з мобільних телефонів, який став популярним в академічному середовищі [26] і в різних зацікавлених групах [31]. Крім цього, інтерактивний моніторинг являє собою концепцію розподіленої системи збирання та аналізу даних у приватному, міському та глобальному масштабах, у якій учасники ухвалюють ключові рішення про те, що, де і коли моніторити [32].

Останніми роками Геолокаційне інтерактивне мережеве співтовариство (Location-Based online Social Networks – LBSNs) [33], як-от Google Latitude [34] або Foursquare [35], стали дуже популярними та навіть дають поштовх до розвитку безлічі нових дослідницьких робіт [36, 37]. Ці додатки керують розвитком геолокаційних послуг, але вимагають встановлення програмного забезпечення, зарахування в приватні LBSN, і покладаються на мобільні термінали або безпосередньо на дії користувача.

Ступінь деталізації відстеження через LBSNs, що викликається користувачем, є набагато більш обмеженим, ніж, наприклад, активне мережеве періодичне відстеження.

2.4 Визначення підходу до вирішення питання, що розглядається

З огляду та аналізу структури і процесу функціонування систем управління сигнальним навантаженням (ОКС №7 і LAP-D) для стандарту GSM можна зробити висновок, що процедура визначення місцезнаходження абонента (його позиціонування) є важливою, необхідною та ресурсомісткою процедурою в СММЗ. З цієї причини загальний підхід до вирішення питання ефективного використання ресурсів мобільних мереж визначається як зниження сигнального трафіку завдяки скороченню обсягу його використання системою управління інформацією про місцезнаходження.

3 АНАЛІЗ НАЯВНИХ МЕТОДІВ І СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ СИГНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СММЗ

Для повнішого використання наявного частотного ресурсу в стільникових мережах використовують різні спеціальні процедури, що сприяють зменшенню навантаження на систему мережевого управління та підвищенню якості обслуговування абонента, наприклад: процедури підключення та ініціалізації мобільної станції (МС), її вимкнення, хендовера, здійснення виклику абонента, визначення місцезнаходження абонента тощо.

Результатом аналізу функціонування СММЗ GSM є вибір як основного підходу зниження обсягу сигнального навантаження, використовуваного системою управління місцем розташування.

У сучасних мобільних мережах двома базовими операціями, які виконує система управління місцеположенням МС, є процедури пейджінга і періодичного уточнення місця розташування. Для ефективнішого використання ресурсів СММЗ було розроблено різні методи і способи проведення цих процедур. У цьому розділі проводиться дослідження вже наявних способів зниження сигнального навантаження мережі, визначення основних переваг і виявлення їхніх недоліків.

3.1 Способи проведення процедури пейджінга

Процедура пейджінга виконується при надходженні вхідного виклику для визначення місця розташування МС, що викликається. Загальний принцип процедури пейджінга полягає в проведенні опитування системою мережевого управління серед радіостільників мережі, з метою її пошуку. Процедура опитування починається з останньої стільники, в якій було зареєстровано активність МС. У разі, коли термінал, що викликається, не було виявлено в цій області, проводиться подальше опитування сот до

визначення його розташування. Порядок опитування залежить від застосовуваного способу пейджинга.

Таким чином, що більше сот було розглянуто перед визначенням місця розташування абонента, що викликається, то більша витрата сигнального трафіку на здійснення процедури пейджингу. Отже, найефективнішими можна вважати ті способи здійснення процедури пейджингу, за яких буде опитано мінімально можливу кількість сот.

Існують різні способи проведення процедури пейджингу, наприклад: рівномірний, послідовний, саморегульований, реверсивний, напівреверсивний, широкомовний [4, 38, 39] тощо.

3.1.1 Рівномірний спосіб пейджинга

За рівномірного способу процедура пейджингу [4] виконується для всієї зони розташування.

Принцип дії цього способу полягає в тому, що зона розташування розділяється на низку зон проведення процедур пейджингу (пейджингові зони – ПЗ) таким чином, що всі вони складаються з майже однакової кількості стільників. Процедура рівномірного пейджингу складається з таких етапів:

– визначення кількості сот у кожній ПЗ відповідно до виразу (3.1) [4]:

$$n_0 = \left[\frac{N}{D} \right], \quad (3.1)$$

$$N = n_0 D + k, \quad (3.2)$$

де n_0 – кількість сот у кожній ПЗ;

N – загальна кількість сот мережі;

D – значення межі затримки під час опитування (максимальний час проведення процедури пейджингу до відмови);

k – номер опитуваної ПЗ;

– визначення наступного ряду ПЗ $PA_u \cdot (1, q_1, n_1), PA_u \cdot (2, q_2, n_2), \dots, PA_u \cdot (D-1, q_D, n_D)$, q_i – сума ймовірностей місцезнаходження в стільниках ПЗ $PA_i \cdot (i, q_i, n_i)$. Відомо, що n_0 – це кількість сот у кожній із перших $(D - k)$ ПЗ та $(n_0 + 1)$ комірок у кожній із k ПЗ, що залишилися. Отже, $n_1 = n_2 = \dots = n_{D-k} = n_0$, а $n_{D-k+1} = \dots = n_D = n_0 + 1$. Наприклад, перша ПЗ складається з n_0 комірок, а остання ПЗ складається з $(n_0 + 1)$ комірок [4];

– послідовний перебір системою управління однієї за одною ПЗ до визначення місцезнаходження МС, що викликається.

Середні значення витрат ресурсів мережі на пейджинг $C_u(D)$ для рівномірного способу визначається з виразу (3.3) [4]

$$C_u(D) = \sum_{i=1}^{D-k} i \cdot q_i \cdot n_0 + \sum_{i=D-k+1}^D [i \cdot (n_0 + 1) - (D - k)] \cdot q_i. \quad (3.3)$$

Середня межа затримки процедури опитування $D_u(D)$ для рівномірного способу визначається з (3.4) [4]:

$$D_u(D) = \sum_{i=1}^D i \cdot q_i, \quad (3.4)$$

$$q_i = \begin{cases} \sum_{j=(i-1)n_0+1}^{n_0 \cdot i} p_j, & \text{якщо } 1 \leq i \leq D - k \\ \sum_{j=i(n_0+1)-(D-k)}^{j=i(n_0+1)-n_0-(D-k)} p_j, & \text{якщо } D - k + 1 \leq i \leq D, \end{cases} \quad (3.5)$$

де p_j – ймовірність місцезнаходження МС, що викликається, в j -тій соті, опитуваній у зростаючому порядку значень ймовірностей у конкретний момент.

До переваг рівномірного способу проведення процедури пейджінга можна віднести більш ефективне використання ресурсів мережі за усіченого

дискретного гаусового розподілу ймовірностей, однак для рівномірного розподілу витрата мережесих ресурсів досить велика [4].

3.1.2 Послідовний спосіб пейджинга

За послідовного способу [38] зона розташування попередньо поділяється на кілька ПЗ, і з отриманням вхідного виклику в кожній із цих зон пошук абонента, що викликається, здійснюється шляхом послідовного опитування кожної стільниці. Основними перевагами цього способу є простота реалізації схеми проведення пейджингу і можливість застосування його одночасно з іншими способами. Недолік цього способу проявляється в ситуації, коли абонент, якого викликають, перебуває далеко від стільниці, у якій було проведено останній сеанс зв'язку, зі збільшенням кількості опитаних ПЗ зростає й обсяг сигнального навантаження, що витрачається.

3.1.3 Саморегульований спосіб пейджинга

У разі саморегульованого пейджингу [39] для визначення шуканої зони пейджингу використовують інформацію про швидкість переміщення МС і час, що минув із моменту останнього оновлення місця розташування.

Перевага цього способу проведення процедури пейджинг полягає в тому, що завдяки параметрам мережі, які постійно скануються, можливе визначення оптимальної першої ПЗ для початку процедури опитування стільників, тобто зони, де абонент, якого викликають, перебуває найімовірніше. Основним недоліком є те, що саморегульований спосіб досить складний у реалізації.

3.1.4 Реверсивний спосіб пейджинга

Спосіб реверсивного пейджінга застосовується для ситуацій, коли передбачається, що ймовірність місцезнаходження терміналу, що викликається, найвища в одній із декількох сот [4].

У цьому випадку перші $(D-1)$ стільники – це зони найвищої ймовірності місцезнаходження абонента в них. Вони приймаються першими $(D-1)$ ПЗ для огляду. Кожна з цих $(D-1)$ складається тільки з однієї стільники. Потім як одну ПЗ розглядають соти, що залишилися $(N-D-1)$ з нижчими значеннями ймовірностей розташування абонента в них. Сформовані ПЗ відповідають $PA_r \cdot (1, p_1, 1)$, $PA_r \cdot (2, p_2, 1)$, ..., $PA_r \cdot (D-1, p_{D-1}, 1)$, $PA_r \cdot (D, q_D, N - D + 1)$, де r – позначає реверсивну пейджингову схему. Середнє значення витрат ресурсу мережі на пейджинг $C_r(D)$ визначається з виразу (3.6) [4]:

$$C_r(D) = \sum_{j=1}^{D-1} i \cdot p_j + \sum_{j=D}^N p_j . \quad (3.6)$$

Середня межа затримки процедури опитування $D_r(D)$ для рівномірного способу визначається з (3.7) [4]:

$$D_r(D) = \sum_{j=1}^{D-1} j \cdot p_j + D \cdot \sum_{j=D}^N p_j . \quad (3.7)$$

За реверсивного, так само як і за рівномірного, способу проведення процедури пейджінга більш ефективно використовуються ресурси мережі за усіченого дискретного гаусового розподілу ймовірностей, однак для рівномірного розподілу витрата мережевих ресурсів досить велика [4].

3.1.5 Напівреверсивний спосіб пейджинга

Застосування напівреверсивного способу проведення процедури пейджингу є найбільш обґрунтованим для випадків, коли середнє значення витрат ресурсу мережі на пейджинг можливо мінімізувати шляхом перебору стільників у порядку убутання ймовірності місця розташування [4].

Для напівреверсивного пейджингу створюється низка ПЗ у незростаючому порядку ймовірностей розташування абонента, якого викликають, у них. На першому етапі відбувається об'єднання двох зон із найнижчими значеннями ймовірностей розташування в одну ПЗ. Потім ПЗ, що залишилися, також перевпорядковуються в незростаючому порядку ймовірностей розташування МС. Повторення цієї ітерації відбувається доти, доки загальне число ПЗ не стане рівним D . За однакових значень ймовірностей розташування МС, що викликається, у кількох ПЗ відбувається їхнє об'єднання з меншою кількістю зон, оскільки значення пріоритету під час опитування у них вище. У результаті цих ітерацій, середнє значення витрат ресурсу мережі на пейджинг $C_s(D)$ визначається з виразу (3.8) [4]:

$$C_s(D) = \sum_{i=1}^D s_i \cdot q_i = q_1 \cdot n_1 + q_2 \cdot (n_1 + n_2) + \dots + q_D \cdot N, \quad (3.8)$$

де s_i – це накопичене число осередків для виявлення викликаної МС.

Середня межа затримки процедури опитування $D_s(D)$ визначається з виразу (3.9) [4]:

$$D_s(D) = \sum_{i=1}^D i \cdot q_i. \quad (3.9)$$

Застосування напівреверсивного способу є найоптимальнішим для рівномірного розподілу ймовірностей місця розташування МС [4]. Однак, оскільки під час використання цього способу в стільнику з найнижчим

значенням імовірності може відбуватися пошук МС раніше, ніж у стільнику з найбільшим значенням імовірності. Упродовж усього процесу пейджингу вихідна послідовність може впорядковуватися кілька разів. Отже, значення витрат ресурсу мережі на пейджинг може бути не мінімізовано, а збільшено.

3.1.6 Широкомовний спосіб пейджинга

У стільникових мережах мобільного зв'язку стандартів GSM і CDMA-2000 пейджинг здійснюється через широкомовну процедуру.

За широкомовного способу процедуру пейджингу [4] виконують одночасно для всієї зони розташування. Незважаючи на простоту реалізації та застосування цього способу для будь-яких СММЗ, він є найменш ефективним із погляду мінімізації сигнального навантаження, оскільки одночасно використовуються ресурси мережі кожної зони опитування.

3.2 Основні методи проведення процедури періодичного уточнення місця розташування

Уточнення місця розташування пов'язане з наданням інформації про поточне місцезнаходження МС, що дає змогу мережі аутентифікувати користувачів. Наразі інформація про місцезнаходження мобільних користувачів передається динамічно. Зона місцезнаходження містить у собі кілька осередків. У СММЗ інформація про місцезнаходження кожного мобільного користувача зберігається в базі даних місця розташування. Оновлення її вмісту відбувається тоді, коли виконуються процедури уточнення місцезнаходження або пейджінга під час доставки виклику або SMS-повідомлення до мобільного користувача. Така процедура виконується в таких випадках:

- щоразу під час увімкнення або вимкнення МС;

- регулярне повідомлення мережі через певні часові інтервали мобільним терміналом про своє місцезнаходження;
- у разі переміщення до іншого оператора загальнодоступної телефонної мережі (для наземних об'єктів);
- під час переміщення МС від однієї зони місцезнаходження до іншої тощо.

Занадто дрібні зони пошуку можуть призвести до частих перереєстрацій даних про місцезнаходження і, як наслідок, до зростання трафіку різного роду сервісних сигналів і більш швидкої розрядки батарей мобільних телефонів. Якщо ж зробити зони місцезнаходження великими, то в разі необхідності з'єднання з абонентом, сигнал виклику доведеться подавати всім стільницям, які входять у зону пошуку, що також призводить до невиправданого зростання передавання службової інформації та перевантаження внутрішніх каналів мережі [2, 3].

Нині пропонуються динамічні методи уточнення місця розташування, тобто такі, що залежать від зміни параметрів мобільності абонента і типів викликів мобільних користувачів. Існує два види динамічних схем уточнення місця розташування: на основі просторового переміщення та на основі часового показника [2, 3].

Динамічні схеми, що базуються на просторовому переміщенні, можуть ґрунтуватися на кількості переміщень між стільниками і на відстані пройденого шляху [2, 3].

Метод, що ґрунтується на кількості переміщень між стільниками, виконується під час здійснення МС певної кількості переміщень (порогове значення) через межі стільників, що його обслуговують (порогове значення). Очевидною перевагою методу є те, що система управління не здійснює витрати сигнального трафіку в разі статичності абонента з погляду просторового розташування. Однак основні труднощі полягають у складності його практичної реалізації, оскільки в пристрої МС має бути передбачена функція, що дає змогу розпізнавати моменти переходу з однієї стільники в

іншу. Інша складність полягає в тому, що кількість перетинів МС кордонів обслуговуючих сот не завжди є точною оцінкою дальності її переміщень, наприклад, коли МС здійснює часті переміщення в межах обслуговування сусідніх сот, відбувається процедура періодичного уточнення місця розташування, але термінал, по суті, залишається в тій самій зоні обслуговування.

Метод уточнення місця розташування, що ґрунтується на відстані пройденого шляху, виконується під час подолання МС певної відстані між поточною обслуговуючою сотою і наступною, в якій уже буде виконано процедуру уточнення місця розташування. Цей метод, як і попередній, складний з точки зору практичної реалізації. Також можлива ситуація виникнення великої кількості переміщень усередині обслуговуючої МС стільники. Координати користувача, по суті, не змінюються, проте терміналом генеруються сигнальні повідомлення, що уточнюють його місце розташування.

Прикладом же методу, заснованого на часовому показнику в мережах стандарту GSM, є процедура періодичної реєстрації, що здійснюється в режимі очікування всіма МС через часовий інтервал, який визначається параметром T3212 [2, 3]. Для описаного методу періодичного уточнення місця розташування [39] властивий значний недолік – можливість виконання занадто частих запитів місця розташування. У цьому разі відбувається марне передавання сигнальної інформації через певний часовий інтервал для стаціонарної та неактивної в просторі МС протягом тривалого періоду часу.

4 СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ СИГНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА СММЗ

У цьому пункті пропонується новий спосіб зниження сигнального навантаження мережі. Цей спосіб дає змогу розв'язати проблему опрацювання надмірно частих запитів місця розташування МС, стаціонарних у просторі протягом тривалого періоду часу. Для його математичного обґрунтування за основу взято математичний апарат, запропонований Донг-Джун Лі [39], але істотно змінений за рахунок особливостей вихідних даних пропонованого способу. Перевірка отриманих результатів здійснювалася шляхом математичного моделювання в системі Mathcad 14.

4.1 Математичне обґрунтування пропонованого способу

Більша частина абонентів мережі мобільного зв'язку протягом досить тривалого періоду часу перебувають в одній і тій самій зоні місцезнаходження. Наприклад, у робочий час за письмовим столом або верстатом, а так само у вечірній і нічний час вдома.

Суть пропонованого способу полягає в тому, що для таких абонентів необхідно максимально збільшувати час, через який буде проведено таку процедуру уточнення місця розташування.

У [39] запропоновано блок-схему роботи системи керування місцем розташування (рис. 4.1), де для зниження сигнального навантаження на мережу запропоновано використовувати 2-х кроковий саморегульований пейджинг. Суть проведення 2-х крокового саморегульованого пейджингу полягає в тому, що при надходженні виклику здійснюється процедура послідовного пейджингу, але черговість відправлення сповіщення ПЗ обирають, виходячи зі значень параметрів швидкості переміщення МС та часу, який пройшов із моменту останнього уточнення її місцезнаходження.

$E[T]$ – середній часовий інтервал, через який відбувається уточнення місця розташування;

N_p – середня кількість осередків, у яких здійснювався пошук МС, під час виклику, що надходить. При 2-х кроковому саморегульованому пейджингу значення N_p апроксимується згідно з виразом (4.2) [39]:

$$N_p \approx \frac{[(d_p + r)^2 + (1 - P_s) \cdot R^2]}{r^2}, \quad (4.2)$$

де r – це радіус соти;

R – це радіус зони розташування;

P_s – ймовірність успішного результату при виконанні процедури пейджингу з першого разу;

$(d_p + r)$ – це радіус першої ПЗ.

У разі використання пропонованого способу витрати ресурсів мережі на управління інформацією про місцезнаходження МС складатимуться тільки з витрат ресурсів на виконання процедури пейджингу, як показано в (4.3):

$$C(\lambda) = S_p \cdot \lambda \cdot N_p = S_p \cdot \lambda \cdot \frac{[(v \cdot E[t_e] + r)^2 + (1 - P_s) \cdot R^2]}{r^2}. \quad (4.3)$$

Оскільки передбачається, що МС статична в просторі протягом тривалого часу ($v = 0$ км/час), вираз (4.3) може бути перетворено до виду (4.4):

$$C(\lambda) = S_p \cdot \lambda \cdot \frac{[r^2 + (1 - P_s) \cdot R^2]}{r^2}, \quad (4.4)$$

що виключає вплив часу, який минув з моменту останньої процедури уточнення місця розташування до надходження виклику.

Під час використання пропонованого способу пейджингу розмір зони розташування R визначається від самого початку і залишається постійним. Також незмінним залишається і розмір соти r .

Величина інтенсивності викликів, що надходять, λ не стаціонарна в часі. Тому, за умови постійних розмірів зони розташування, стільники та значення ймовірності успішного виконання процедури пейджингу, значення витрат на управління інформацією про уточнення місця розташування МС залежить від зміни інтенсивності викликів, що надходять, λ до МС (рис. 4.2).

Для порівняння пропонованого способу з відомими, задамося однаковими з [39] значеннями параметрів:

- коефіцієнт витрат ресурсів мережі на виконання процедури пейджингу $S_p = 1$;
- радіус зони розташування $R = 50$ км;
- радіус стільника $r = 2,5$ км;
- ймовірність успішного виконання процедури пейджингу в перший раз $P_s = 0,8$.

З наведеного на рисунку 4.2 графіка видно, що загальні витрати на управління уточненням інформації про місцезнаходження $C(\lambda)$ за умови мінливого значення інтенсивності викликів, що надходять λ до МС, значно менші, ніж у разі проведення процедури уточнення місцезнаходження у встановлений період часу T_u ($T_u = 3000, 2000, 1000$ [с] для $C_1(\lambda)$, $C_2(\lambda)$, $C_3(\lambda)$ відповідно). Також зазначимо, що значення витрат ресурсів мережі монотонно збільшуються зі зростанням λ .

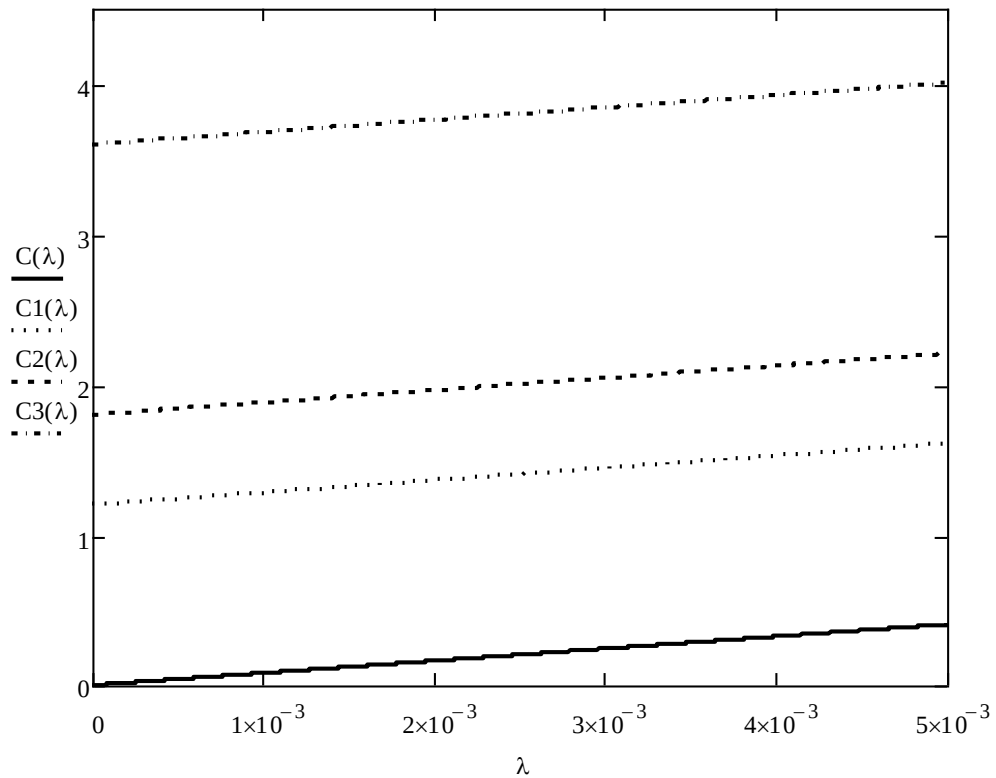


Рисунок 4.2 – Залежність значення витрат на управління уточненням інформацією про місцезнаходження МС $C(\lambda)$ від зміни інтенсивності викликів, що надходять λ до МС

Через дію в радіоканалі різних перешкод процедура пейджинга не завжди може бути проведена успішно з першого разу. Тому на величину витрат, що припадають на її виконання, істотно впливає те, скільки разів її необхідно повторити до завершення. Показником цього є ймовірність успішного результату процедури пейджингу, проведеної з першої спроби (P_s).

На рисунку 4.3 відображено зміни значень загальних витрат на управління інформацією про місцезнаходження ММ для пропонованого способу й уточнення місцезнаходження, що ґрунтується на часі, за різних значень імовірності успішного проходження процедури пейджингу з першого разу ($P_s = \{1; 0,99; 0,98\}$) [39]. Звідси видно, що незважаючи на зміну параметра P_s , значення $C(\lambda)$ значно менше, ніж $C_1(\lambda)$, $C_2(\lambda)$ та $C_3(\lambda)$ за тих

самих умов. Також, на рисунку 4.3 показано, що за умови збільшення інтенсивності надходження викликів ($\lambda = 0 \div 0,05$) до МС, показники для пропонованого способу є більш вигідними.

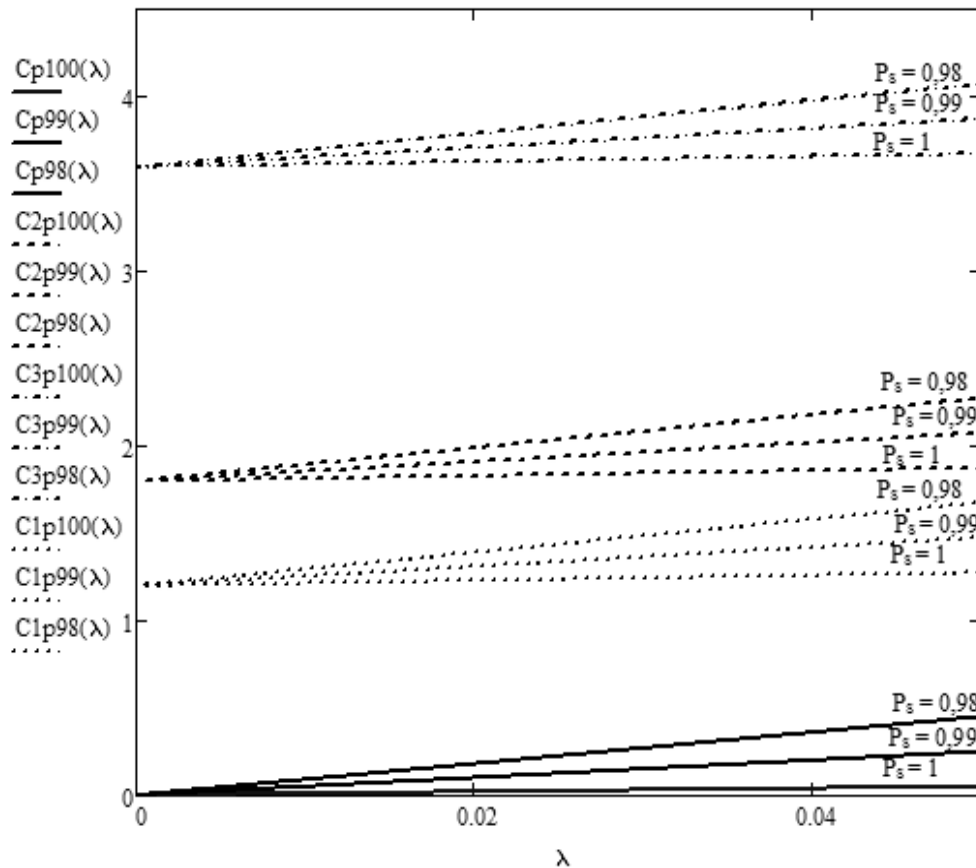


Рисунок 4.3 – Залежність витрат на управління уточненням інформацією про місцезнаходження МС від різних значень імовірності успішного результату процедури пейджингу з першого разу

4.1.1 Варіанти практичної реалізації пропонованого способу

Практична реалізація ідеї зниження сигнального навантаження на СММЗ може здійснюватися двома способами:

- за допомогою надсилання абонентом SMS-повідомлення оператору про час, протягом якого він залишається статичним у просторі;

– за допомогою програмної реалізації на самому терміналі (оптимально для смартфонів), наприклад, у вигляді програми.

Оскільки не на всіх абонентських терміналах мережі мобільного зв'язку можуть бути запуснені такі додатки, то оператору потрібно буде зацікавити абонентів надсилати такі SMS. Для того, щоб зацікавити абонента в цьому, оператор може запропонувати йому будь-які маркетингові прийоми (наприклад, різного роду акції, бонусні нарахування або просто зниження тарифів).

4.1.2 Переваги запропонованого способу

Пропонується спосіб, що дає змогу знизити сигнальне навантаження на мережеві пристрої за рахунок скорочення витрат ресурсів мережі на уточнення місцеположення МС, що статично перебувають в одній зоні місцеположення, шляхом максимального збільшення часу, через який проводиться процедура періодичного уточнення місцеположення. До переваг способу можна віднести:

- нижчі значення витрат ресурсів мережі, ніж у разі використання способу уточнення місця розташування через певний часовий інтервал (наприклад, $T_u = 1000 \text{ с}, 2000 \text{ с}, 3000 \text{ с}$);
- незважаючи на зміну параметра P_S або зростання інтенсивності викликів, що надходять до МС λ , витрати ресурсів мережі - мінімальні;
- можливість застосування у будь-яких СММЗ;
- простота практичної реалізації способу;
- легкість використання кінцевим користувачем;
- можливість застосування одночасно з іншими способами, схемами і методами [2-4, 38, 39] зниження сигнального навантаження на СММЗ.

4.2 Проблема «незапланованого переміщення абонента» під час використання пропонованого способу зниження сигнального навантаження на СММЗ

У пункті 4.1 було запропоновано спосіб зниження сигнального навантаження на СММЗ суть якого полягає в тому, що для МС, які перебувають упродовж досить тривалого періоду часу в одній і тій самій зоні місцезнаходження, максимально збільшується час, за якого буде проведено наступну процедуру уточнення місцезнаходження. При цьому передбачається, що МС залишається статичною з погляду просторового розташування, тобто перебуває в межах однієї й тієї самої стільники СММЗ.

Також пропоноване рішення містить у собі ідею про те, що абонент самостійно визначає час, через який проведуть наступне уточнення його місцезнаходження, що дає змогу класифікувати пропонований спосіб як термінальний спосіб відстеження (п. 2.3.3).

Однак можлива ситуація, коли через форс-мажорні обставини або через «людський чинник» абонент перестане залишатися статичним у просторі і, можливо, залишить стільникову мережу, в якій було проведено останню процедуру уточнення місця розташування. При цьому особливо несприятливі наслідки проявляються під час переміщення мобільного абонента з досить високою швидкістю (наприклад, понад 50 км/год), з тієї причини, що ММ за короткий проміжок часу може подолати кордони однієї і більше комірок, що, отже, може призвести до великих витрат ресурсів мережі в майбутньому під час проведення процедури пейджингу.

Таким чином, можна сформулювати таке завдання: під час використання пропонованого способу зниження сигнального навантаження на СММЗ необхідно передбачити ситуацію, коли абонент незаплановано розпочинає переміщення за межі зазначеної стільники, і визначити шляхи її вирішення.

4.2.1 Постійно скановані технічні параметри CMM3

Відомо, що МС постійно здійснює пошук базових станцій операторів стільникового зв'язку та реєстрацію їхніх технічних параметрів. Функція стільникового телефону, що дає змогу відображати різні технічні параметри мереж, називається нетмонітор (англ. «Field Test», «Channel Info»). Наступні поняття є основними технічними параметрами, що застосовуються в нетмоніторингу [40]:

- сектор БС – являє собою сукупність прийомопередавачів, які випромінюють сигнал через одну антену. Один із цих каналів є контрольним (по ньому передається основна частина службової інформації, його номер показується в нетмоніторі), інші – трафіковими, тобто використовуються в основному для передачі розмов;

- Local Area Code (LAC) – код локальної зони;

- Cell ID – «ідентифікатор стільника». Це параметр, який привласнюється оператором кожному сектору кожної БС, і служить для його ідентифікації;

- номер БС – загальноприйнятим у нетмоніторингу є зазначення БС за тією частиною її Cell ID, яка не змінюється від сектора до сектора;

- номер каналу (англ. «channel number») - номер радіоканалу, що використовується в даному секторі як контрольний (тобто не лише для здійснення зв'язку, а й для передавання службової інформації), саме його і слухає телефон у режимі очікування;

- TA – параметр компенсації часу проходження сигналу від телефону до БС, що фактично означає відстань до БС;

- рівень сигналу (R_xLEV) – рівень радіосигналу, що приймається цим каналом, на вході в приймач телефону. Вимірюється в «децибелах до мілівата» (дБм). Розраховується за допомогою виразу (4.5):

$$R_x\text{LEV}=10\lg \frac{R_x[\text{мВт}]}{1[\text{мВт}]}, [\text{дБм}] ; \quad (4.5)$$

- C1 – критерій «запасу потужності». Розраховується шляхом віднімання мінімального рівня сигналу з прийнятого рівня;
- C2 – критерій перевибору стільника. Перевагу віддають каналу з невід'ємним значенням C1 і максимальним значенням C2.

Діючий рівень сигналу мережі $R_x\text{LEV}$ визначається місцезнаходженням МС відносно БС, що обслуговує, причому, виходячи з виразу (4.5), потужність сигналу, що приймається, значно менша за 1 мВт, тому значення, яке отримано, є від'ємним (що воно чисельно менше, то сигнал кращий). Таким чином, можна зробити висновок, що чим ближче розташований термінал до БС, тим рівень сигналу, що приймається, чисельно менший. Для мереж стандарту GSM ці показники можуть коливатися в межах від -48 до -110 дБм.

4.2.2 Можливий варіант розв'язання проблеми «незапланованого переміщення абонента» під час використання пропонованого способу

Для розв'язання поставленої в пункті 4.2 задачі необхідно визначити момент, коли МС слід знову починати виконувати процедуру уточнення періодичного місця розташування під час застосування пропонованого способу зниження сигнального навантаження на мережу мобільного зв'язку.

Коли МС починає своє переміщення у напрямку до кордону обслуговуючої соти, потужність сигналу мережі, що приймається, стає меншою, як і чисельне значення рівня сигналу $R_x\text{LEV}$. При цьому на межі стільника параметр $R_x\text{LEV}$ досягає мінімально можливого значення в цій області. Тобто можна логічно припустити, що різке зменшення рівня сигналу, що приймається МС, означатиме, що абонент розпочав своє переміщення в напрямку до кордону обслуговуючої стільниці, і він більше

не є статичним з точки зору просторового розташування. Крім того, є висока ймовірність, що МС залишить поточну стільницю і продовжить своє пересування надалі. Таким чином, запобігти подібному сценарію розвитку подій можливо, передбачивши функцію самостійного відновлення передачі сигнальної інформації про періодичні уточнення місця розташування терміналом на основі даних про R_{xLEV} для пропонованого способу. Отже, у разі різкого падіння потужності сигналу, що приймається від поточної БС, означатиме наближення абонента до кордону стільника, що його обслуговує.

Таким чином, необхідно визначити чисельне значення рівня прийнятого МС сигналу R_{xLEV} для цього випадку за відомого з [39] радіуса стільника. Оскільки можна припустити, що діюча відстань між БС і МС (інакше кажучи, її місцезнаходження відносно БС) на кордоні обслуговуючої стільника приблизно дорівнює її радіусу.

4.2.2.1 Параметр компенсації часу проходження сигналу від телефону до БС, діапазон його значень для мереж GSM

Використовуючи дані про тимчасові значення інтервалу доступу, можна визначити діючу відстань між базовою станцією та рухомою станцією, яка може бути записана у вигляді (4.7):

$$R_{\mathcal{D}} = \frac{D_{RT}}{2} \cdot TA, [m], \quad (4.7)$$

де TA – часова затримка для звичайного радіусу сот або параметр компенсації часу проходження сигналу від телефону до БС;

D_{RT} – відстань від МС до БС визначається як (4.8):

$$D_{RT} = v \cdot t, [m], \quad (4.8)$$

де v – швидкість світла, $v = 3 \cdot 10^8$ [м/с];

t – тривалість одного біта, $t = 1$ [біт] = 48/13 [мкс].

Під час розрахунку відстані для кожного ТА, необхідно пам'ятати, що загальна затримка поширення становить двосторонню передачу радіохвилі. Перший етап – це сигнал синхронізації, що передається від БС до МС, а другий – пакет доступу для передачі від МС до БС. Для того щоб дізнатися справжню відстань від МС до БС, необхідно розділити на половину загальну затримку поширення.

Наприклад, якщо КБС приймає загальну затримку поширення рівною 3,69 [мкс], можна визначити відстань від МС з БС (табл. 4.1) [41].

Таблиця 4.1 – Розрахунок часу поширення сигналу та відстані між БС і МС

Визначення	Формула	Підсумок
Визначення часу поширення сигналу в один бік	$3,69 \text{ [мкс]} \div 2$	1,845 [мкс]
Розрахунок відстані (з використанням швидкості світла)	$3 \cdot 10^8 \text{ [м/с]} \times 1,845 \text{ [мкс]}$	553,5 [м]

На рисунку 4.4 відображено час поширення сигналу та відповідну відстань між БС і МС [41].

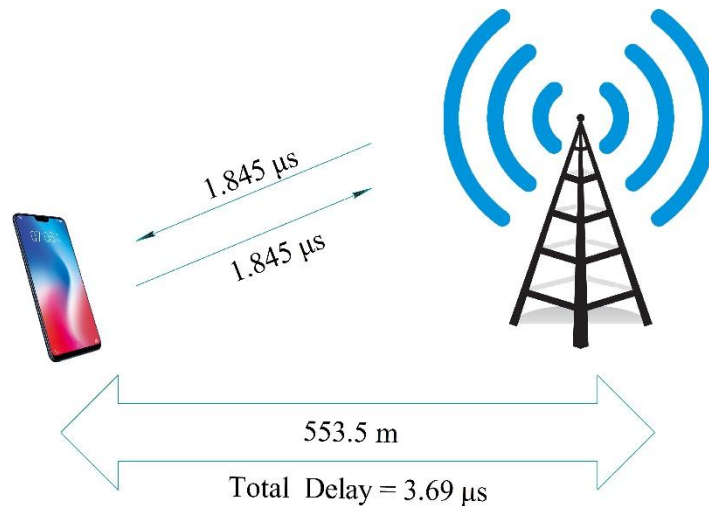


Рисунок 4.4 – Час поширення сигналу та відповідна відстань між БС і МС

При кожній затримці поширення сигналу, що дорівнює 3,69 [мкс], значення параметра ТА збільшується на одиницю. Із таблиці 4.1 відомо, що затримка розповсюдження 3,69 [мкс] відповідає односторонній відстані від БС до термінала, що дорівнює 553,5 [м]. Отже, на рисунку 4.4 наочно відображено, що кожне нове значення ТА відповідає відстані 553,5 [м] від мобільної вишки (табл. 3.2) [41].

Таблиця 4.2 – Діапазон значень ТА від 0 до 63

Значення ТА	Початок, [м]	Кінець, [м]
0	0	553,5
1	553,5	1107
2	1107	1660,5
3	1660,5	2214
...	...	...
63	$34,87 \cdot 10^3$	$35,42 \cdot 10^3$

Точкою відліку приймається сама БС (0 метрів), а кожне нове значення ТА буде фактично починатися через кожні 553,5 [м] (рис. 4.5) [41].

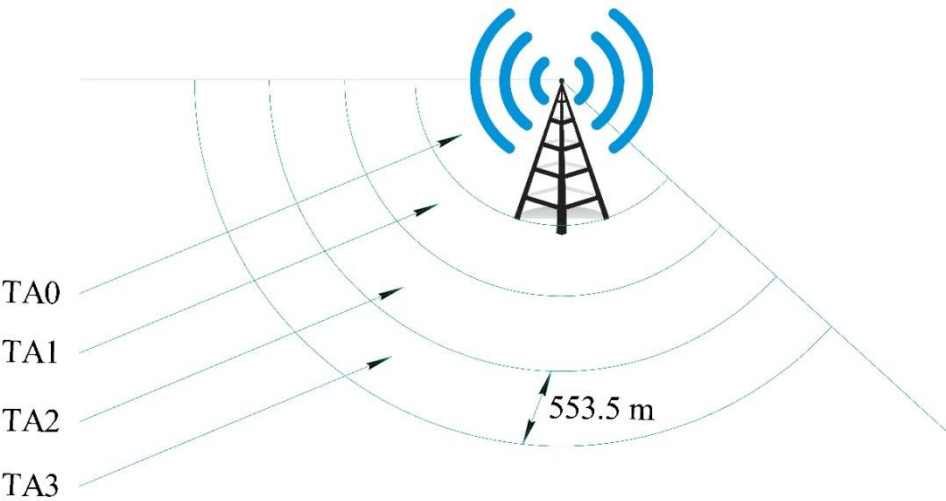


Рисунок 4.5 – Залежність діапазон значень TA від відстані між MC і BC

4.2.2.2 Рівень прийнятого сигналу мережі R_xLEV , діапазон його значень для мереж GSM

R_xLEV є числом від 0 до 63, що відповідає діапазону значень вимірюваних у [дБм]. Значення «0» відповідає найслабшому сигналу мережі, а «63» – найсильнішому. У таблиці 3.3 представлено діапазон значень R_xLEV від 0 до 63 в [дБм] [41].

Таблиця 4.3 – Діапазон значень R_xLEV від 0 до 63

R_xLEV	Діапазон значень R_xLEV у [дБм]
0	менш -110 дБм
1	від -110 до -109
2	від -109 до -108
3	від -108 до -107
4	від -107 до -106

Продовження таблиці 4.3

R_xLEV	Діапазон значень R_xLEV у [дБм]
61	від -50 до -49
62	від -49 до -48
63	більш -48

Показник інтенсивності прийнятого сигналу RSSI нижче рівня -110 дБм зазвичай вважається таким, що не піддається для зчитування в стандарті GSM. Значення RSSI в районі -50 дБм досить рідкісне явище, яке означає, що МС перебуває в безпосередній близькості від БС. Основним фактором, що впливає на RSSI, вважається відстань від БС. Проте, через інші фактори, такі як місцевість, висота, і наявність великих об'єктів, наприклад, будівель можуть послаблювати силу сигналу.

4.2.3 Визначення порогового значення рівня сигналу, що приймається, для відновлення проведення процедури періодичного уточнення місця розташування

З таблиць 4.2 і 4.3 відомо, що значення R_xLEV і TA змінюються в діапазоні від «0» до «63». Значення «0» для R_xLEV відповідає найнижчому рівню потужності сигналу, що поширюється (менше -110 [дБм]), а TA – мінімальній відстані між БС і МС (до 553,5 [м]). Отже, ці параметри можна співвіднести таким чином: за мінімальної відстані між БС і терміналом потужність поширюваного сигналу максимальна, і навпаки, відповідно.

У таблиці 4.4 відображено залежність між рівнем потужності сигналу, що поширюється, і відповідною відстанню від БС до МС [41].

Таблиця 4.4 – Залежність між R_xLEV і відповідними відстанями від БС до МС за різних ТА

Відстані від БС до МС за різних значеннях ТА, [м]	Діапазон R_xLEV , [дБм]
0...553,5	більш -48
553,5...1107	-50...-49
1107...1660,5	-49...-48
1660,5...2214	-48...-47
...	...
34316,5... 34870	-110...-109
34870...35420	менш -110

З отриманої відповідності між значеннями R_xLEV сигналу, що поширюється, за різних ТА, що характеризуються зміною відстані між БС і МС, можна визначити рівень потужності сигналу на межі обслуговуючої стільники, за якого термінал самостійно відновить виконання процедури періодичного уточнення місцезнаходження за запропонованого в п. 4.1 способу зниження сигнального навантаження на СММЗ.

Для визначення значення ТА, вимірюваного в одиницях від «0» до «63», з виразу (4.7) необхідно, щоб була відома діюча відстань між терміналом і БС R_d . У п. 4.2.2 зазначено, що в разі досягнення МС кордону обслуговуючої стільники координати її місцезнаходження відносно БС можна вважати такими, що дорівнюють самому радіусу стільника r . Для проведення розрахунків приймаємо $r = 2,5$ км [39].

Таким чином, значення параметра ТА отримуємо з виразу (4.9):

$$ТА = \frac{2R_d}{v \cdot t}, \quad (4.9)$$

$$TA = \frac{2 \cdot 2500}{553,5} \approx 9...10.$$

Отриманий із (4.9) діапазон значень параметра $TA \approx 9...10$ графічно співвіднесено з відповідними значеннями R_xLEV і відображено на рисунку 4.6.

На рисунку 4.6 видно, що отриманий для пропонованого способу діапазон значень TA відповідає $R_xLEV = 53...54$. З таблиці 4.3 відомо, що отримані значення відповідають діапазону рівнів потужності поширюваного сигналу від -56 дБм до -57 дБм.

Таким чином, для запропонованого способу зниження сигнального навантаження на СММЗ необхідно передбачити функцію самостійного відновлення передавання сигнальної інформації про місцезнаходження абонента МС у разі приймання сигналу від БС із рівнем потужності близько -57 дБм.

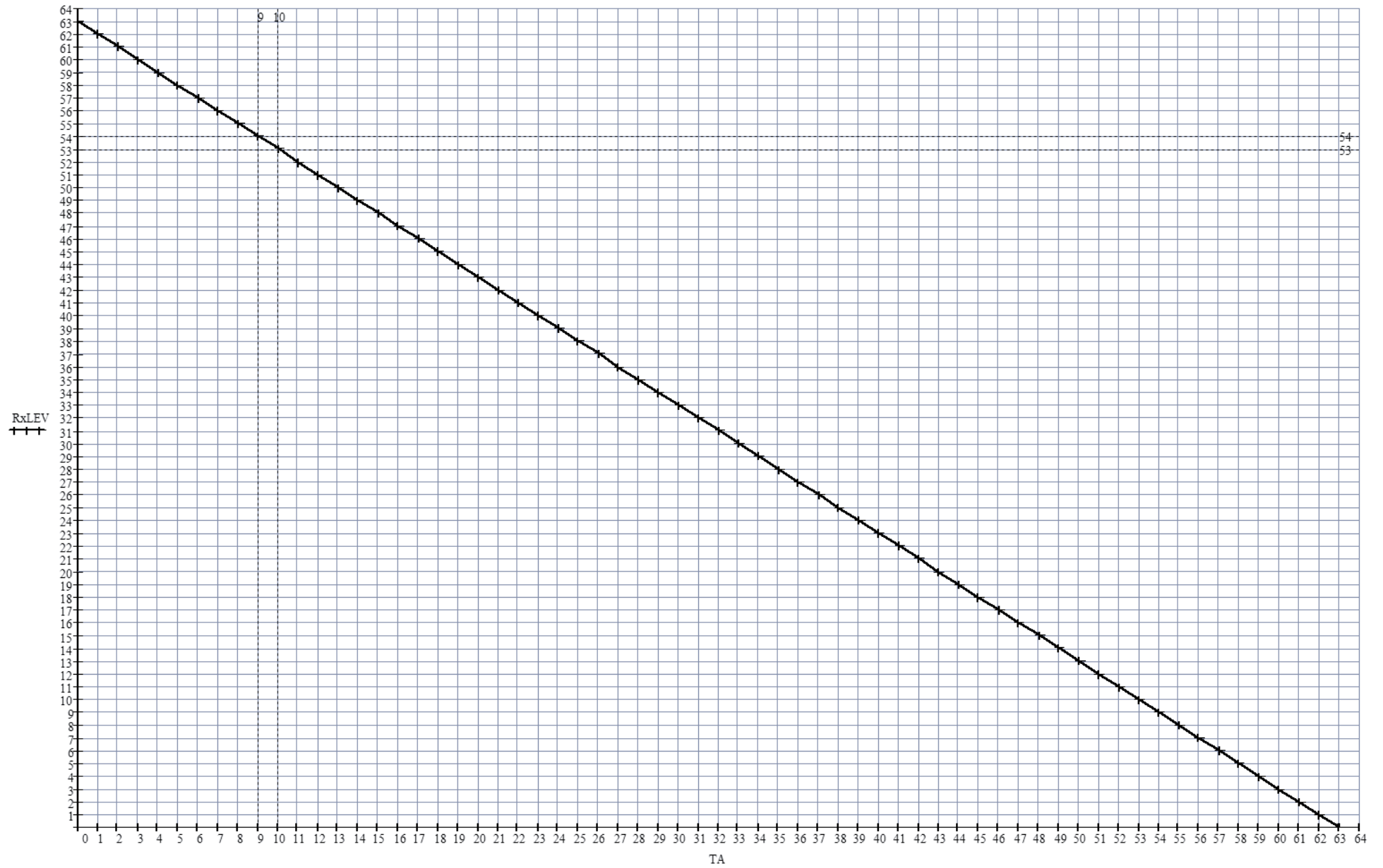


Рисунок 4.6 – Залежність між параметрами RxLEV і ТА для діапазону значень від «0» до «63»

4.3 Розрахунок втрат поширення на трасі згідно з моделлю Окамури - Хата

Також проводиться розрахунок втрат поширення на пересіченій місцевості при використуваному в п. 2.2.3 радіусі стільника.

Найбільш вдалою та детальною є аналітична модель, отримана М. Хатою [42] як результат прямої апроксимації кривих Окамури. Хатою [42] як результат прямої апроксимації кривих Окамури. Модель Хати не охоплює всіх результатів, отриманих Окамурою, і справедлива для квазіплоского міста за таких обмежень:

- радіус стільника $r = 1 \dots 20$ [км];
- висота рухомої станції $h_m = 1 \dots 10$ [м];
- висота обслуговуючої антени БС $h_b = 30 \dots 200$ [м];
- діапазон частот $f = 150 \div 1500$ [МГц].

Відповідно до цієї моделі середні втрати передачі виражаються формулою (4.10) [42]:

$$L = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_b - \alpha(h_m) + k(44,9 - 6,55 \lg h_b) \cdot \lg r, \text{ [дБ]}, \quad (4.10)$$

де h_b – ефективна висота встановлення антени БС у діапазоні (30-200) м;

r – відстань від БС до МС у діапазоні (1-10) км;

f – частота випромінювання БС, МГц;

$\alpha(h_m)$ – поправочний коефіцієнт, використовуваний за висоти мобільної антени h_m , відмінної від еталонної, що дорівнює 1,5 м (в експериментах Окамури $h_m = 3$ м);

k – поправочний коефіцієнт, що враховує протяжність траси.

Вирази для $\alpha(h_m)$ виходять різними для великих і середніх міст. Для міста середніх розмірів можна розрахувати за допомогою виразу (4.11) [42]:

$$\alpha(\square_m) = (1,1 \cdot \lg f - 0,7) \cdot \square_m - (1,56 \lg f - 0,8), [\text{дБ}] . \quad (4.11)$$

Для великого міста через вираз (4.12) [42]:

$$\alpha(\square_m) = 3,2 \cdot (\lg 11,75 \cdot \square_m)^2 - 4,97, [\text{дБ}] \quad (4.12)$$

Для втрат передачі у передмісті (4.13) [42]:

$$L_S = L\{\text{Город}\} - 2(\lg(\frac{f}{28})^2) - 5,4, [\text{дБ}] \quad (4.13)$$

Для втрат передачі на відкритій (сільській) місцевості (4.14) [42]:

$$L_0 = L\{\text{Город}\} - 4,78 \cdot (\lg f)^2 + 18,33 \cdot \lg f - 40,94, [\text{дБ}] \quad (4.14)$$

Ці усереднені емпіричні формули дають змогу визначити загасання з точністю до 7...17дБ [42].

Для розрахунку втрат поширення використовуємо технічні характеристики стандарту GSM/EDGE, оскільки СММЗ цього стандарту набули найбільшого поширення в Україні на сьогоднішній день. Технічні характеристики стандарту GSM/EDGE наведено в таблиці 4.5 [43].

Таблиця 4.5 – Технічні характеристики стандарту GSM/EDGE

Параметр	Величина	Значення ТТХ	
		Абонентська станція	Базова станція
Метод радіодоступу		TDMA/FDMA з 8 тимчасовими слотами	
Робочий діапазон частот	МГц	ПРД 890-915 ПРМ 935-960	ПРД 935-960 ПРМ 890-915
Ширина частотного каналу	кГц	200	
Сітка частот	кГц	200	
Обмеження з використання смуги частот		Центральна частота каналу, найближчого до частоти 890 МГц, дорівнює 890.2 МГц або вище Центральна частота каналу, найближчого до частоти 915 МГц, дорівнює 914.8 МГц або нижче Центральна частота каналу, найближчого до частоти 935 МГц, дорівнює 935.2 або вище Центральна частота каналу, найближчого до частоти 960 МГц, дорівнює 959.8 МГц або нижче	
Класи випромінювання		200KG7D	
Характеристика класу випромінювання		GMSK, 8-PSK	
Ширина спектру сигналу	-3 дБ, кГц	200	
	-30 дБ, кГц	400	
	-60 дБ, кГц	800	

Продовження таблиці 4.5

Параметр	Величина	Значення ТТХ	
		Абонентська станція	Базовая станция
Максимальна потужність передавача	дБм	37	49
Побічні випромінювання	дБ	Відповідно до норм ДКРЧ на побічні випромінювання	
Чутливість приймача	дБм	Відповідно до Рекомендації 3GPP TS 45.005	
Вибірковість по сусідньому каналу	дБ	Відповідно до Рекомендацією 3GPP TS 45.005	
Тип антени		Всеспрямована	Секторна
Максимальний коефіцієнт посилення антени	дБ	0	18

Оскільки частоти передавання і приймання залежно від каналу зв'язку перебувають у діапазоні 862-960 МГц, тому приймемо $f = 900$ МГц. Антени базових станцій у межах міста розміщені на 18-поверхових будівлях висотою близько 50 м. Для забезпечення стійкого зв'язку в прилеглих районах антена піднята на 10 м над рівнем даху. Отже, можна вважати $h_b = 60$ м. Абонентські рухомі станції переважно розміщуються на вулицях ($h_m = 1,5$ м). Коефіцієнт $k = 1$ при $r < 20$ км. Відстань від БС до МС, $r = 2,5$ км [39].

Тоді втрати L для моделі Окамура-Хати розраховуються згідно з (4.15) [42]:

$$L = 69,55 + 26,16 \lg 900 - 13,82 \lg 60 - \alpha(\square_m) + 1 \cdot (44,9 - 6,55 \lg 60) \cdot \lg 2,5, [\text{дБ}], \quad (4.15)$$

Для міста середніх розмірів $\alpha(hm)$ можна розрахувати за допомогою виразу (4.11):

$$\alpha(\square_m) = (1,1 \cdot \lg 900 - 0,7) \cdot 1,5 - (1,56 \lg 900 - 0,8) = 0,016 [\text{дБ}].$$

Для великого міста за допомогою виразу (4.12):

$$\alpha(\square_m) = 3,2 \cdot (\lg 11,75 \cdot 1,5)^2 \cdot 1,5 - 4,97 = -9,19 \cdot 10^{-4} [\text{дБ}].$$

З виразу (4.14) втрати L для моделі Окамура-Хати для заданих умов дорівнюють:

– для міста із середньою щільністю забудови згідно з виразами (4.11) та (4.14):

$$L = 69,55 + 26,16 \lg 900 - 13,82 \lg 60 - 0,016 + 1 \cdot (44,9 - 6,55 \lg 60) \cdot \lg 2,5 = 135,476 [\text{дБ}];$$

– для міста з високою щільністю забудови згідно з виразами (4.12) та (4.14):

$$L = 69,55 + 26,16 \lg 900 - 13,82 \lg 60 - (-9,19 \cdot 10^{-4}) + 1 \cdot (44,9 - 6,55 \lg 60) \cdot \lg 2,5 = 135,493 [\text{дБ}];$$

Втрати передачі в передмісті оцінюються з (4.13):

$$L_S = 135,493 - 2(\lg(\frac{900}{28})^2) - 5,4 = 125,55 \text{ [дБ]}.$$

Втрати передачі на відкритій (сільській) місцевості оцінюються з (4.14):

$$L_0 = 135,493 - 4,78 \cdot (\lg 900)^2 + 18,33 \cdot \lg 900 - 40,94 = 106,987 \text{ [дБ]}.$$

На рисунках 4.7 та 4.8 наведено графіки залежності втрат поширення від висоти БС і МС, відповідно. Криві відображають втрати поширення за висоти МС $h_m = 1,5$ м (рис. 4.7) і висоти БС $h_b = 60$ м (рис. 4.8) для радіусу стільниці $r = 2,5$ км і таких умов забудови місцевості:

- L_1 – втрати передачі в місті із середньою щільністю забудови;
- L_2 – втрати передачі в місті з високою щільністю забудови;
- L_3 – втрати передачі у передмісті;
- L_4 – втрати передачі на відкритій (сільській) місцевості.

На рисунку 4.7 значення кривих L_1 і L_2 фактично збігаються.

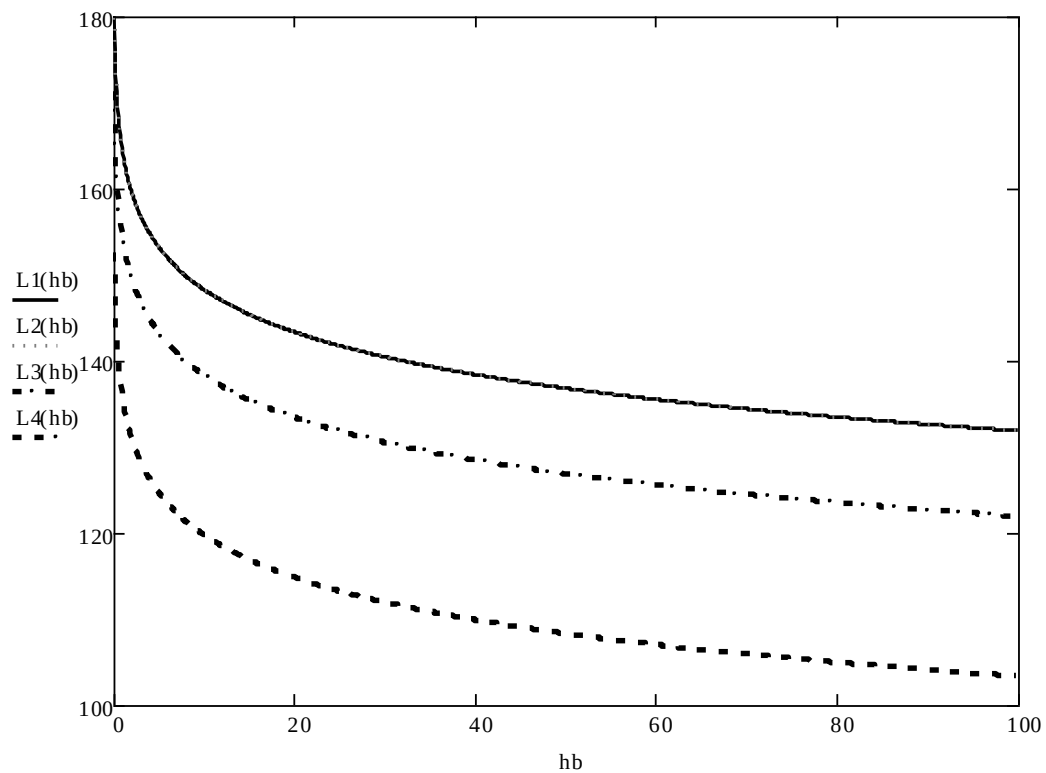


Рисунок 4.7 – Графік залежності втрат поширення від висоти БС

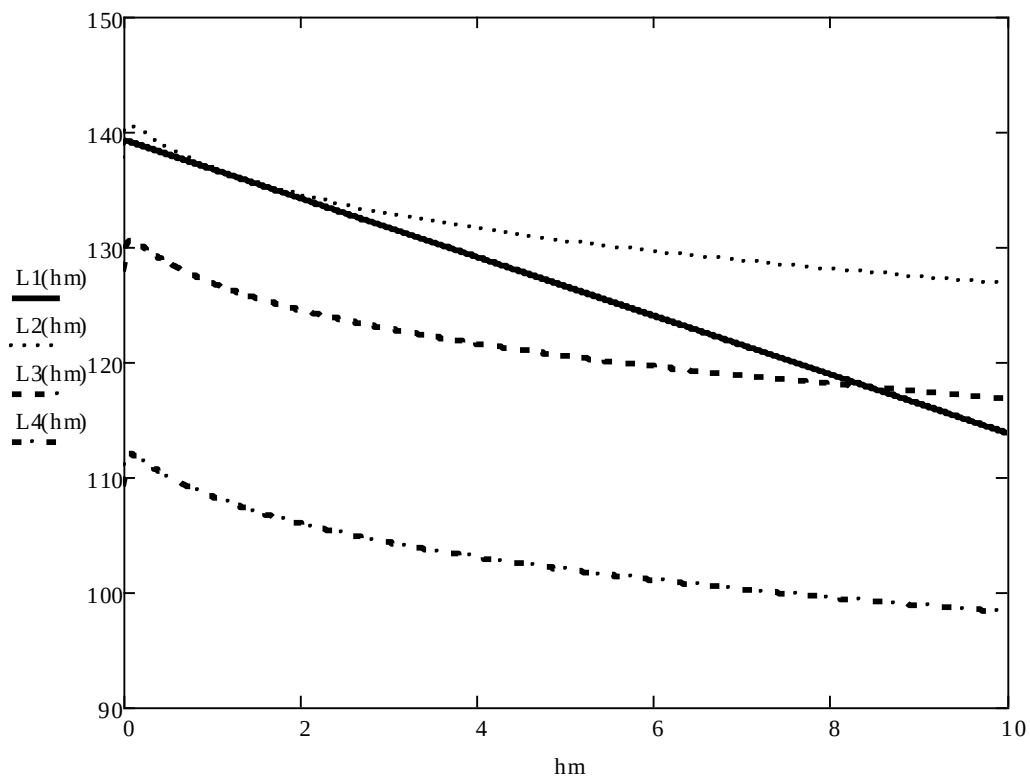


Рисунок 4.8 – Графік залежності втрат поширення від висоти МС

Таким чином, було визначено втрати поширення для місцевості з різною щільністю забудови для моделі Окамура-Хата для визначеного в п. 4.2.3 радіуса стільники ($r = 2,5$ км). Отримано такі значення втрат поширення за типових для моделі Окамура Хата висот БС ($h_b = 60$ м) та МС ($h_m = 1,5$ м):

– $L = 135,476$ [дБ] – втрати передачі в місті із середньою щільністю забудови;

– $L = 135,493$ [дБ] – втрати передачі в місті з високою щільністю забудови;

– $L_s = 125,55$ [дБ] – втрати передачі у передмісті;

– $L_0 = 106,987$ [дБ] – втрати передачі на відкритій (сільській) місцевості.

Також було побудовано графіки залежності втрат поширення від висоти БС і МС залежно від щільності забудови місцевості для радіуса стільники $r = 2,5$ км.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі було проведено дослідження питання ефективного використання ресурсів СММЗ.

Результатом проведеної роботи стала пропозиція нового способу зниження сигнального навантаження на мережу завдяки скороченню витрат ресурсів мережі на уточнення місцеположення МС, які статично перебувають в одній зоні місцеположення, шляхом максимального збільшення часу, через який проводиться процедура періодичного уточнення місцеположення. Основними перевагами пропонованого способу є:

- поліпшені показники використовуваних мережевих ресурсів;
- можливість використання з іншими методами/способами зниження сигнального навантаження на СММЗ;
- можливість використання для мобільних мереж інших стандартів;
- простота можливої технічної реалізації.

Також під час дослідження було розв'язано проблему «незапланованого переміщення абонента», тобто визначено значення рівня сигналу, що приймається мережею, за якого МС поновлює передавання інформації про своє місцезнаходження на мережеві пристрої (~ 57 дБм для $r = 2,5$ км мережі GSM). Було визначено втрати поширення за моделлю Окамури-Хата (за вихідних значень параметрів мережі) для місцевості з різною щільністю забудови.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Technical Specification ITU-T Rec. E.800 (08/94) Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability / Technical Specification ITU-T Rec. E.800 (08/94).
2. Li J. Optimal dynamic mobility management for PCS networks / J.Li, H.Kameda, K.Li // IEEE/ACM Trans. Networking. – 2000. – Vol. 8. – № 3. – P. 319-327.
3. Xiao Y. Optimal fractional movement-based scheme for PCS location management / Y. Xiao // IEEE Commun. Lett. – 2003. – Vol. 7. – № 2. – P. 67-69.
4. Wang W. Reducing the paging costs under delay bounds for PCS networks / W.Wang, I.F.Akyildiz, G.L.Stuber // IEEE WCNC. – 2000. – P. 375-389.
5. Mobile radio interface Layer 3 specification; Core network protocols; Stage 3 // 3GPP TS 24.008 V8.4.0. – 2008.
6. Ericsson mobility report 2011 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ericsson.com/res/docs/2012/ericsson-mobility-report-november-2012.pdf> (дата звернення 20.09.2023). – Назва з екрану.
7. Michal F. Tracking users in mobile networks: data acquisition methods and their limits / F. Michal. – Prague: 2013.
8. Ahas R. Mobile positioning in space-time behavior studies: social positioning method experiments in Estonia. Cartography and Geographic Information Science / R. Ahas, A. Aasa, S. Silm et al. // Estonia. – 2007. – Vol. 34. – № 34. – P. 259-273.
9. Mobile Application Part (MAP) specification // 3GPP, TS 29.002. – 2002. – V. 3.13.0.
10. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); User equipment (UE) procedures in idle mode // 3GPP, TS 36.304. – 2011. – V. 10.3.0.
11. Dufkovffa K. Active GSM cell-id tracking: "Where did you disappear?" / K. Dufkovffa, M. Ficek, L. Kencl et al. // MELT. ACM. – 2008. – P. 7-12.

12. Alphabets and language-specific information // 3GPP, TS 23.038. – 2008. – V. 7.0.0.
13. Unstructured Supplementary Service Data (USSD) – Stage 2 // 3GPP, TS 30.90. – 1999. – V. 7.0.0.
14. Patent 20 020 160 789 U.S. Method for providing location information / A. Berg. – 2002.
15. Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic // 3GPP, TS 09.78.
16. Noldus R. CAMEL: Intelligent Networks for the GSM, GPRS and UMTS Network / R. Noldus // John Wiley & Sons, ISBN 0470016949. – 2006.
17. Feasibility study on Uplink TDOA in GSM and GPRS // 3GPP, TS 45.811. – 2002. – V. 6.0.0.
18. Ahas R. Evaluating passive mobile positioning data for tourism surveys: an Estonian case study / R. Ahas, A. Aasa, A. Roose et al. // Tourism Management. – 2008. – Vol. 29. – №. 3. – P. 469-486.
19. Gonzalez M.C. Understanding individual human mobility patterns / M.C. Gonzalez, C.A. Hidalgo, A.L. Barabasi // Nature. – 2008. – Vol. 453. – № 7196. – P. 779-782.
20. Isaacman S. Identifying important places in people's lives from cellular network data in Pervasive Computing. Springer / S. Isaacman, R. Becker, R. Caceres et al. – 2011. – Vol. 6696. – Ch. 9. – P. 133-151.
21. Blondel V.D. Data for Development: the D4D Challenge on Mobile Phone Data / V.D. Blondel, M. Esch, C. Chan et al. // ACM Computing Research Repository. – 2012. – Vol. abs/1210.0137. – P. 1-10.
22. Lane N. A survey of mobile phone sensing / N. Lane, E. Miluzzo, H. Lu et al. // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48. – № 9, P. 140-150.
23. Fischer A. CellTrack [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.afischer-online.de/sos/celltrack/> (дата звернення 02.11.2023). – Назва з екрану.

24. Parizene, Netmonitor. - 2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://androlib.com/android.application.com-parizene-netmonitor-iCEn.aspx> (дата звернення 03.11.2023). – Назва з екрану.
25. Larsen J.E. Mobile context toolbox: an extensible context framework for S60 mobile phones / J.E. Larsen, K. Jensen // EuroSSC. Springer-Verlag. – 2009. – P. 193-206.
26. Behavio: Open Sensing Platform. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://funf.org/> (дата звернення 28.09.2023). – Назва з екрану.
27. Wu P. Mobisens: A versatile mobile sensing platform for real-world applications / P. Wu, J. Zhu, and J. Y. Zhang // Mobile Networks and Applications. – 2013. – Vol. 18. – № 1. – P. 60-80.
28. Mun M. PEIR, the personal environmental impact report, as a platform for participatory sensing systems research / M. Mun, S. Reddy, K. Shilton et al. // MobiSys. ACM. – 2009. – P. 55-68.
29. Ra M.-R. Medusa: a programming framework for crowd-sensing applications / M.-R. Ra, B. Liu, T. F. La Porta et al. // MobiSys. ACM. – 2012. – P. 337-350.
30. Ganti R. Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges / R. Ganti et al. // IEEE Communications Magazine. – 2011. – Vol. 49. – № 11. – P. 32-39.
31. GSMweb. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://gsmweb.cz/> (дата звернення 18.11.2023). – Назва з екрану.
32. Burke J. Participatory sensing / J. Burke, D. Estrin, M. Hansen et al. // WSW. ACM. – 2006. – P. 117-134.
33. Zheng Y. Tutorial on location-based social networks / Y. Zheng // WWW. ACM. – 2012. – P. 1-4.
34. Google Latitude. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.google.com/latitude/> (дата звернення 26.11.2023). – Назва з екрану.
35. Foursquare. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://foursquare.com/> (дата звернення 18.10.2023). – Назва з екрану.

36. Allamanis M. Evolution of a location-based online social network: Analysis and models / M. Allamanis, S. Scellato, C. Mascolo // IMC. ACM. – 2012. – P. 145-158.
37. Wang Z. Detecting overlapping communities in locationbased social networks / Z. Wang, D. Zhang, D. Yang et al. // SocInfo. Springer-Verlag. – 2012. – P. 110-123.
38. Lee D.J. Sequential paging schemes considering two classes of paging traffic / D. J. Lee, D. H. Cho // Electron. Lett. – 1999. – Vol. 35. – № 14. – P. 1138-1139.
39. Lee D.-J. On Optimum Timer Value of Area and Timer-Based Location Registration Scheme / Dong-Jun Lee, Dong-Ho Cho // IEEE Comm. Lett. – 2001. – Vol. 5. – № 4.
40. Cell ID finder [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cellidfinder.com/wiki/#1> (дата звернения 10.10.2023). – Назва з екрану.
41. Timing Advance [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.slideshare.net/singheranil/timing-advances> (дата звернения 20.11.2023). – Назва з екрану.
42. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service / M. Hata // IEEE Trans. Veh. Technol. – 1980. – V. VT-29. – № 3. – P. 317-325.
43. Technical Specification ETSI TS 145 005 V10.0.0 (2011-04) Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception / Technical Specification ETSI TS 145 005 V10.0.0 (2011-04).