

Державний університет телекомунікацій

Дакова Л.В.

Моделювання мереж мобільного зв'язку

Методичні рекомендації
щодо виконання практичних робіт

Київ2018

ЗМІСТ

<i>Вступ</i>	4
<i>Практична робота № 1. Загальні принципи організації систем рухомого зв'язку</i>	5
<i>Практична робота № 2. Обладнання мобільних і базових станцій, центру комутації</i>	13
<i>Практична робота № 3. Система стільникового зв'язку стандарту GSM-900</i>	22
<i>Практична робота № 4. Структура логічних каналів управління і алгоритми функціонування систем GSM</i>	31
<i>Практична робота № 5. Вивчення принципів роботи систем множинного доступу з кодовим розділенням каналів</i>	42
<i>Практична робота № 6. Принципи побудови системи стільникового зв'язку, реєстрації мобільних станцій, проходження викликів і регулювання потужності в стандарті з кодовим розділенням каналів IS-95 (cdmaOne)</i>	48
<i>Практична робота № 7. Вивчення транкінгових систем, архітектура та протоколи систем транкінгового зв'язку</i>	62
<i>Список рекомендованої літератури</i>	73

ВСТУП

Одним з найважливіших завдань розвитку сучасної цивілізації є забезпечення населення надійним мобільним радіозв'язком, що функціонує в умовах надзвичайно великої кількості перешкод від інших радіозасобів і абонентів, які можуть розміщатися на суші, на морі, у повітрі, у космосі. Галузь мобільного зв'язку й телекомунікацій є в даний час однією з галузей науки й техніки, що нестримно розвиваються.

Метою вивчення дисципліни є ознайомлення студентів із принципами побудови систем мобільного зв'язку, стандартами їх функціонування, видами систем мобільного зв'язку, процесами управління в системах зв'язку та протоколами обміну інформації; вивчення технічних характеристик існуючих і нових технологій для оптимальної побудови та реконструкції мереж рухомого зв'язку, їхній аналіз та оцінку; принципи проектування нових і модернізації існуючих мереж і систем стільникового та транкінгового зв'язку.

Предметом курсу є вивчення елементарних принципів організації та побудови телекомунікаційних систем і мереж, супутникових систем радіозв'язку, стільникових та професійних систем радіозв'язку, ролі засобів зв'язку у рішенні задач науково-технічного прогресу, уявлення про взаємодію різних засобів телекомунікацій, організації навчання за обраною спеціальністю.

При вивченні дисципліни студенти повинні:

- знати принципи побудови мобільних радіосистем, їх основні характеристики; способи і методи захисту інформації в мобільних радіосистемах; методи боротьби з явищами багатопроменевості в каналах; особливості структурування діючих мобільних радіосистем;
- вміти будувати топологію та здійснювати частотний розподіл і планування в мобільних радіосистемах; проводити аналіз переваг та недоліків відомих систем рухомого зв'язку.

Мобільні телекомунікаційні системи – це передача й обробка інформації з використанням технологій безпроводного зв'язку: мобільний телефон, мобільний доступ в інтернет, безпроводні з'єднання периферійних пристроїв тощо. Сучасні телекомунікаційні системи є інтеграцією засобів зв'язку й засобів обчислювальної техніки, тому підготовка фахівця полягає в освоєнні теорії й систем мереж зв'язку, принципів функціонування сучасної зв'язної апаратури, а також опанування новітніх технологій і методів проектування пристроїв зв'язку.

Сучасні системи радіозв'язку з рухомими об'єктами є складними високоінтелектуальними інформаційними системами, виготовленими на суперсучасній елементній базі з високим комп'ютерним насиченням.

Практична робота № 1

Загальні принципи організації систем рухомого зв'язку

1. Мета роботи

Вивчення загальних принципів побудови та організації систем рухомого радіозв'язку.

2. Література [1, 2]

3. Завдання

1. Ознайомитись із загальними принципами побудови систем рухомого радіозв'язку.
2. Вивчити основні стандарти стільникових систем зв'язку.
3. Вивчити принцип повторного використання виділеного ресурсу частот.
4. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

У різних джерелах використовують різну назву систем мобільного зв'язку, в даному випадку будемо використовувати дві назви: стільникові системи мобільного зв'язку (ССМЗ) і стільникові сухопутні рухомі системи електрозв'язку (ССРСЕ).

Розвиток в 70-х роках стільникових систем мобільного зв'язку та їх впровадження вирішили проблему економії спектра радіочастот шляхом багаторазового використання виділеного частотного ресурсу при просторовому рознесенні прийомопередавачів із співпадаючими робочими частотами. Відомо дев'ять основних стандартів аналогових ССМЗ. Однак, вони вже не задовольняють сучасний рівень розвитку інформаційних технологій через численні недоліки, основні з яких: низька якість зв'язку; відсутність засекречування повідомлень, що передаються, і взаємодія з цифровими мережами з інтеграцією служб (ISDN) та пакетної передачі даних (PDN). Через обмежені можливості стандартів NMT-450 та NMT-900 у світі спостерігається зниження росту кількості їх користувачів.

У 80-х роках в Європі, Північній Америці та Японії розпочали інтенсивне вивчення принципів побудови перспективних цифрових ССМЗ і сьогодні вже розроблено три стандарти таких систем з макростільниковою топологією мереж і радіусом стільників до 35 км: загальноєвропейський стандарт GSM, прийнятий Європейським інститутом стандартів в галузі зв'язку (ETSI); американський стандарт ADC (D-AMPS), розроблений Промисловою асоціацією в галузі зв'язку (TIA); японський стандарт JDC, прийнятий Міністерством пошт і зв'язку Японії.

Загальноєвропейський стандарт GSM – перший у світі стандарт на цифрові ССМЗ, який передбачає їх створення в діапазоні 900 МГц і є основою стандарту ССМЗ DCS 1800 з мікростільниковою структурою, прийнятого в даний час в Європі. Зазначені стандарти на цифрові ССМЗ побудовані на єдиних принци-

пах і концепціях та відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій (табл. 1.1). Розроблені в GSM системні і технічні рішення можуть використовуватися для всіх перспективних цифрових ССМЗ. До таких рішень належать: побудова мереж GSM на принципах інтелектуальних мереж; поширення моделі відкритих систем на ССМЗ тощо.

Таблиця 1.1

№ п/п	Характеристики стандарту	GSM DCS18000, PCS1900	ADC	JDC
1	Метод доступу	TDMA	TDMA	TDMA
2	Рознесення частот	200 кГц	30 кГц	25 кГц
3	Кількість мовних каналів на несучу	8(16)	3	3(6)
4	Швидкість перетворення мови	13 кбіт/с (6,5 кбіт/с)	8 кбіт/с	11,2 кбіт/с (5,6 кбіт/с)
5	Алгоритм перетворення мови	RPE-LTP	VSELP	VSELP
6	Загальна швидкість передачі	270 кбіт/с	48 кбіт/с	42 кбіт/с
7	Метод рознесення	Перемеження, стрибки по частоті	Перемеження	Перемеження
8	Еквівалентна смуга частот на мовний канал	25 кГц (12,5 кГц)	10 кГц	8,3 кГц (4, 15 кГц)
9	Вид модуляції	0,3 GMSK	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK
10	Потрібне відношення несуча/інтерференція (C/I)	9 дБ	16 дБ	13 дБ
11	Робочий діапазон частот	93 5-960 МГц	824-840 МГц	8 10-826 МГц
		890-9 15 МГц	869-894 МГц	940-956 МГц
				1429-1441 МГц
				1447- 1489 МГц
				1453-1465 МГц
				1501-1513 МГц
12	Радіус стільника	0,5-35 км	0,5-20 км	0,5-20 км

Американський стандарт ADC (D-AMPS) розроблявся для відмінних від Європи умов; діапазон частот 800 МГц і робота в спільній з існуючою аналоговою ССМЗ AMPS смузі частот. Тому, для цифрової ССМЗ потрібно було зберегти частотне рознесення каналів 30 кГц, що використовувалися в AMPS, і забезпечити одночасну роботу абонентських радіостанцій в аналоговому і в цифровому режимах. Застосування спеціально розробленого мовного кодека (VSELP), і цифрової диференціальної квадратурної фазової маніпуляції із зсу-

вом $\pi/4$ дозволило в режимі TDMA організувати три мовних канали на одну несучу з рознесенням каналних частот 30 кГц (табл. 1.1).

Японський стандарт JDC багато в чому збігається з американським. Основні відмінності полягають у використанні іншого частотного діапазону, дуплексного рознесення смуг частот прийому і передачі 55 МГц при рознесенні каналів 25 кГц. Стандарт JDC адаптований до діапазону 1500 МГц (табл. 1.1).

Всі стандарти цифрових ССРЗ забезпечують взаємодію з ISDN і PDN.

Загальні принципи побудови ССРСЕ

Головні елементи ССРСЕ – це центр комутації рухомої служби (ЦКРС), а також базова станція (БС) і абонентська станція (АС). Всі БС з'єднані зі своїм ЦКРС стаціонарними лініями зв'язку (кабельні, радіорелейні та ін.), а всі ЦКРС - мережі – стаціонарними лініями з транзитними комутаторами ТФЗК та обмінюються інформацією по загальному каналу сигналізації ЗКС 7.

ССРСЕ будують на основі *частотно-територіальних планів* (ЧТП). При складанні ЧТП, обслуговуючу територію розділяють між БС. Якщо на БС використовується всенаправлена антена, то межа території, яку обслуговує одна БС, – коло, в центрі якого розташовується БС (рис. 1.1, а). Кордони трьох сусідніх кіл перетинаються в одній точці. Поєднавши точки перетину кіл, уточнимо межі території, яку обслуговує кожна БС. Виходить шестикутник - стільник. Отже, *стільник* – це територія, що обслуговується однією БС при всепрямованих антенах. Кожна БС підтримує радіозв'язок з АС, що знаходяться у своєму стільнику. Щоб уникнути взаємних перешкод сусідні БС працюють на різних частотах. Кожному стільнику присвоюється частотна група і для всієї ССРСЕ складається ЧТП. Основою ЧТП є кластер. Кластер утворений сукупністю сусідніх стільників, в яких використовуються різні частотні групи. Частотні групи всередині кластера не повторюються. Число таких стільників в кластері називається його розмірністю. Всі частотні канали системи ділять між БС, що входять в один кластер.

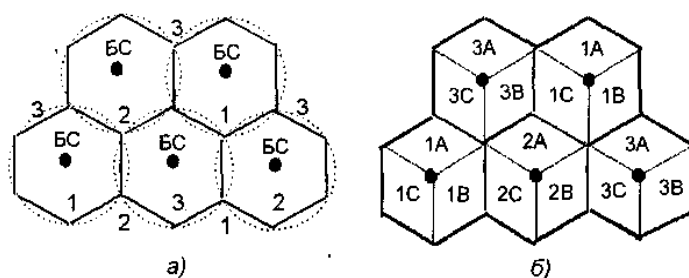


Рис. 1.1. Стільникові структури: а - регулярна; б – секторна

Стільникова структура може бути двох типів:

- регулярна, що використовує всепрямовані антени (рис. 1.1, а);
- секторна, на основі направлених антен (рис. 1.1, б).

Як направлені антени на БС використовуються секторні антени. Набули поширення секторні антени з шириною головного пелюстка ДНА (α), що дорівнює 60, 90 або 120°. На рис. 1.1, б зображені стільники з секторними антенами при $\alpha=120^\circ$. У цьому випадку стільник ділиться на три сектори А, В, С. У кож-

ному секторі встановлюється своя БС, причому в центрі стільника кожна БС працює на своїй частоті. Частотні групи позначені 1А, 1В,...

Особливості побудови цифрових ССМЗ з макростільниковою структурою

Принципи побудови цифрових ССМЗ дозволили застосувати при організації стільникових мереж нові, більш ефективні моделі повторного використання частот. У результаті, без збільшення загальної смуги частот системи зв'язку значно зросла кількість каналів на стільник. Вид модуляції, способи кодування і формування сигналів у каналах зв'язку, прийняті в GSM, забезпечують прийом сигналів з відношенням сигнал/перешкода $C/I=9$ дБ (в аналогових системах 17-18 дБ). Тому передавачі БС (BTS), що працюють на співпадаючих частотах, можуть розміщуватися в близько розташованих стільниках без втрати високої якості прийому повідомлень. Першими моделями повторного використання частот, які застосовувалися в аналогових ССМЗ, були моделі з круговими діаграмами спрямованості (ДС) антен базових станцій. У мережах цифрових ССМЗ для стільників з круговою ДС антен застосовують модель повторного використання частот, що включає 7 або 9 стільників (рис. 1.2). Модель з круговою ДС антен припускає передачу сигналу БС однакової потужності по всіх напрямках, що для АС еквівалентно прийому перешкод з усіх напрямків.

Ефективним способом зниження рівня каналних перешкод, тобто перешкод по співпадаючих частотних каналах, може бути використання секторних антен. У секторі спрямованої антени сигнал випромінюється в один бік, а рівень випромінювання в протилежному напрямку скорочується до мінімуму. Секторизація стільників дозволяє повторно застосовувати частоти в стільниках при одночасному зниженні рівня перешкод. Відома модель повторного використання частот в секторизованих стільниках включає три стільники і три БС. Найвищу ефективність використання смуги частот, тобто найбільшу кількість абонентів мережі у виділеній смузі частот, забезпечує розроблена фірмою Motorola модель повторного використання частот, що містить дві БС. Як впливає зі схеми, зображеної на рис. 1.3, кожна частота використовується двічі в межах моделі, що складається з чотирьох БС. Завдяки цьому кожна з 4-х БС в межах дії шести 60-градусних антен може працювати на 12-ти групах частот.

У будь-якій ССМЗ ємність мереж залежить від кількості каналів зв'язку в стільнику N , що, наприклад, для стандартів з тимчасовим розділенням каналів визначається виразом:

$$N = \frac{1}{k} \times \frac{F}{f} \quad (1.1)$$

де F – смуга частот ССМЗ; $f = \frac{F_k}{n}$ еквівалентна смуга частот, що припадає на один мовний канал; F_k – смуга частот одного радіоканалу; n – число тимчасових позицій в TDMA кадрі; $\frac{F}{f}$ – число мовних каналів зв'язку; k – коефіцієнт повторного використання частот.

У таблиці 1.2 наведено значення кількості каналів N на стільник для ССМЗ різних стандартів при різних коефіцієнтах повторного використання частот. Як

впливає з цієї таблиці, при однаковій смузі частот ССМЗ найбільше число каналів на стільник і найбільша ємність мереж може бути реалізована в стандартах GSM і JDC в напівшвидкісному каналі зв'язку.

Таблиця 1.2

Характеристики ССМЗ	Аналогові ССМЗ		Цифрові ССМЗ			
	NMT-450	AMPS	GSM		ADC	JDC
			повношвидкісний канал	напівшвидкісний канал		
Загальна смуга частот F, МГц	4,5	25	25	25	25	25
Еквівалентна смуга частот на один канал зв'язку f, кГц	25	30	25	12,5	10	8,3
Число мовних каналів зв'язку F/f	180	833	1000	2000	2500	3000
Коефіцієнт повторного використання частот k	7 (3)	7	3 (2)	3 (2)	7	4
Число каналів на стільник N	26 (60)	119	333 (500)	666 (1000)	357	750

Структура стільників і схеми повторного використання частот розроблялися за умови, що місце розташування рухомого абонента заздалегідь невідоме та непередбачуване. В даний час розвивається новий напрямок в рухомому зв'язку, заснований на використанні інтелектуальних антенних систем, що автоматично перебудовують свої ДС на джерело випромінювання сигналу.

Інтелектуальні антенні системи розробляються і застосовуються вже багато років, однак їх реалізація до останнього часу в комерційних системах була не вигідна до появи дешевих сигнальних процесорів, зручних для реалізації алгоритмів управління діаграмою спрямованості антен, розроблених відповідно до цифрових стільникових систем зв'язку зі своєю структурою логічних каналів керування. В даний час розвиваються два способи побудови інтелектуальних антенних систем, основаних на комутуванні променів і адаптації ДС. Обидва способи основані на збільшенні коефіцієнта підсилення антени в напрямі на АС, причому тільки адаптивні антени забезпечують максимальний коефіцієнт підсилення і мінімальний рівень каналних перешкод. Інтелектуальна антенна система складається з декількох антен, об'єднаних електронною схемою з фазовими і амплітудними аналізаторами. У результаті аналізу прийнятих сигналів, що надходять на різні елементи антени, обчислюється напрямок оптимального прийому. Сигнальний процесор в реальному масштабі часу формує сумарну ДС антен на джерело випромінювання з урахуванням частоти приймального сигнала.

лу і деяких інших параметрів. Практична реалізація інтелектуальних антенних систем є досить перспективною для стільникового зв'язку незалежно від стандарту GSM, DECT тощо.

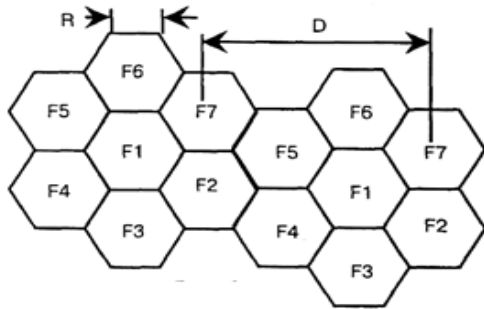


Рис.1.2. Модель повторного використання частот для семи стільників

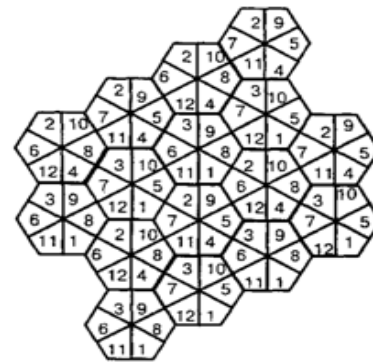


Рис.1.3. Модель повторного використання частот, що включає дві БС

При включенні АС виконується визначення її місця розташування і виділення для неї робочих частот. При перетині станцією кордону стільника мережа передає абонента іншій БС, при цьому на АС здійснюється автоматична зміна робочих частот. Ведення абонента містить кілька функцій. Одна з них – естафетна передача АС від однієї БС до іншої при русі абонента з включеною АС. Інша функція – перемикання частотних каналів всередині одного стільника, наприклад, при ураженні сигналу робочого каналу перешкодою. При перевантаженні стільники ЦКРС можуть передавати АС іншій БС, що має вільні частотні канали. Процедура «ведення абонента» часто називається процедурою естафетної передачі (ПЕП). Її називають також хенд-овер або хенд-офф. Рішення про виконання ПЕП зазвичай приймає ЦКРС на підставі результатів вимірювань, зроблених на АС і БС. На станціях вимірюються рівні прийнятих сигналів, відношення сигнал/шум у каналі та інші параметри. Ці результати передаються на ЦКРС по каналах керування. Вимірні параметри використовуються також для регулювання потужності АС. Якщо АС перебуває поза областю обслуговування свого ЦКРС, то при її включенні виконується процедура роумінгу. Ця процедура передбачає визначення місця розташування АС поза «власною» зоною обслуговування та надання абонентській станції каналів зв'язку при переміщенні абонентів в межах мережі. Роумінг можливий між ЦКРС мережі і між країнами. Роумінг буває автоматичний та замовний.

Канали трафіку і управління

У ССРСЕ передбачено дві основні категорії каналів:

- канали трафіку, призначені для передачі мови та даних (ТСН);
- канали управління, які використовуються для сигналізації і управління, включаючи ведення абонента (ССН).

Наявність каналів для ведення абонента відрізняє ССРСЕ від нерухомих систем радіозв'язку з стільниковою структурою, наприклад, від цифрових радіорелейних ліній зі структурою «точка – багато точок».

Наступний крок розвитку ССМЗ після введення цифрової технології – перехід до мікростільникової структури мереж. При радіусі стільників кілька сотень метрів їх ємність може бути збільшена в 5-10 разів у порівнянні з макростільниками. Мікростільникова структура ССМЗ органічно поєднується з макростільниками. Мікростільники будуються на основі БС невеликої потужності, що обслуговують ділянки вулиць, приміщення у будівлях. Мікростільникова структура може розглядатися, як розвиток обладнання макростільникової БС з управлінням, єдиним контролером і з взаємним з'єднанням за допомогою ліній зі швидкістю передачі 64 кбіт/с.

Принципи побудови створюваних мікростільникових мереж рухомого зв'язку відрізняються від існуючих для макростільникових мереж. До таких відмінностей належать відсутність частотного планування і «естафетна передача». Перша відмінність пов'язана з тим, що в умовах мікростільників важко спрогнозувати умови поширення радіохвиль і дати оцінку рівня співканальних перешкод. У цьому випадку неможливо застосовувати принципи частотного планування в мікростільниках. А фіксований розподіл каналів призводить до низької ефективності використання спектра частот. За даними причинами в мікростільникових мережах зв'язку діє процедура автоматичного адаптивного розподілу каналів зв'язку, реалізована, наприклад, в європейському стандарті DECT на цифрові системи бездротових телефонів загального користування. Щодо другої відмінності, то в мікростільникових мережах в процесі звичайного телефонного з'єднання кількість перемикачів між БС зростає, і для забезпечення безперервності зв'язку необхідні нові швидкодіючі алгоритми перемикачів. В існуючих цифрових ССМЗ застосовують алгоритми примусового перемикачів, що належать до класу розподілених алгоритмів, які працюють швидше, ніж централізовані алгоритми аналогових ССМЗ. У мікростільниковій структурі немає необхідності навантажувати мережу вимірюванням рівня радіосигналу для прийняття рішення про переключення. Функції вимірювання передані мобільній станції, яка передає його результати на БС. У процесі перемикачів не потрібно синхронізувати БС. Центр комутації рухомого зв'язку не задіюється доти, доки не буде виконане фактичне перемикачів.

Мікростільникова структура використовується при реалізації мереж в рамках концепції персонального зв'язку, які в Європі створюються на основі стандарту DCS-1800, що передбачає відповідність радіоінтерфейсу стандарту GSM. В рамках реалізації концепції персонального зв'язку в структуру мереж вводяться пікостільники з радіусом 10-60 м, призначені для обслуговування абонентів в міських районах з великою щільністю населення і в закритих зонах.

Центр комутації – це автоматична телефонна станція ССС, що забезпечує всі функції управління мережею. ЦК здійснює постійне стеження за мобільною станцією (МС), організовує їх естафетну передачу, в процесі якої

досягається безперервність зв'язку при переміщенні МС із стільника в стільник і перемикання робочих каналів в стільнику при появі перешкод або несправностей. На ЦК замикаються потоки інформації з усіх БС, і через нього здійснюється вихід на інші мережі зв'язку – стаціонарну телефонну мережу, мережі міжміського зв'язку, супутникового зв'язку, інші стільникові мережі. До складу ЦК входить декілька процесорів (контролерів). Комутатор підключається до ліній зв'язку через відповідні контролери зв'язку, що здійснюють проміжну обробку потоків інформації. Управління роботою ЦК і системи в цілому проводиться від центрального контролера. Робота ЦК передбачає участь операторів, тому до складу центру входять відповідні термінали, а також засоби відображення і реєстрації інформації.

У кожному стандарті стільникового зв'язку використовується декілька інтерфейсів, в загальному випадку різних в різних стандартах. Передбачені свої інтерфейси для зв'язку МС з БС, БС – з ЦК, ЦК з домашнім регістром, з гостьовим регістром, з регістром апаратури, зі стаціонарною телефонною мережею та інші. Всі інтерфейси підлягають стандартизації для забезпечення сумісності апаратури різних фірм-виробників, що не виключає можливості використання різних інтерфейсів, які визначаються різними стандартами, для одного і того ж інформаційного стику. Інтерфейс обміну між МС і БС носить назву ефірного інтерфейсу або радіоінтерфейсу і для двох основних стандартів цифрового стільникового зв'язку (D-AMPS і GSM) позначається однаково – Dm, хоча організований по-різному.

5. Контрольні запитання

1. Дайте характеристику поняттю частотно-територіальний план.
2. Що називається кластером?
3. Як впливає коефіцієнт повторного використання частот на ємність мережі?
4. Поясніть поняття інтелектуальна антенна система.
5. У чому відмінність мікростільникових мереж рухомого зв'язку від макростільникових мереж?
6. Поясніть процедуру «ведення абонента», «роумінг».
7. Призначення каналів трафіку та управління.
8. Поясніть призначення центру комутації.
9. Призначення інтерфейсів в мережах стільникового зв'язку.

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Навести характеристики основних стандартів.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Практична робота № 2

Обладнання мобільних і базових станцій, центру комутації

1. Мета роботи

Вивчити блок-схеми мобільної станції (абонентського радіотелефонного апарата), базової станції та центру комутації.

2. Література [3, 4]

3. Завдання

1. Вивчити блок-схему мобільної станції.
2. Ознайомитись з обладнанням окремих вузлів мобільної станції.
3. Вивчити блок-схему базової станції та центру комутації.
4. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

Розгляд елементів системи стільникового зв'язку почнемо з мобільної станції – найпростішого за функціональним призначенням пристрою, і до того ж єдиного елемента системи, який доступний користувачеві та ще й знаходиться у нього в руках. Блок-схема МС наведена на рис. 2.1.

До складу МС входять:

- блок управління;
- приймально-передавальний блок;
- антенний блок.

Приймально-передавальний блок, у свою чергу, містить передавач, приймач, синтезатор частот і логічний блок.

Найпростіший за складом *антенний блок* містить антену – в найпростішому випадку чвертьхвильовий штир, і комутатор прийомо- передавача. Останній для цифрової станції може являти собою електронний комутатор, що підключає антену, або на вихід передавача, або на вхід приймача, оскільки МС цифрової системи ніколи не працює на прийом і передачу одночасно.

Функціонально нескладний *і блок управління*. Він містить мікротелефонну трубку – мікрофон і динамік, клавіатуру і дисплей. На лицьовому боці апарата є невеликий дисплей, зазвичай рідкокристалічний, на якому відображається номер телефону, що набирається, пункти меню та інша інформація. З верхньої частини апарата виступає антена довжиною 20...60 мм; в деяких типах апаратів вона додатково висувається на 50...150 мм. Все управління здійснюється за допомогою клавіш наборного поля: з їх допомогою можна включити і вимкнути апарат, записати інформацію в пам'ять тощо. На лицьовий бік апарата виводиться динамік і мікрофон (у нижній частині) так, що апарат прикладається до вуха, як трубка звичайного телефону. У верхній частині апарата зазвичай розташовується світловий індикатор, що відображає режим роботи, і джерело звукового сигналу. Деякі типи апаратів мають окремі кнопки вмикання/вимикання і регулювання гучності звуку. На тильному боці за

допомогою засуви кріпиться джерело живлення – акумуляторна батарея. Типовий час роботи повністю зарядженої батареї складає: у режимі розмови до 2...5 год; в режимі очікування виклику до 20...50 год; типовий час заряду батареї 1...3 год. У нижній частині апарата зазвичай є гнізда для підключення портативного зарядного пристрою, що дозволяє заряджати батарею.

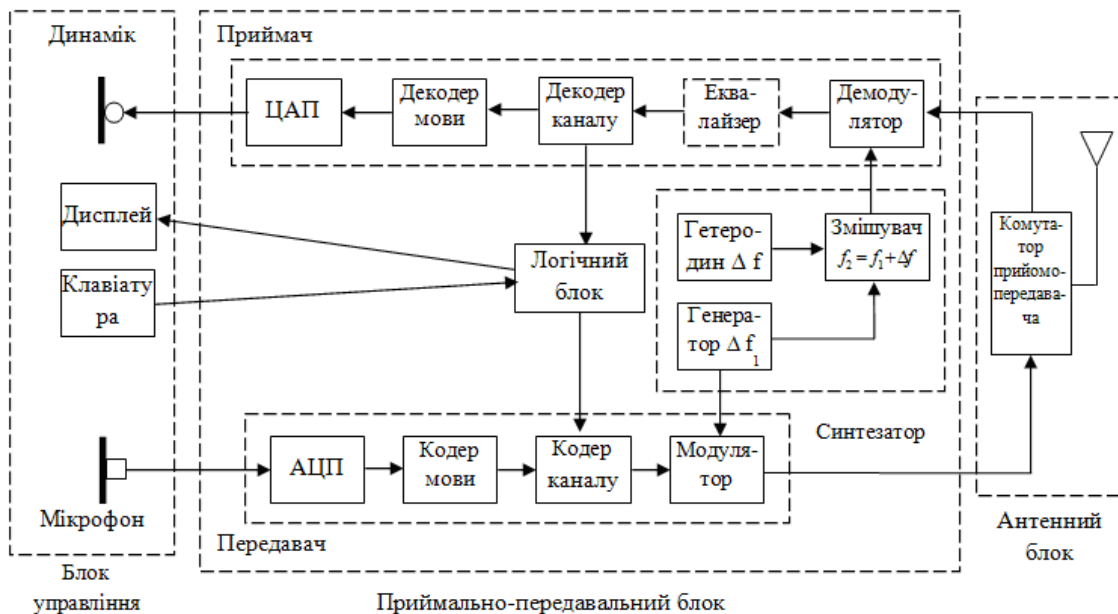


Рис. 2.1. Блок-схема мобільної станції

Абонентський апарат може бути використаний як електронна записна книга, годинник. На дисплеї можуть відображатися поточна дата та година, причому рахунок часу не збивається при виключенні апарата або при знятті батареї, а формат надання часу та дати вибирається абонентом. Всі сучасні апарати мають систему меню, за допомогою якої проводиться вибір параметрів і варіантів роботи апарата. У всіх апаратах на дисплеї відображаються рівень прийнятого сигналу і ступінь розряду акумуляторної батареї. Процедура аутентифікації, що виконується при встановленні зв'язку виключає можливість появи «двійників», принаймні, в цифрових стандартах, за рахунок використання досить досконалих алгоритмів аутентифікації. В абонентських апаратах передбачається можливість блокування.

Приймально-передавальний блок значно складніший.

До складу передавача входять:

- аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – перетворює в цифрову форму сигнал з виходу мікрофона і вся подальша обробка і передача сигналу мовлення виробляється у цифровій формі, аж до зворотного цифро-аналогового перетворення;
- кодер мови здійснює кодування сигналу мовлення – перетворення сигналу, має цифрову форму, за певними законами з метою скорочення його збитковості, тобто з метою скорочення обсягу інформації, що передається по каналу зв'язку;

- кодер каналу – додає в цифровий сигнал, одержуваний з виходу кодера мови, додаткову інформацію, призначену для захисту від помилок при передачі мови по лінії зв'язку; з тією ж метою інформація піддається певному перепакуванню; крім того, кодер каналу вводить до складу сигналу, що передається, інформацію управління, що надходить від логічного блока;

- модулятор – здійснює перенесення інформації кодованого сигналу на несучу частоту.

Приймач за складом в основному відповідає передавачу, але із зворотними функціями вхідних у нього блоків:

- демодулятор виділяє з модульованого радіосигналу кодований відео-сигнал, що несе інформацію;

- декодер каналу виділяє з вхідного потоку керуючу інформацію і направляє її на логічний блок, прийнята інформація перевіряється на наявність помилок і виявлені помилки по можливості виправляються; до подальшої обробки прийнята інформація піддається зворотному перепакуванню;

- декодер мови відновлює сигнал мовлення, що надходить до нього з кодера каналу, перекладаючи його в природну форму з властивою йому надмірністю, але в цифровому вигляді;

- цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) перетворює прийнятий сигнал мовлення в аналогову форму і подає його на вхід динаміка;

- еквалайзер служить для часткової компенсації спотворень сигналу внаслідок багатопроменевого розповсюдження; блок еквалайзера не є функціонально необхідним і в деяких випадках може бути відсутнім.

Іноді, для поєднання кодера і декодера вживають назву кодек.

Крім передавача і приймача, у приймально-передавальний блок входить логічний блок і синтезатор частот. *Логічний блок* – це, по суті, мікрокомп'ютер зі своєю оперативною та постійною пам'яттю, що здійснює управління роботою МС. *Синтезатор* є джерелом коливань несучої частоти, що використовується для передачі інформації по радіоканалу. Наявність гетеродина і перетворювача частоти обумовлено тим, що для передачі і прийому використовуються різні ділянки спектра.

Блок-схема (рис. 2.1) є суттєво спрощеною. На ній не позначені підсилювачі, генератори сигналів синхронізуючих частот і ланцюги їх розведення тощо. Для забезпечення конфіденційності передачі інформації у деяких системах можливе використання режиму шифрування, у цих випадках передавач і приймач МС містять відповідно блоки шифрування і дешифрування повідомлень. У МС системи GSM передбачений спеціальний знімаючий модуль ідентифікації абонента (Subscriber Identity Module - SIM).

МС системи GSM містить також детектор мовної активності, який з метою економного витрачання енергії джерела живлення, а також зниження рівня перешкод, неминуче створюваних для інших станцій при працюючому передавачі, включає роботу передавача на випромінювання тільки на ті інтервали часу, коли абонент говорить. На час паузи в роботі передавача в приймальний тракт додатково вводиться так званий комфортний шум. У необхід-

них випадках в МС можуть входити окремі термінальні пристрої, наприклад, факсимільний апарат, зокрема й ті, що підключаються через спеціальні адаптери з використанням відповідних інтерфейсів. Якщо уявити блок-схему аналогової МС, то вона буде простішою за розглянуту цифрову за рахунок відсутності блоків АЦП/ЦАП і кодеків, але складнішою за рахунок більш громіздкого дуплексного антенного перемикача, оскільки аналоговій станції доводиться одночасно працювати на передачу і на прийом.

Базова станція

Багато елементів, що входять до складу БС, за функціональним призначенням не відрізняються від аналогічних елементів МС, але в цілому БС істотно більша і складніша, ніж мобільна, що відповідає її місцю в системі стільникового зв'язку. Блок-схема БС наведена на рис. 2.2.

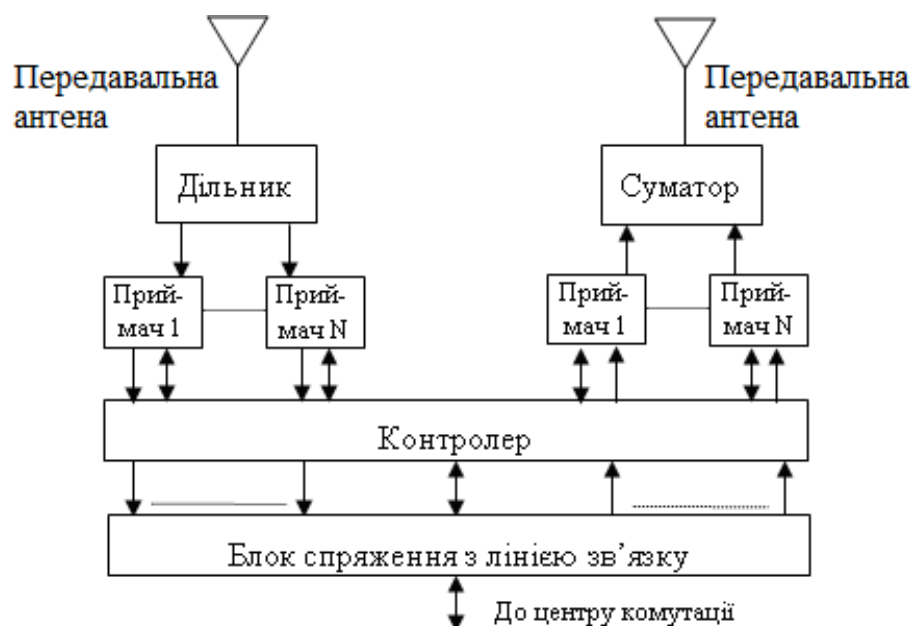


Рис. 2.2. Блок-схема базової станції

Перша особливість БС – це використання рознесеного прийому, для чого станція повинна мати дві приймальні антени. БС може мати роздільні антени на передачу і на прийом. Використовувані в стільниковому зв'язку смуги частот належать до дециметрового діапазону. Як відомо, дециметрові радіохвилі поширюються в основному в межах прямої видимості; дифракція на цих частотах виражена слабо, а молекулярного поглинання і поглинання в гідрометеорах практично немає. Однак близькість підстильної поверхні і наявність перешкод, особливо в умовах міста, типових для застосування стільникового зв'язку, призводять до появи відбитих сигналів, що інтерферують між собою і з сигналом, що пройшов по прямому шляху. Це явище називають багатопроневим поширенням сигналів. Наслідком такого багатопроневого поширення є більш швидке, ніж у вільному просторі, спадання інтенсивності приймаючого сигналу з відстанню. Інший наслідок – завмирання і спотворення результуючого сигналу.

Картина багатопроменевого поширення схематично ілюструється рис. 2.3. Фактично область істотних відображень обмежується порівняно невеликою ділянкою в околиці МС – близько декількох сотень довжин хвиль, тобто дещо декількох десятків або сотень метрів. При русі МС ця область переміщується разом з нею таким чином, що МС весь час залишається поблизу центру області. При доданні декількох сигналів, що пройшли по різних шляхах і мають в точці прийому в загальному випадку різні фази, результуючий сигнал може бути як дещо вище середнього рівня, так і помітно нижче, причому провали, або завмирання сигналу, що утворюються при взаємній компенсації сигналів внаслідок несприятливого поєднання їх фаз і амплітуд, можуть бути досить глибокими. Спотворення результуючого сигналу, або міжсимвольна інтерференція, має місце в тому разі, коли більш-менш синфазні складові сигналів із співмірними амплітудами настільки відрізняються по різниці ходу, що символи одного сигналу «налазять» на сусідні символи іншого.

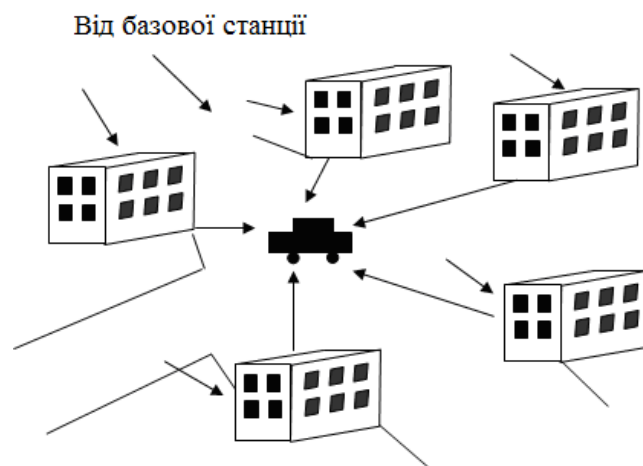


Рис. 2.3. Схема багатопроменевого поширення в умовах щільної місцевої забудови

Коливання рівня (завмирання) приймаючого сигналу практично завжди має дві складові – швидку і повільну. *Швидкі завмирання*, є прямим наслідком багатопроменевого поширення, описуються релеєвськими завмираннями. Діапазон змін рівня сигналу при швидких завмираннях може досягати 40 дБ, з яких приблизно 10 дБ – перевищення над середнім рівнем і 30 дБ – провали нижче середнього рівня, причому більш глибокі провали зустрічаються рідше, ніж менш глибокі. При нерухомому абонентському апараті інтенсивність приймаючого сигналу не змінюється. При переміщенні МС періодичність флуктуацій в просторі становить близько напівхвилі, тобто порядку 10...15 см в лінійній мірі. Період флуктуацій у часі залежить від швидкості переміщення МС: наприклад, при швидкості 50 км/год період флуктуацій становить близько 10 мс, а при 100 км/год – близько 5 мс. Частота завмирань глибиною 30...10 дБ при швидкості близько 50 км/год складає 5...50 провалів в секунду відповідно, а середня тривалість завмирань нижче рівня 30...10 дБ при тій самій швидкості – близько 0,2...2 мс. *Повільні завмирання* обумов-

лені зміною умов затінення при переміщенні МС і підкоряються логарифмічно нормальному закону розподілу. Інтенсивність повільних флуктуацій не перевищує 5...10 дБ, а їх періодичність відповідає переміщенню МС на десятки метрів. Фактично повільні завмирання являють собою зміну середнього рівня сигналу при переміщенні МС, на які накладаються швидкі завмирання внаслідок багатопроменевого розподілу.

Основну неприємність при стільниковому зв'язку складають швидкі завмирання, оскільки вони бувають досить глибокими, і при цьому відношення сигнал/шум падає настільки сильно, що корисна інформація може істотно спотворюватися шумами, аж до повної її втрати. Для боротьби з швидкими завмираннями використовуються два основні методи:

- рознесений прийом, тобто одночасне використання двох або більше приймальних антен;
- робота з розширенням спектра – використання стрибків по частоті, а також методу CDMA.

Рознесений прийом

Ідея рознесеного прийому, як заходу боротьби з швидкими завмираннями, полягає в спільному використанні декількох сигналів, що розрізняються (рознесених) по якомусь параметру або координаті, причому рознесення повинно вибиратися так, щоб ймовірність одночасних завмирань всіх сигналів, що використовуються, була набагато меншою, ніж якогось одного з них. В принципі можливе як мінімум п'ять варіантів рознесеного прийому:

- з рознесенням у часі; при цьому використовуються сигнали, зсунуті в часі один щодо іншого; цей метод досить легко реалізується лише в цифровій формі, та покращення якості прийому розмінюється на пропускну здатність каналу зв'язку;
- з рознесенням по частоті; при цьому використовуються сигнали, що передаються на декількох частотах, тобто платою є розширення використовуваної смуги частот;
- з рознесенням по куту або по напрямку; при цьому прийом проводиться на кілька антен з розузгодженими діаграмами спрямованості; у цьому випадку сигнали з виходів різних антен корельовані тим слабніше, чим менше перекриття діаграм спрямованості, але при цьому одночасно падає і ефективність прийому, принаймні для всіх антен, крім однієї;
- з рознесенням по поляризації, коли, наприклад, дві антени приймають сигнали двох взаємно ортогональних поляризацій.
- з розносом в просторі, тобто з прийомом сигналів на кілька просторово рознесених антен; це єдиний метод, що знаходить практичне застосування, і саме його зазвичай мають на увазі, коли йде мова про рознесений прийом.

Для методу просторового рознесення, або з урахуванням сказаного вище, для рознесеного прийому, необхідно як мінімум дві прийомні антени, встановлені з деяким зміщенням одна щодо іншої. Очевидно, що вигравш від

рознесеного прийому тим більший, чим більша кількість використовуваних антен, однак при цьому зростає і складність технічного рішення. Практичне застосування знаходить найпростіша система з двома прийомними антенами, і в основному в БС. Істотними характеристиками системи рознесеного прийому є відстань між антенами і спосіб спільного використання сигналів з виходу двох антен. З ростом відстані між антенами кореляція між флуктуаціями рівня приймаючих ним сигналів падає, і в цьому сенсі, чим більший рознос антен, тим вища ефективність рознесеного прийому. З урахуванням як аналітичних оцінок, так і емпіричних даних рознос зазвичай становить близько десятка довжин хвиль, тобто порядку декількох метрів.

Що стосується способів об'єднання сигналів з виходів двох антен, то в принципі можливе як використання одного з двох сигналів, так і підсумовування обох сигналів – додетекторне (когерентне) або післядетекторне – з однаковою вагою, або зі зважуванням, що забезпечує отримання максимуму відношення сигнал/шум. У разі двох прийомних антен відмінність в ефективності цих способів досить невелика, і на практиці застосовується найпростіший з них – вибір максимального з двох сигналів з комутацією виходу відповідного приймача на вхід тракту наступної обробки.

Друга особливість – наявність декількох приймачів і такої ж кількості передавачів, що дозволяють вести одночасну роботу на декількох каналах з різними частотами.

Одноменні приймачі та передавачі мають спільно перебудовані опорні генератори, що забезпечують їх узгоджену перебудову при переході з одного каналу на інший; конкретне число N прийомопередавачів залежить від конструкції і комплектації БС. Для забезпечення одночасної роботи N приймачів на одну прийомну та N передавачів на одну передавальну антену між прийомною антеною і приймачами встановлюється дільник потужності на N виходів, а між передавачами та передавальною антеною – суматор потужності на N входів. Приймач і передавач мають загалом ту саму структуру, що і в МС (рис. 2.1), за винятком того, що тут у них відсутні відповідно ЦАП і АЦП, оскільки і вхідний сигнал передавача, і вихідний сигнал приймача мають цифрову форму. Можливі варіанти, коли кодеки, або тільки кодек мови, або й кодек мови і каналний кодек – конструктивно реалізуються у складі ЦК, а не в складі прийомопередавачів базової станції, хоча функціонально вони залишаються елементами прийомопередавачів.

Блок спряження з лінією зв'язку здійснює пакування інформації, що передається по лінії зв'язку на ЦК, і розпакування прийнятої від нього інформації. Як лінії зв'язку БС з ЦК використовується радіорелейна або волоконно-оптична лінія, якщо БС і ЦК не розміщуються територіально в одному місці. Контролер БС, що являє собою досить потужний і вдосконалений комп'ютер, забезпечує управління роботою станції, а також контроль працездатності всіх вхідних в неї блоків і вузлів. Для забезпечення надійності багато блоків і вузлів БС резервуються, до складу станції включаються автономні джерела безперебійного живлення (акумулятори).

Центр комутації

Центр комутації є мозковим центром і одночасно диспетчерським пунктом системи стільникового зв'язку, на якій замикаються потоки інформації з усіх БС, і через який здійснюється вихід на інші мережі зв'язку – стаціонарну телефонну мережу, мережі міжміського зв'язку, супутникового зв'язку, інші стільникові мережі. До складу ЦК входить декілька процесорів (контролерів), і він є типовим прикладом багатопроцесорної системи. Блок-схема ЦК подана на рис. 2.4. Комутатор здійснює переключення потоків інформації між відповідними лініями зв'язку. Він може направити потік інформації від однієї БС до іншої, або від БС до стаціонарної мережі зв'язку, або навпаки – від стаціонарної мережі зв'язку до потрібної БС.

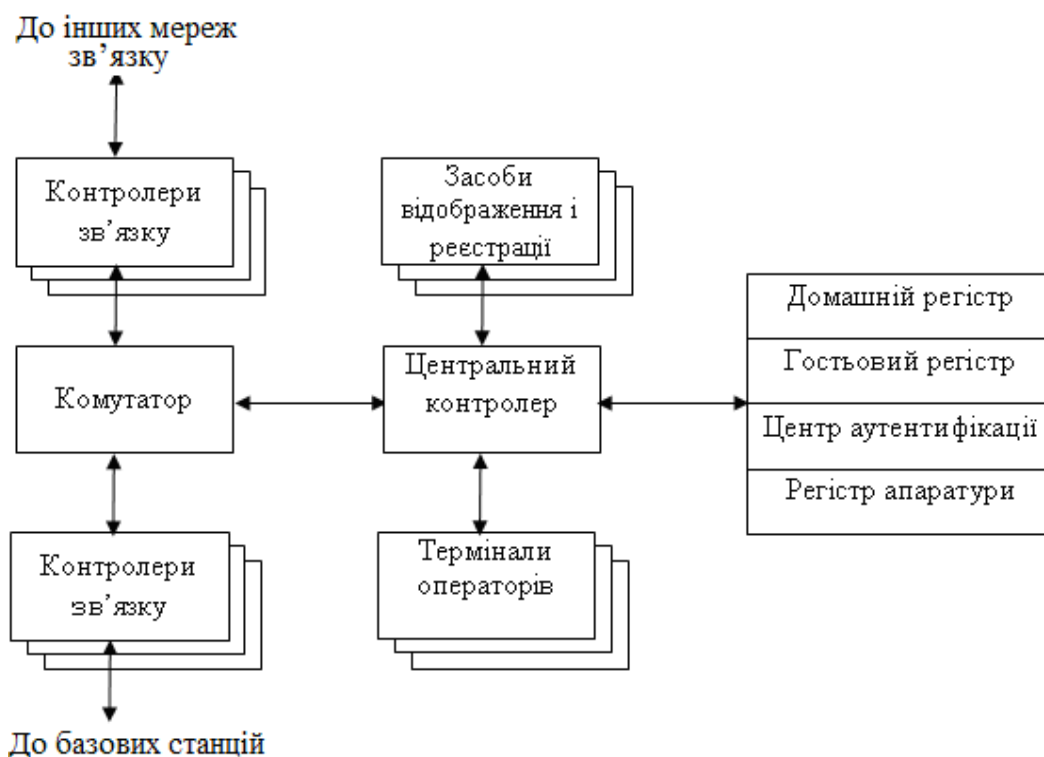


Рис. 2.4. Блок-схема центру комутації

Комутатор підключається до ліній зв'язку через відповідні контролери зв'язку, що здійснюють проміжну обробку потоків інформації. Загальне управління роботою ЦК та системи в цілому проводиться від центрального контролера, який має потужне математичне забезпечення, що включає перепрограмуючу частину. Робота центру комутації припускає активну участь операторів, тому до складу центру входять відповідні термінали, а також засоби відображення і реєстрації (документування) інформації. Оператором вводяться дані про абонентів та умови їх обслуговування, вихідні дані по режимах роботи системи, в деяких випадках оператор видає необхідні по ходу роботи команди.

Важливими елементами схеми є бази даних – домашній реєстр, гостьовий реєстр, центр аутентифікації, реєстр апаратури. *Домашній реєстр* (HLR) містить відомості про всіх абонентів, зареєстрованих в даній системі, і

про види послуг, які можуть бути їм надані. Тут же фіксується місцезнаходження абонента для організації його виклику, і реєструються фактично надані послуги. *Гостьовий реєстр (VLR)* містить приблизно такі самі відомості про абонентів гостей, тобто абонентів, зареєстрованих в іншій системі, але вони користуються в даний час послугами стільникового зв'язку в даній системі. *Центр аутентифікації* забезпечує процедури аутентифікації абонентів і шифрування повідомлень. *Реєстр апаратури*, якщо він існує, містить відомості про експлуатовані мобільні станції на предмет їх справності і санкціонованого використання. В ньому можуть відзначатися вкрадені (або загублені) абонентські апарати, а також апарати, що мають технічні дефекти. В ЦК передбачається резервування основних елементів апаратури, включаючи джерело живлення, процесори і бази даних. Бази даних часто не входять до складу ЦК, а реалізуються у вигляді окремих елементів.

5. Контрольні запитання

1. Поясніть склад МС та БС по блок-схемі.
2. Призначення і склад антенного блока та блока управління.
3. Поясніть функції, що виконуються апаратом МС.
4. Призначення і склад приймача і передавача МС.
5. Яка особливість базової станції?
6. Поясніть механізм утворення багатопроменевого поширення сигналів.
7. Які складові обумовлюють коливання рівня приймаючого сигналу?
8. Дайте характеристику можливих варіантів рознесеного прийому.
9. Призначення і склад центру комутації.

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Структурні схеми МС, БС і ЦК.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Практична робота №3

Система стільникового зв'язку стандарту GSM-900

1. Мета роботи

Вивчити основні технічні характеристики, функціональну будову та інтерфейси, прийняті в цифровій стільниковій системі рухомого радіозв'язку стандарту GSM.

2. Література [1, 4, 5]

3. Завдання

1. Ознайомитись з характеристиками стандарту GSM та зі складом довготривалих та тимчасових даних, що зберігаються в реєстрах HLR і VLR.
2. Вивчити функціональну схему і склад устаткування.
3. Ознайомитись з процедурою перевірки мережею дійсності абонента.
4. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

Стандарт GSM (Global System for Mobile communications) тісно пов'язаний з усіма сучасними стандартами цифрових мереж, в першу чергу з ISDN та IN. Основні функціональні елементи GSM входять у розроблювальний міжнародний стандарт глобальної системи рухомого зв'язку U MTS.

У 1990 р. були опубліковані специфікації першої фази GSM. До 1993 р. функціонувало вже 36 мереж GSM у 22 країнах, і ще 25 країн вибрали напрямок GSM чи поставили питання про його прийняття. Мережа GSM може надавати такі послуги: по перенесенню інформації; надання зв'язку; додаткові послуги. Система GSM є цифровою системою передачі даних, мова кодується і передається у вигляді цифрового потоку. Абоненти GSM можуть здійснювати обмін інформацією з абонентами ISDN, звичайних телефонних мереж, мереж з комутацією пакетів і мереж зв'язку з комутацією каналів, використовуючи різні методи і протоколи доступу. Унікальною можливістю GSM є двонаправлена передача коротких повідомлень SMS, що передаються у режимі з проміжним зберіганням даних.

Відповідно до рекомендації CEPT 1980 р., що стосується використання спектра частот рухомого зв'язку в діапазоні частот 862...960 МГц, стандарт GSM на цифрову загальноєвропейську стільникову систему наземного рухомого зв'язку передбачає роботу передавачів у двох діапазонах частот: 890...915 МГц (для передавачів MC), 935...960 МГц (для передавачів BC). У стандарті GSM використовується вузькосмуговий багатостанційний доступ з тимчасовим розділенням каналів (NB-TDMA). У структурі TDMA-кадру міститься 8 тимчасових позицій на кожній з 124 несучих. Для захисту від помилок в радіоканалах при передачі інформаційних повідомлень застосовується блокове і згортальне кодування з перемеженням.

Для боротьби з інтерференційними завмираннями приймаючих сигналів, викликаними багатопроменевим поширенням радіохвиль в умовах міста, в апаратурі зв'язку використовуються еквалайзери, що забезпечують вирівнювання імпульсних сигналів із середньоквадратичним відхиленням часу затримки до 16 мкс. У стандарті GSM обрана гаусівська маніпуляція з мінімальним зсувом; індекс маніпуляції – 0,3. Обробка мови здійснюється в рамках прийнятої системи переривчастої передачі мови (DTX), яка забезпечує включення передавача тільки при наявності мовного сигналу і відключення передавача в паузах і в кінці розмови. Як мовоперетворюючий пристрій обраний мовний кодек з регулярним імпульсним збудженням/довгостроковим передбаченням і лінійним предикативним кодуванням із передбаченням. Загальна швидкість перетворення мовного сигналу – 13 кбіт/с.

Функціональна побудова та інтерфейси, прийняті в стандарті GSM, ілюструються структурною схемою (рис. 3.1), на якій MSC (Mobile Switching Centre) – центр комутації рухомого зв'язку; BSS (Base Station System) – обладнання базової станції; OMC (Operations and Maintenance Centre) – центр управління і обслуговування; MS (Mobile Stations) – мобільні станції.

Основні характеристики стандарту GSM

Частоти передачі мобільної станції та прийому базової станції, МГц	890...915
Частоти прийому мобільної станції та передачі базової станції, МГц	935...960
Дуплексний рознос частот прийому і передачі, МГц	45
Швидкість передачі повідомлень в радіоканалі, кбіт/с	270, 833
Швидкість перетворення мовного кодеку, кбіт/с	13
Ширина смуги каналу зв'язку, кГц	200
Максимальна кількість каналів зв'язку	124
Максимальна кількість каналів, організованих у БС	16...20
Вид модуляції	GMSK
Індекс модуляції ВТ	0,3
Ширина смуги передмодуляційного гаусівського фільтра, кГц	81,2
Кількість стрибків по частоті в секунду	217
Тимчасове рознесення в інтервалах TDMA кадру (передача/прийом) для мобільної станції	2
Вид мовного кодеку	RPE/LTP
Максимальний радіус стільника, км	до 35
Схема організації каналів	комбінована TDMA/FDMA

Функціональне з'єднання елементів системи здійснюється низкою інтерфейсів. Всі мережеві функціональні компоненти в стандарті GSM взаємодіють з системою сигналізації МККТТ N7 (CCIT SS N7). SS N7 стандартизована на міжнародному рівні і призначена для обміну сигнальною інформацією в цифрових мережах зв'язку з цифровими програмно-управляючими станціями. Система оптимізована для роботи по цифрових каналах з швидкістю 64

кбіт/с і дозволяє керувати процесом з'єднання, а також передавати інформацію техобслуговування і експлуатації. SS N7 використовує метод передачі сигнальної інформації по спеціальному каналу, загальному для одного або декількох пучків інформаційних каналів. Мережа SS N7 є обов'язковою умовою створення мережі стандарту GSM.

Центр комутації рухомого зв'язку (ЦКРЗ) обслуговує групу стільників і забезпечує всі види з'єднань, яких потребує у процесі роботи МС. MSC являє собою інтерфейс між фіксованими мережами та мережею рухомого зв'язку. Він забезпечує маршрутизацію викликів і функції управління викликами. Крім виконання функцій звичайної ISDN комутаційної станції, на MSC покладаються функції комутації радіоканалів. До них належать: естафетна передача, в процесі якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні МС із стільника в стільник, та переключення робочих каналів в стільнику при появі завад чи несправностей. Кожен MSC забезпечує обслуговування рухомих абонентів, розташованих у межах певної географічної зони. Для телефонної мережі загального користування (PSTN) MSC забезпечує функції сигналізації по протоколу SS N7, передачі виклику і т. д. MSC формує дані, необхідні для виписки рахунків за надані мережею послуги зв'язку, накопичує дані по розмовах, що відбулися і передає їх в центр розрахунків.

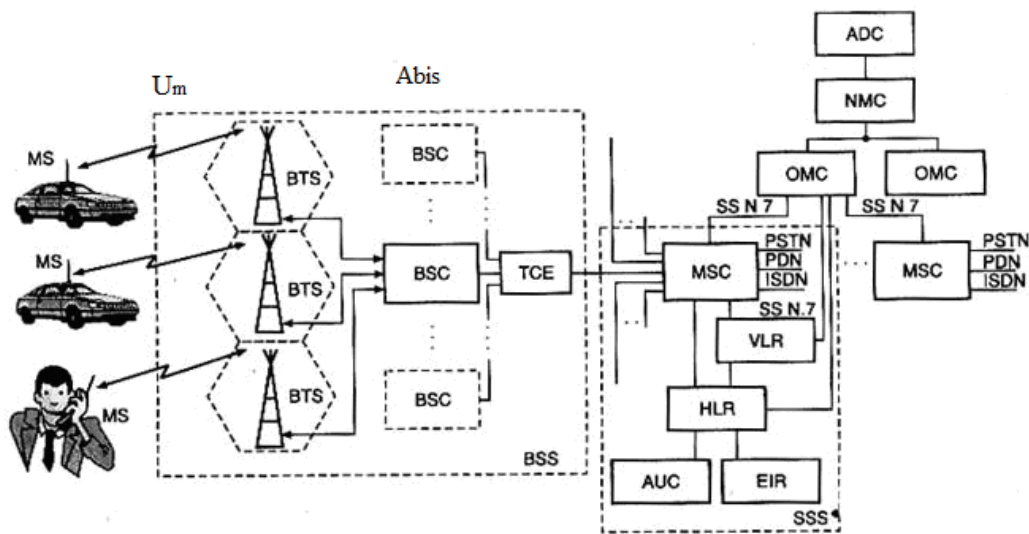


Рис. 3.1. Структурна схема стандарту GSM

MSC бере участь в управлінні викликами, та управляє процедурами реєстрації місцезнаходження і передачі управління. Процедура передачі виклику дозволяє зберігати з'єднання і забезпечувати ведення розмови, коли МС переміщається з однієї зони обслуговування в іншу. Передача викликів в стільниках, керованих одним контролером базових станцій (BSC), здійснюється цим BSC. Коли передача викликів здійснюється між двома мережами, керованими різними BSC, то первинне управління здійснюється в MSC. ЦК здійснює постійне стеження за МС, використовуючи реєстри положення (HLR) і переміщення (VLR). У HLR зберігається та частина інформації про місцезнаходження якої-небудь МС, яка дозволяє ЦК доставити виклик станції. Регістр

HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента (IMSI). Він використовується для розпізнавання МС в центрі аутентифікації (AUC) (рис. 3.2, 3.3).

HLR являє собою довідкову базу даних (БД) про постійно прописаних в мережі абонентів. У ній містяться розпізнавальні номери і адреси, параметри дійсності абонентів, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінг абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер рухомого абонента (TMSI) і відповідного VLR. До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ всі MSC і VLR мережі і, якщо в мережі є кілька HLR, в БД міститься тільки один запис про абонента, тому кожен HLR є частиною загальної БД мережі про абонентів. Доступ до БД про абонентів здійснюється за номером IMSI або MSISDN.

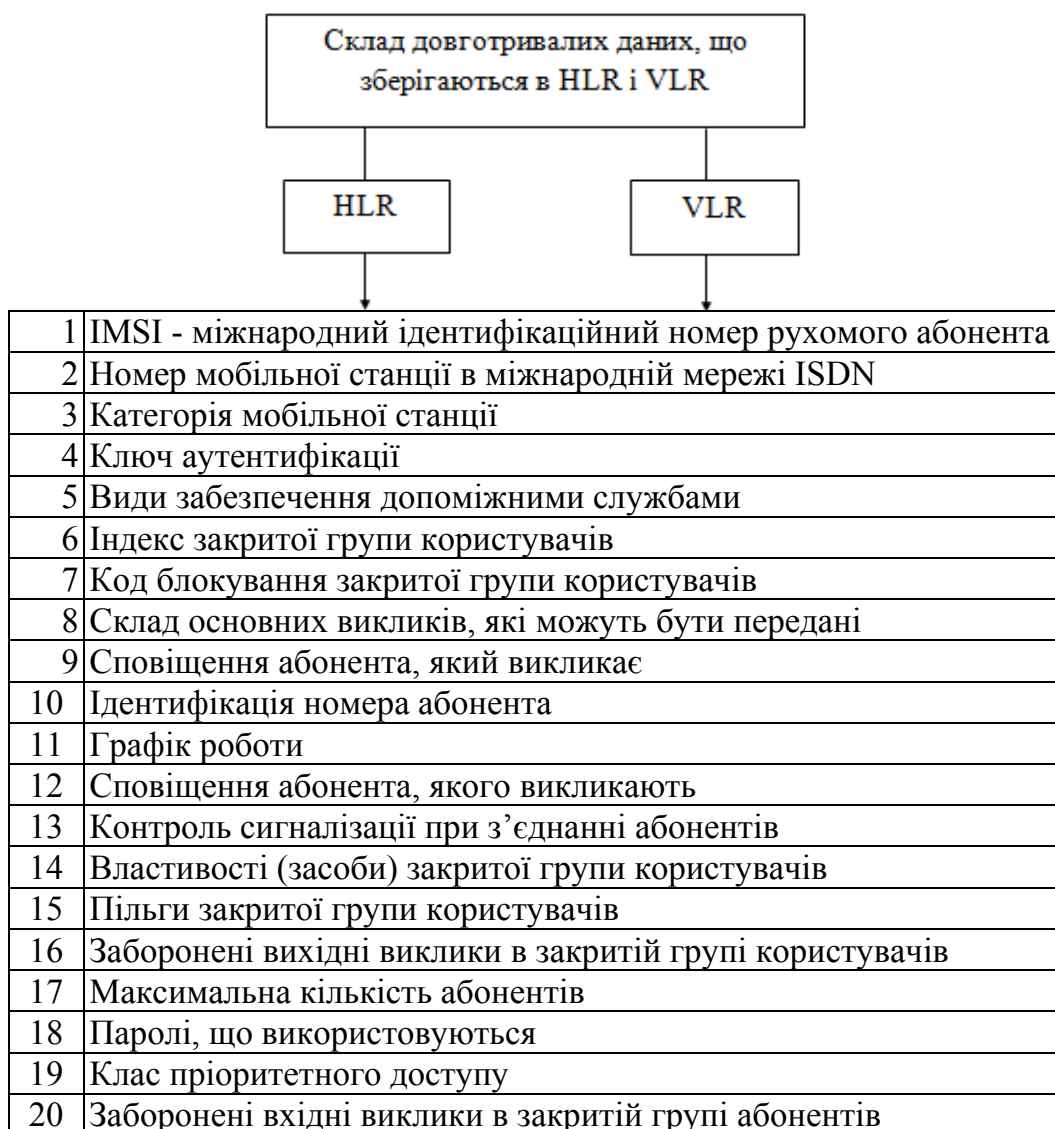


Рис. 3.2. Склад довготривалих даних, що зберігаються в HLR і VLR

Другий основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням МС із зони в зону реєстр переміщення VLR. За його допомогою досягається функціонування МС за межами зони, що контролюється HLR. Коли в процесі

переміщення МС переходить із зони дії одного контролера базової станції BSC, який об'єднує групу БС, в зону дії іншого BSC, вона реєструється новим BSC, і в VLR заноситься інформація про номер галузі зв'язку, яка забезпечить доставку викликів мобільної станції. VLR містить такі самі дані, як і HLR, однак ці дані містяться в VLR доти, доки абонент знаходиться в зоні, що контролюється VLR. У мережі рухомого зв'язку GSM стільники групуються в географічні зони (LA), яким присвоюється свій ідентифікаційний номер (LAC).

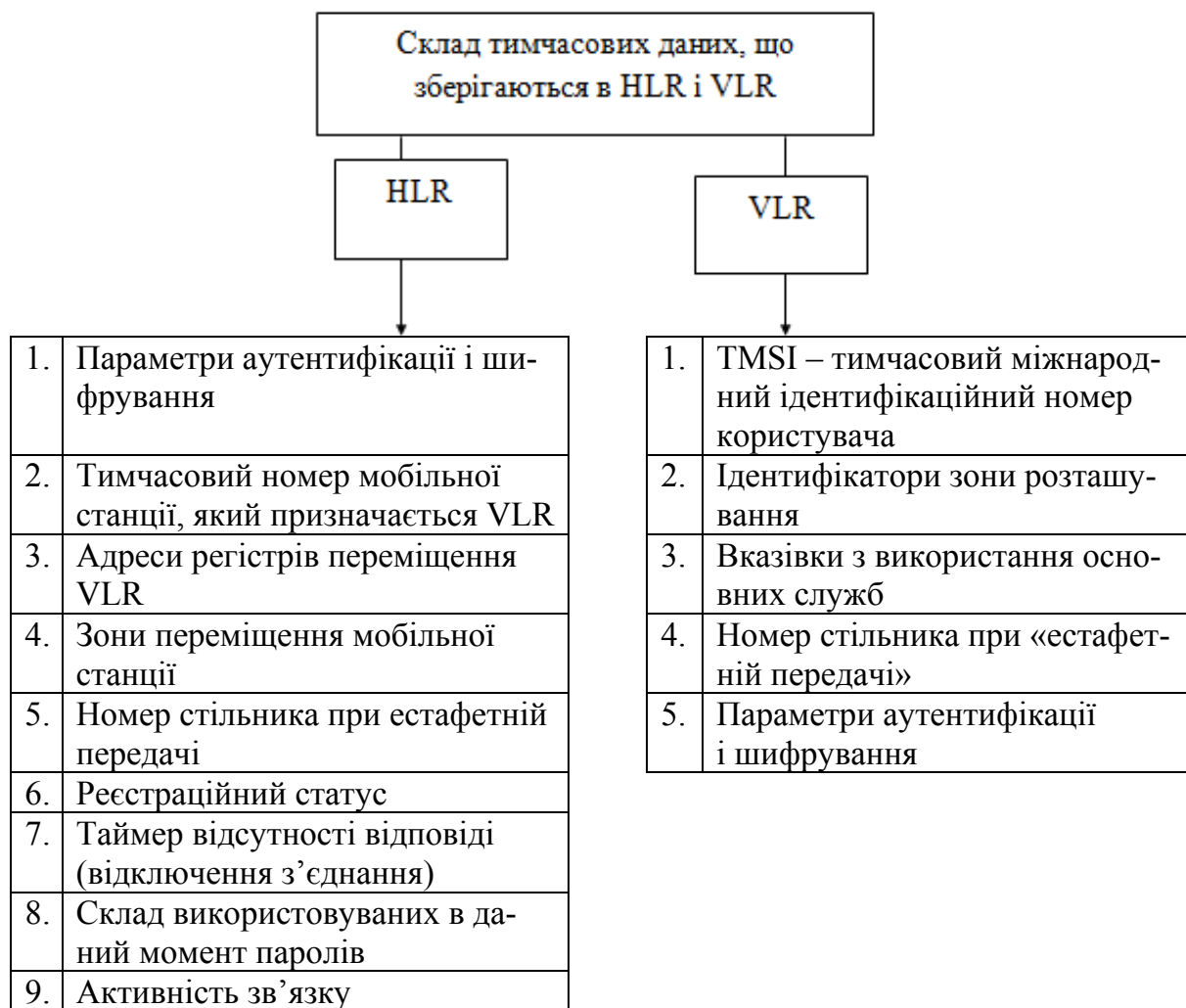


Рис. 3.3. Склад тимчасових даних, що зберігаються в HLR і VLR

Коли рухомий абонент переміщається з однієї LA в іншу, дані про його місцезнаходження оновлюються в VLR. VLR забезпечує привласнення номера «блукаючої» мобільної станції (MSRN). Коли МС приймає вхідний виклик, VLR вибирає його MSRN і передає його на MSC, який здійснює маршрутизацію цього виклику до БС, що знаходяться поруч з рухомих абонентом. VLR також розподіляє номери передачі управління при передачі з'єднань від одного MSC до іншого. Доступ до БД VLR забезпечується через IMSI, TMSI або MSRN. В цілому VLR являє собою локальну БД про рухомий абонент

для тієї зони, де знаходиться абонент, що дозволяє виключити постійні запити в HLR і скоротити час на обслуговування викликів.

Для виключення несанкціонованого використання ресурсів системи зв'язку вводяться механізми аутентифікації – посвідчення дійсності абонента. AUC складається з кількох блоків і формує ключі й алгоритми аутентифікації. З його допомогою перевіряються повноваження абонента і здійснюється його доступ до мережі зв'язку. AUC приймає рішення про параметри процесу аутентифікації і визначає ключі шифрування АС на основі бази даних, зосередженої в реєстрі ідентифікації устаткування (EIR).

Кожен рухомий абонент на час користування системою зв'язку одержує стандартний модуль дійсності абонента (SIM), який містить, міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), свій індивідуальний ключ аутентифікації (Ki), алгоритм аутентифікації (A3). За допомогою закладеної в SIM інформації в результаті взаємного обміну даними між МС і мережею здійснюється повний цикл аутентифікації і дозволяється доступ абонента до мережі.

Процедура перевірки мережею дійсності абонента реалізується в такий спосіб. З вузла аутентифікації на адресу МС передається випадковий номер (RAND) через вибрану БС. На МС за допомогою апріорно відомого ключа Ki і алгоритму аутентифікації (A3) по формулі визначається значення відгуку, що задовольняє умову впізнання за принципом «свій – чужий»:

$$SRES_{pz} = Ki \cdot [RAND]$$

Далі обчислене значення $SRES_{pz}$ через БС і ЦКРЗ надходить у вузол аутентифікації (ВА), де відбувається його порівняння зі значенням $SRES_{цкрз}$, що міститься у ВА. При збіганні цих значень з ВА в ЦКРЗ надходить сигнал дозволу доступу МС до мережі і закріплені за МС одного з логічних каналів зв'язку. Після надання МС каналу ТСН, відповідного необхідному виду обслуговування, БС здійснює контроль встановленого з'єднання. У разі незбіжності значень, $SRES_{pz} \neq SRES_{цкрз}$, користувач дістає відмову в обслуговуванні. Для забезпечення таємності обчислення $SRES$ здійснюється в рамках SIM. Процедура аутентифікації зображена на схемі рис. 3.4.

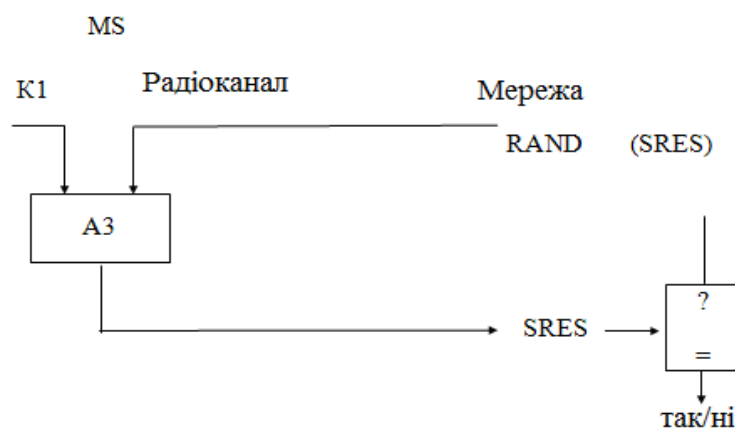


Рис. 3.4. Принцип аутентифікації

EIR – реєстр ідентифікації устаткування, містить централізовану базу даних для підтвердження достовірності міжнародного ідентифікаційного номера устаткування мобільної станції (IMEI). Ця база даних належить виключно до обладнання MSC. База даних EIR складається зі списків номерів IMEI, організованих таким чином:

БІЛИЙ СПИСОК – містить номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими мобільними станціями.

ЧОРНИЙ СПИСОК – містить номери IMEI мобільних станцій, які викрадені або яким відмовлено в обслуговуванні з іншої причини.

СІРИЙ СПИСОК – містить номери IMEI мобільних станцій, у яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, що не є підставою для внесення до «чорного списку».

До бази даних EIR отримують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших рухомих мереж. Як і у випадку з HLR, мережа може мати більше одного EIR, при цьому кожен EIR управляє певними групами IMEI. До складу MSC входить транслятор, який при отриманні номера IMEI повертає адресу EIR, що управляє відповідною частиною БД про обладнання.

IWF – міжмережевий функціональний стик, є однією зі складових частин MSC. Він забезпечує абонентам доступ до засобів перетворення протоколу і швидкості передачі даних так, щоб можна було передавати їх між його термінальним устаткуванням (DIE) мережі GSM і звичайним термінальним устаткуванням фіксованої мережі. IWF також «виділяє» модем зі свого банку обладнання для з'єднання з відповідним модемом фіксованої мережі.

EC – ехопридушувач, використовується в MSC з боку PSTN для всіх телефонних каналів через фізичні затримки в трактах поширення, включаючи радіоканал, мереж GSM. Типовий ехопридушувач може забезпечувати придушення в інтервалі 68 мілісекунд на ділянці між виходом EC і телефоном фіксованої телефонної мережі. Загальна затримка в каналі GSM при поширенні в прямому і зворотному напрямках, викликана обробкою сигналу, кодуванням/декодуванням мови, каналним кодуванням і становить близько 180 мс. Ця затримка була б непомітна рухомому абоненту, якби в телефонний канал не був включений гібридний трансформатор з перетворенням тракту з двопровідного на чотирипровідний режим, установка якого необхідна в MSC, оскільки стандартне з'єднання з PSTN є двопровідним. При з'єднанні двох абонентів фіксованої мережі ехо-сигнали відсутні.

OMC – центр експлуатації і технічного обслуговування, є центральним елементом мережі GSM, який забезпечує контроль і управління іншими компонентами мережі та контроль якості її роботи. OMC забезпечує функції обробки аварійних сигналів, призначених для сповіщення обслуговуючого персоналу, і реєструє відомості про аварійні ситуації в інших компонентах мережі. Залежно від характеру несправності OMC дозволяє забезпечити її усунення автоматично або при активному втручанні персоналу. OMC може забезпечити перевірку стану обладнання мережі та проходження виклику мобільної станції. Функція ефективного управління містить збір статистичних да-

них про навантаження від компонентів мережі GSM, запису їх в дискові файли та виведення на дисплей для візуального аналізу.

NMC – центр управління мережею, дозволяє забезпечувати раціональне ієрархічне управління мережею GSM. Він забезпечує експлуатацію і технічне обслуговування на рівні всієї мережі, підтримуваної центрами OMC, які відповідають за управління регіональними мережами. NMC забезпечує управління графіком у всій мережі і забезпечує диспетчерське управління мережею при складних аварійних ситуаціях. NMC контролює стан пристроїв автоматичного керування, задіяних в устаткуванні мережі, і відображає на дисплеї стан мережі для операторів NMC. Це дозволяє операторам контролювати регіональні проблеми і, при необхідності, надавати допомогу OMC, відповідальному за конкретний регіон. NMC концентрує увагу на маршрутах сигналізації і з'єднаннях між вузлами з тим, щоб не допускати умов для виникнення перевантаження в мережі. NMC забезпечує можливість управління графіком для мережевого обладнання підсистеми базових станцій (BSS). Оператори NMC в екстремальних ситуаціях можуть задіяти такі процедури управління, як «пріоритетний доступ», коли тільки абоненти з високим пріоритетом (екстрені служби) можуть отримати доступ до системи. NMC може брати на себе відповідальність в якомусь регіоні, коли місцевий OMC є необслуговуючим, при цьому OMC діє як транзитний пункт між NMC і устаткуванням мережі.

BSS – обладнання базової станції, складається з контролера БС (BSC) і приймально-передавальних базових станцій (BTS). Контролер БС може керувати декількома приймально-передавальними блоками. BSS управляє розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їх черговість, забезпечує режим роботи зі стрибаючою частотою, модуляцію і демодуляцію сигналів, кодування і декодування повідомлень, кодування мови, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику. BSS спільно з MSC, HLR, VLR виконує певні функції. BSS і MSC спільно здійснюють пріоритетну передачу інформації для деяких категорій мобільних станцій.

TCE – транскодер, забезпечує перетворення вихідних сигналів каналу передачі мови і даних MSC (64 кбіт/с ІКМ) до виду, відповідному рекомендаціям GSM по радіоінтерфейсу. Швидкість передачі мови, поданої в цифровій формі, складає 13 кбіт/с. Цей канал передачі цифрових мовних сигналів називається «повношвидкісним». Стандартом передбачається, в перспективі використання напівшвидкісного мовного каналу (швидкість передачі 6,5 кбіт/с). Зниження швидкості передачі забезпечується застосуванням спеціального мовоперетворюючого пристрою, що використовує лінійне предикативне кодування (LPC), довготривале передбачення (LTP), остаточне імпульсне збудження (RPE – іноді називається RELP). TCE зазвичай розташовується разом з MSC, тоді передача цифрових повідомлень у напрямку до BSC ведеться з доданням до потоку зі швидкістю передачі 13 кбіт/с, додаткових бітів до швидкості передачі даних 16 кбіт/с. Потім здійснюється ущільнення з кратністю 4 у стандартний канал 64 кбіт/с. Так формується визначена Рекомендаціями GSM 30-канальна ІКМ лінія, яка забезпечує передачу 120 мовних кана-

лів. Шістнадцятий канал (64 кбіт/с), «тимчасове вікно», виділяється окремо для передачі інформації сигналізації і часто містить графік SS N7 чи LAPD. В іншому каналі (64 кбіт/с) можуть передаватися пакети даних, що узгоджувалися з протоколом X.25 МККТТ. Таким чином, результуюча швидкість передачі за вказаним інтерфейсом становить: $30 \times 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} = 2048 \text{ кбіт/с}$.

MS – мобільна (рухома) станція, складається з устаткування, яке служить для організації доступу абонентів мереж GSM до існуючих фіксованих мереж електрозв'язку. У рамках стандарту GSM прийнято п'ять класів МС від моделі 1-го класу з вихідною потужністю 20 Вт, що встановлюється на транспортному засобі, до портативної моделі 5-го класу, максимальною потужністю 0,8 Вт. При передачі повідомлень передбачається адаптивне регулювання потужності передавача, що забезпечує необхідну якість зв'язку. Рухомий абонент і станція незалежні один від одного. Кожен абонент має свій IMSI, записаний на його інтелектуальну картку. Такий підхід дозволяє встановлювати радіотелефони, наприклад, в автомобілях, що здаються на прокат. Кожній МС також привласнюється свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMEI). Цей номер використовується для запобігання доступу до мереж GSM викраденої станції чи станції без повноважень.

5. Контрольні запитання

1. Основні технічні характеристики стандарту GSM.
2. Структурна схема стандарту GSM.
3. Призначення і функції, що виконуються центром комутації рухомого зв'язку MSC.
4. Як саме реалізується процедура перевірки мережею дійсності абонента?
5. Призначення міжмережевого функціонального стику та ехопридушувача.
6. Які функції виконує центр експлуатації та технічного обслуговування?
7. Пояснити термін «пріоритетний доступ».
8. Склад обладнання базової станції BSS. Її призначення.
9. Характеристика транскодера TCE та мобільної станції МС.

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Структурна схема цифрової стільникової системи рухомого радіозв'язку стандарту GSM.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Практична робота № 4

Структура логічних каналів управління і алгоритми функціонування систем GSM

1. Мета роботи

Вивчити структуру логічних каналів управління і алгоритми функціонування систем GSM по встановленню вихідного і вхідного з'єднань.

2. Література [2, 4]

3. Завдання

1. Вивчити структуру логічних каналів управління.
2. Вивчити алгоритм встановлення вихідного з'єднання ($MS \rightarrow BTS$, $MC \rightarrow BC$).
3. Вивчити алгоритм встановлення вхідного з'єднання ($BTS \rightarrow MS$, $BC \rightarrow MC$).
4. Вивчити механізми безпеки.
5. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

Фізичний канал в стандарті GSM є комбінацією тимчасового і частотного розділення сигналів і визначається як послідовність радіочастотних каналів і тимчасових вікон TDMA кадрів. Фізичний канал управління (ФКУ) призначений для забезпечення встановлення з'єднання і утворення логічних каналів управління (ЛКУ). ФКУ передають службові повідомлення і дані, представлені в цифровій формі. Залежно від функціонального призначення службової інформації і даних, службові повідомлення в певному порядку об'єднуються в ЛКУ. Призначенням ЛКУ є забезпечення передачі MC і BC сигналів управління службових повідомлень і сигналів синхронізації. Залежно від виконуючих функцій розрізняють чотири види ЛКУ (рис. 4.1):

КПСУ – канали передачі сигналів управління (BCCH);

ЗКУ – загальні канали управління (CCCH);

ІКУ – індивідуальні канали управління (SDCCCH);

СКУ – суміщені канали управління (ACCH).

КПСУ використовуються тільки у напрямку $BC \rightarrow MC$ і містять інформацію про підстроювання частоти, кадрову синхронізацію та забезпечують передачу основних команд по управлінню передачею. До зазначених каналів належать:

КПЧ – канал підстроювання частоти (FCCH);

КУС – канал управління синхронізацією (SCH);

КУП – канал управління передачею (BCCH).

ЗКУ призначені для виклику MC, для запиту MC про призначення ІКУ, для виділення спеціального каналу управління (КУ), що забезпечує прямий доступ до каналу зв'язку (КЗ). До зазначених каналів належать:

КВ – канал виклику $BC \rightarrow MC$ (DCH);



Рис. 4.1. Види логічних каналів управління в стандарті GSM

КПД – канал паралельного доступу $MC \rightarrow BC$ (RACH);

КДД – канал дозволеного доступу (AGCH).

ІКУ використовуються для дуплексного зв'язку між $BC \rightarrow MC$ і призначені для встановлення необхідного виду обслуговування. По них проходить запит MC про необхідний вид обслуговування, контроль правильної відповіді і виділення вільного каналу зв'язку. Мають місце два види таких каналів:

ІКУ/4 – ІКУ, який складається з 4-х підканалів (SDCCH/4);

ІКУ/8 – ІКУ, який складається з 8-ми підканалів (SDCCH/8).

СКУ використовуються для дуплексного зв'язку між $BC \rightarrow MC$. У напрямку «вниз» вони передають команди управління з BC на MC , а за напрямом «вгору» – інформацію про статус MC . СКУ служать для передачі команд під час переходу MC з одного стільника в інший та для встановлення вихідного рівня потужності передавача MC (TXPWR). СКУ поділяються на:

ШСКУ – швидкий суміщений КУ (FACCH);

ПСКУ – повільний суміщений КУ (SACCH);

За напрямом «вгору» MC відправляє дані, що стосуються рівня встановленої вихідної потужності (TXPWR), вимірної приймачем рівня радіосигналу (RXLEV) і якості його прийому (RXQUAL). У СКУ завжди міститься один із двох каналів: канал зв'язку (TCH) чи індивідуальний канал управління (SDCCH). СКУ завжди об'єднуються з каналами зв'язку або з ІКУ. При цьому розрізняють шість видів об'єднаних каналів управління:

ШСКУ – КУ, об'єднаний з КЗ, які мають швидкості 9.6; 4.8; 2.4 кбіт/с;

ШСКУ – КУ, об'єднаний з КЗ, які мають швидкості 4.8; 2.4 кбіт/с;

ПСКУ – КУ, об'єднаний з КЗ, які мають швидкості 9.6; 4.8; 2.4 кбіт/с;

ПСКУ – КУ, об'єднаний з КЗ, які мають швидкості 4.8; 2.4 кбіт/с;

ПСКУ/с4 – КУ, об'єднаний з ІКУ/4;

ПСКУ/с8 – КУ, об'єднаний з ІКУ/8.

Для передачі вище перелічених КУ використовується 51-кадровий мультикадр, винятками є канали ШСКУ і ПСКУ, для їх передачі використовується 26-кадровий мультикадр.

Об'єднаний КУ КПСУ/ЗКУ призначений для всіх MC , які в один і той самий час знаходяться в одному стільнику. У каналі КУП «мережа $\rightarrow MC$ »

передається загальна інформація про стільник, в якій МС знаходяться в даний момент, і про сусідні стільники. У каналі КЗ («мережа → МС») передається інформація про циклову синхронізацію і пізнання прийомопередавача БС. Інформація для синхронізації несучої передається в каналі КПЧ («мережа → МС»). Канал КПД «МС → мережа» використовується МС для доступу до мережі у разі необхідності проходження реєстрації при включенні або виклику.

КДД («мережа → МС») використовується для заняття спеціальних видів обслуговування (SDCCN або TCH) мобільною станцією, яка раніше не запрошувала через канал RACH. КВ («мережа → МС») використовується для виклику МС мережею або абонентом мережі. На рис. 4.2 подано відображення каналів, які розглядаються, на одному ФКУ в структурі 51-кадрового мультикадру.



- Ч – TDMA кадр для підстроювання частоти, канал КПЧ;
- С – TDMA кадр для синхронізації, канал КУС;
- П – TDMA кадр для каналу КУП;
- З – TDMA кадр для каналу ЗКУ;
- Д – TDMA кадр для каналу КПД.

Рис. 4.2. Відображення каналів, які розглядаються, на одному ФКУ в структурі 51-кадрового мультикадру

На лінії «вгору» в мультикадрі здійснюється передача сигналів каналу виклику, який є єдиним КУ від МС до БС, причому для доступу до мережі МС може використовувати нульовий часовий інтервал в будь-якому з кадрів. На лінії «вниз» 51-кадровий мультикадр групується в 5 груп по 10 кадрів, причому один з кадрів залишається незайнятим. Кожна з груп починається з сигналів каналу КПЧ, за якими йдуть сигнали КУС. Інші 8 кадрів в кожній групі утворюють два блоки з чотирьох кадрів. Перший блок першої групи призначений для сигналів каналу ВССН, тоді як інші 9 блоків використовуються для передачі каналу виклику і каналу дозволеного доступу загального КУ СССН. МС може займати один з дев'яти блоків виклику, а сам блок може використовуватися для виклику декількох МС.

цедури аутентифікації абонента описана в лабораторній роботі №3. Отже, з'єднання між МС і БС встановлено.

Встановлення вхідного з'єднання (БС → МС)

При надходженні в ЦКРЗ заявки на встановлення з'єднання з однією з МС від ЦКРЗ по каналу передачі даних на мережу БС надходить сигнал виклику даної МС (рис. 4.6).

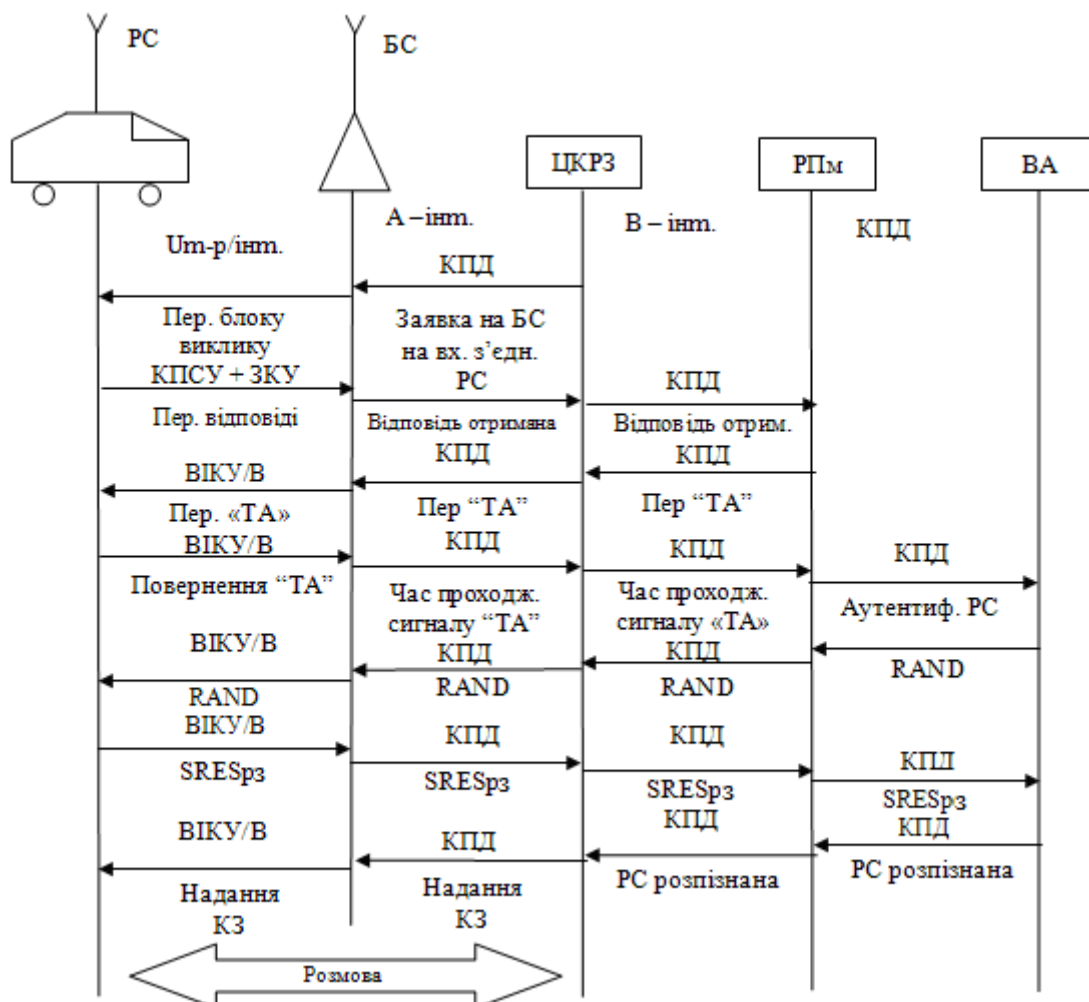


Рис. 4.6. Алгоритм встановлення вхідного з'єднання (БС → МС)

Далі БС здійснює передачу виклику в мультикадрі об'єднаного КУ КПСУ/ЗКУ в одному з блоків виклику AGCH/PCN на вільній в даний момент часу позиції. Отримавши виклик, МС передає в КУ КПСУ/ЗКУ сигнал підтвердження отримання виклику, що транслюється через БС на ЦКРЗ. А з РПм і РПл ЦКРЗ отримує інформацію про відстань між МС і БС та напрям переміщення рухомого абонента щодо мережі БС і передає на БС команду передати на адресу абонента, що викликається, комбінацію «тимчасового випередження» (ТА) для обчислення дистанції зв'язку на інтервалі БС → МС. Комбінація ТА має об'єм 6 біт і забезпечує вимірювання абсолютної дистанції зв'язку від 0 до майже 70 км з точністю ± 1 км. Максимальне значення ТА дорівнює 232,6 мкс. Виміряне значення ТА від БС по каналу передачі даних че-

рез MSC надходить в реєстри РПл і РПм. Залежно від значень TA, що містяться в цих реєстрах, здійснюється передача MC на обслуговування іншої БС. Після проведення алгоритму аутентифікації викликаючою MC, відбувається проклучення розмовного тракту між MC і ЦКРЗ. Впродовж всього сеансу зв'язку між MC або абонентом мережі ISDN БС і ЦКРЗ здійснюють стеження за якістю передачі інформації і даних. Отже, з'єднання між БС і MC з врахуванням виду обслуговування встановлено.

Естафетна передача (HandOver)

Під естафетною передачею мають на увазі супровід MC при переміщенні її з одного стільника в інший без перерв сеансу зв'язку. У періоди пікових навантажень кількість заявок на естафетну передачу різко збільшується і перевищує кількість вільних радіоканалів.

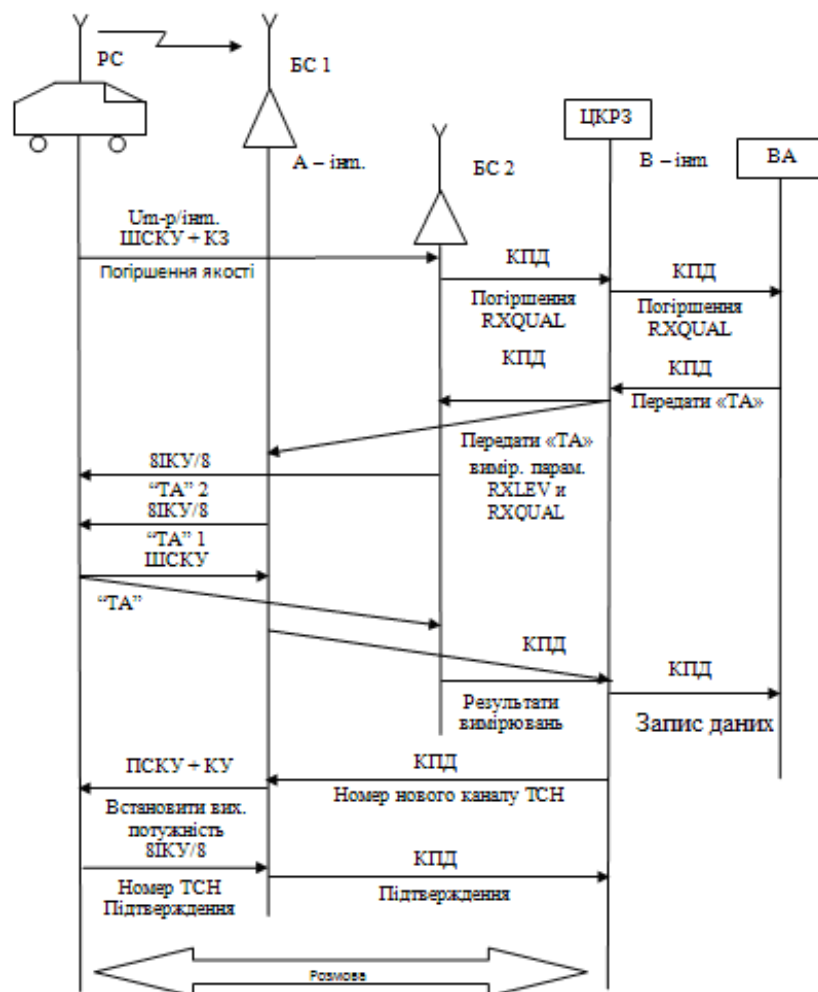


Рис. 4.7. Алгоритм встановлення вхідного з'єднання при збільшенні відстані між MC і БС та впливу перешкод

Ухвалення рішення про естафетну передачу здійснює ЦКРЗ, ґрунтуючись на результатах вимірів, виконаних БС і MC. Ці виміри сортує ЦКРЗ в такій послідовності: RXQUAL; RXLEV; DISTANCE; PBGT (бюджет випромінюваної потужності). БС вимірює RXLEV, RXQUAL і DISTANCE, тоді як

МС вимірює і передає на обслуговуючу БС в каналі ПСКУ значення $RXLEV$, $RXQUAL$ і $RXLEV$ для усіх сусідніх БС, які потім фіксуються в ЦКРЗ. При видаленні МС від обслуговуючої БС значення $RXLEV$ і $RXQUAL$ стають нижчими, тоді як $RXLEV$ для однієї із сусідніх БС збільшується (рис. 4.7). Це може відбуватися з двох причин:

- 1) за рахунок збільшення відстані між МС і БС, а отже і зменшення бюджету випромінюваної потужності МС;
- 2) за рахунок перешкод від інших МС по основному каналу.

Перша вирішується шляхом передачі управління МС з однією БС на іншу при контролі з ЦКРЗ, коли зміна потужності, що випромінюється передавачем МС, неможлива або немає сенсу. Друга може вирішуватися як шляхом управління випромінюваної потужності, так і за рахунок надання МС іншого частотного радіоканалу по сигналу з БС, що передається в каналі ШСКУ.

У стандарті GSM вирішені питання безпеки зв'язку. Термін «безпека» розуміють як виняток несанкціонованого використання системи і забезпечення секретності переговорів рухомих абонентів. Визначені такі механізми безпеки: аутентифікація; секретність передачі даних; секретність абонента; секретність в процедурі коригування місця розташування. Захист сигналів управління і даних користувача здійснюється тільки по радіоканалу.

Секретність передачі даних

Усі конфіденційні повідомлення повинні передаватися в режимі захисту інформації. Алгоритм формування ключів шифрування (A_8) зберігається в модулі SIM. Після прийому випадкового номера $RAND$ МС вичисляє відгук $SRES$ і ключ шифрування (K_c), використовуючи $RAND$, K_i і алгоритм A_8 (рис. 4.8). Ключ шифрування K_c не передається по радіоканалу. Як МС, так і мережа обчислюють K_c , який використовується іншими рухомими абонентами. Внаслідок секретності обчислення K_c відбувається в SIM. Крім випадкового числа $RAND$ мережа посилає МС числову послідовність ключа шифрування. Число зберігається мобільною станцією і міститься в кожному першому повідомленні, що передається в мережу.

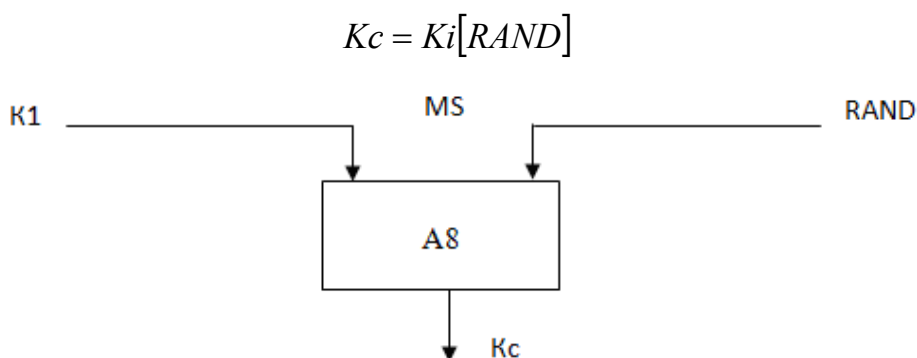


Рис. 4.8. Визначення ключа шифрування K_c

Деякі мережі приймають рішення про наявність числової послідовності діючого ключа шифрування у разі, якщо потрібно приступити до розпізнавання або, якщо виконується попереднє розпізнавання, використовуючи правильний

ключ шифрування. Для встановлення режиму шифрування (рис. 4.9) мережа передає МС команду СМС на перехід в режим шифрування. Після отримання команди СМС, МС, використовуючи наявний в ній ключ, приступає до шифрування і дешифрування повідомлень. Потік даних, що передаються шифруються біт за бітом або потоковим шифром, з використанням алгоритму шифрування А5 і ключа шифрування Кс.

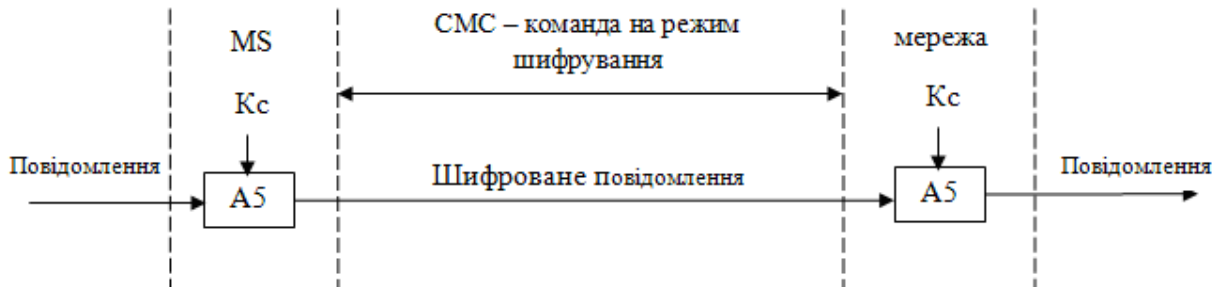


Рис. 4.9. Процедура встановлення режиму шифрування

Забезпечення секретності абонента

Для виключення визначення абонента шляхом перехоплення повідомлень, що передаються по радіоканалу, кожному абонентові системи зв'язку привласнюється «тимчасове посвідчення особи» – тимчасовий міжнародний ідентифікаційний номер користувача (TMSI), який дійсний тільки в межах зони розташування. У іншій зоні розташування йому привласнюється новий TMSI. Після закінчення процедури аутентифікації і початку дії режиму шифрування TMSI передається на МС тільки в зашифрованому вигляді. Якщо МС переходить в нову область розташування, то її TMSI повинен передаватися разом з ідентифікаційним номером зони (LAI), в якій TMSI був присвоєний абонентові.

Секретність в процесі коригування місця знаходження

При виконанні процедури коригування місця знаходження по КУ здійснюється двосторонній обмін між МС і БС службовими повідомленнями, що містять TMSI. Тому в радіоканалі треба забезпечити секретність перейменування TMSI і їх приналежність конкретному абонентові.

Розглянемо як забезпечується секретність в процедурі коригування місця знаходження у разі, коли абонент проводить сеанс зв'язку і при цьому здійснює переміщення з однієї зони розташування в іншу (рис. 4.10). В цьому випадку МС вже зареєстрована в реєстрі переміщення VLR з тимчасовим номером TMSI, що відповідає колишній зоні розташування. При вході в нову зону розміщення здійснюється процедура розпізнавання, яка проводиться по старому, зашифрованому в радіоканалі TMSI, що передається одночасно з найменуванням зони розміщення LAI. LAI дає інформацію ЦК і центру управління про напрям переміщення МС і дозволяє запросити колишню зону розміщення про статус абонента і його дані, виключивши обмін цими службовими повідомленнями по радіоканалах управління. При цьому по КЗ пові-

домлення передається, як зашифрований інформаційний текст з перериванням повідомлення в процесі естафетної передачі на 100-150 мс.

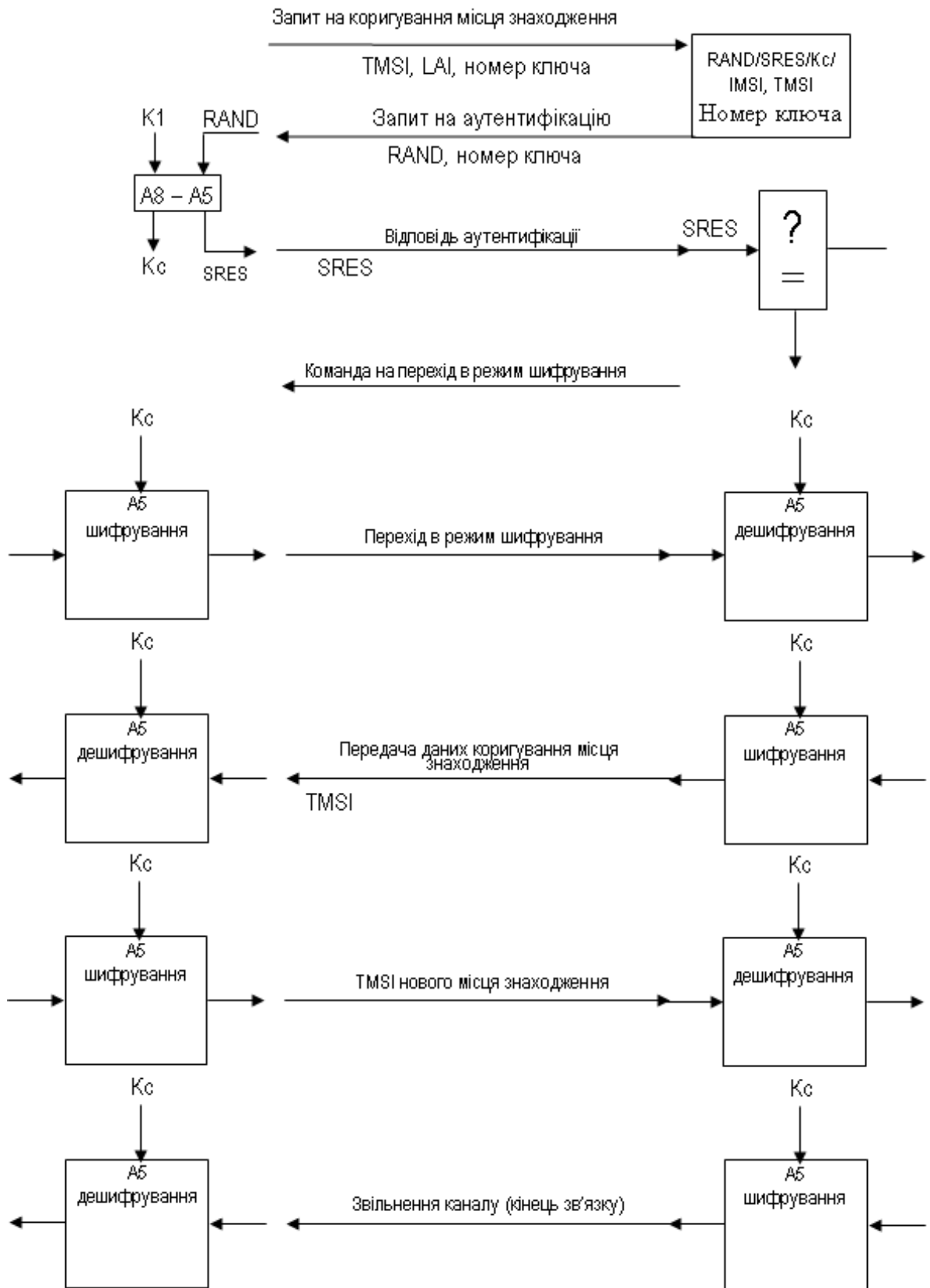


Рис. 4.10. Схема коригування місця знаходження

Відповідно до розглянутих механізмів безпеки, діючих в стандарті GSM, секретною вважається така інформація:

RAND – випадкове число, що використовується для аутентифікації рухомого абонента.

SRES – значення відгуку – відповідь МС на отримане випадкове число.

Ki – індивідуальний ключ аутентифікації користувача, що використовується для обчислення значення відгуку і ключа шифрування.

Kc – ключ шифрування, що використовується для шифрування/ дешифрування сигналів управління і даних користувача в радіоканалі.

A3 – алгоритм аутентифікації, що використовується для обчислення значення відгуку із випадкового числа з використанням ключа Ki.

A8 – алгоритм формування ключа шифрування, що використовується для обчислення ключа Kc із випадкового числа з використанням ключа Ki.

A5 – потоковий алгоритм, що використовується для шифрування/ дешифрування сигналів управління і даних користувача з використанням Kc.

CKSN – номер ключової послідовності шифрування, вказує на дійсне число Kc.

TMSI – тимчасовий міжнародний ідентифікаційний номер користувача.

5. Контрольні запитання

1. Види логічних каналів управління в стандарті GSM та їхня характеристика.
2. Поясніть структуру 51-кадрового мультикадру.
3. Поясніть алгоритм встановлення вихідного з'єднання (МС → БС).
4. Поясніть алгоритм встановлення вхідного з'єднання (БС → МС).
5. Поясніть механізм секретності передачі даних.
6. Поясніть механізм забезпечення секретності абонента.
7. Характеристика процедури коригування місця знаходження.
8. Яка інформація вважається секретною?

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Характеристика логічних каналів управління.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Практична робота №5

Вивчення принципів роботи систем множинного доступу з кодовим розділенням каналів

1. Мета роботи

Вивчити принципи побудови систем множинного доступу з кодовим розділенням каналів.

2. Література [3, 5, 6]

3. Завдання

1. Ознайомитись з варіантами реалізації кодового розділення.
2. Ознайомитись з оцінкою кількості користувачів на стільник.
3. Ознайомитись з принципом вибору сімейства адресних послідовностей.
4. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

Варіанти реалізації кодового розділення

В основі множинного доступу з кодовим розділенням (МДКР або CDMA) лежить орієнтація на широкосмугову ідеологію побудови систем передачі інформації, що передбачає свідоме і багаторазове розширення смуги передавального повідомлення в порівнянні з тією, яка характерна для традиційних вузькосмугових систем. Штучне розширення спектра в подібних системах, як правило, реалізується одним з двох основних способів:

- пряме розширення – (DSSS);
- стрибкоподібна зміна несучої частоти – (FHSS).

В першому варіанті інформаційне повідомлення маніпулює псевдовипадкову послідовність (ПВП), що складається з елементів (чіпів) тривалості T_c , причому тривалість чіпа багатократно (в N разів) менше тривалості T_σ передаючого інформаційного біта чи символа:

$$T_\sigma = NT_c, N \gg 1 \quad (5.1)$$

Величина N , безпосередньо, характеризує ступінь розширення смуги в порівнянні з смугою первинного повідомлення, і тому називається коефіцієнтом розширення спектра.

Згадана маніпуляція ПВП $c(t)$ передавальним потоком даних $D(t)$ зазвичай реалізується їхнім простим перемноженням (див. рис. 5.1, а). Діаграми рис. 5.1, б - г ілюструють зміст процедури прямого розширення для прикладу двійкової передачі і бінарної ПВП. На рис. 5.1, в зображено періодичну бінарну ПВП, чий період, що містить $N=8$ чіпів, співпадає з тривалістю однієї послідовності повідомлення. Результат прямого розширення очевидний (рис.5.1, г): якщо інформаційна послідовність несе нульовий біт (негативна полярність $D(t)$, рис. 5.1, б), на виході перемножувача присутня початкова версія ПВП. При

передачі посилюючи значення 1 поточного біта полярність ПВП змінюється на протилежну. Сигнал після перемножувача подається на стандартний модулятор несучої.

Процедура прямого розширення спектра не погіршує завадостійкості двійкової передачі в гаусівському каналі, залишаючи протилежними сигнали, що відповідають значенням 0 і 1 передавального біта.

При використанні другого способу розширення спектра кожен символ інформаційного повідомлення повинен передаватись за допомогою набору дискретних частот, що задається визначеною послідовністю.

В існуючих і розроблюваних на перспективу системах стільникового зв'язку переважно застосовується пряме розширення спектра, що реалізується в синхронному або в асинхронному варіанті. Відмінності цих двох модифікацій DSSS значні. Перша може бути застосована тоді, коли є можливість синхронізувати між собою всі індивідуальні адресні послідовності (сигнатури), присвоєні окремим абонентам так, щоб на приймальній стороні сигнали різних абонентів не мали взаємних часових зрушень. Схожа ситуація характерна для лінії "вниз" ССМС (БС → МС), оскільки сигнали БС, відправлені різним МС строго одночасно, приходять на окрему МС по одній і тій самій трасі, тобто без взаємних затримок. У лінії «вгору» забезпечення синхронізму сигналів різних МС, що приймаються БС, хоча і не заперечується теоретично, досить складно і не завжди технологічно виправдано через випадкове розташування МС відносно БС в межах стільника і випадкових взаємних затримок сигналів. Для подібних ситуацій характерне застосування асинхронної версії DSSS, що не припускає взаємної часової прив'язки сигнатур індивідуальних абонентів.

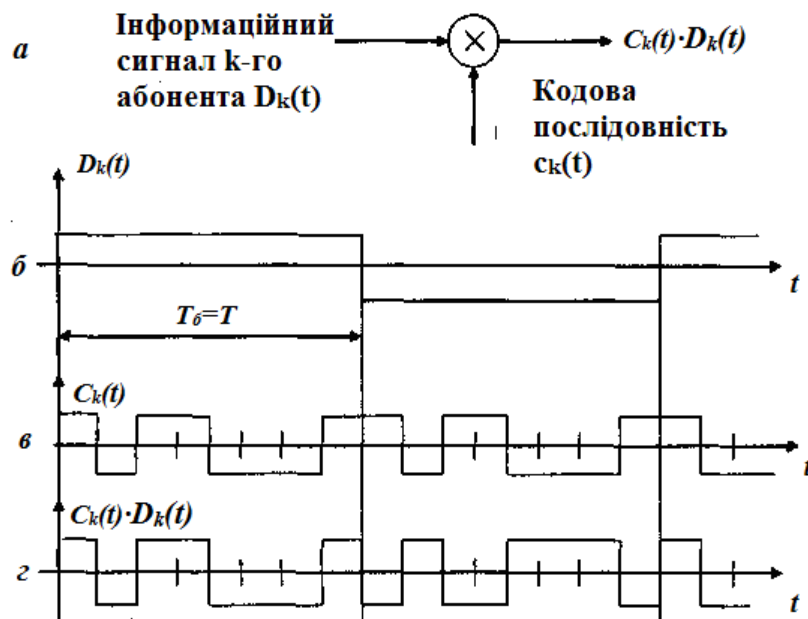


Рис. 5.1. Процедура прямого розширення спектра для двійкової передачі і бінарної ПВП

Переваги CDMA щодо FDMA і TDMA можна умовно розбити на дві групи. Першу з них складають ті, які розрізняють будь-які широкополосні системи: висока завадостійкість до зосереджених і широкополосних перешкод, можливість ефективної роботи в умовах багатопроменевого поширення та ін. Друга група безпосередньо пов'язана з аспектами множинного доступу: велика абонентська ємність на стільник, «м'який» характер зниження якості зв'язку при зростанні інтенсивності трафіку, простота реалізації режиму «м'якої» естафетної передачі.

Оцінка числа користувачів на стільник

Синхронний варіант CDMA з використанням ортогональних сигналів не може мати будь-яких принципових переваг порівняно з FDMA і TDMA в максимальній кількості користувачів, оскільки останнє є число ортогональних сигналів, що лімітується тільки розмірністю сигнального простору, тобто частотно-часовим ресурсом $(\Delta f_p, T_p)$. Спосіб побудови ортогонального сімейства не впливає на кількість сигналів в сімействі.

Асинхронний варіант CDMA дозволяє більш гнучко, ніж FDMA і TDMA, експлуатувати ефекти просторового згасання радіохвиль для повторного використання ресурсу в системах з стільниковою топологією. При кореляційній обробці відношення «сигнал – сукупна перешкода» на виході приймача системи з кодовим розділенням може бути записано у вигляді:

$$q = \frac{E_{\sigma}}{N_0 + N_{\Sigma}} \quad (5.2)$$

де N_0 і N_{Σ} – відповідно спектральні щільності потужності внутрішньосистемних завад і білого шуму;

$E_{\sigma} = P_R T_{\sigma}$ – енергія, що припадає на один біт інформаційного повідомлення;

P_R – потужність абонентського сигналу на приймаючій стороні.

З врахуванням обов'язкового в асинхронних системах з CDMA вирівнювання потужностей абонентських сигналів на вході приймача спектральна щільність внутрішньосистемних перешкод, створюваних $K-1$ сторонніми користувачами, може бути оцінена як:

$$N_{\Sigma} = (k-1) \frac{P_R}{\Delta f_p} \approx \frac{K P_R}{\Delta f_p}, K \gg 1 \quad (5.3)$$

Дана оцінка спирається на апроксимацію взаємної завади випадковим шумом з середньою потужністю $(K-1)P_R$, рівною сумі потужностей всіх сторонніх сигналів. Внутрішньосистемна перешкода переважає над тепловим шумом ($N_{\Sigma} \gg N_0$), тому отримуємо $q = \frac{\Delta f_p}{K R_t}$, звідки оцінка граничної кількості користувачів:

$$K \approx \frac{\Delta f_p}{q R_t} \quad (5.4)$$

При q не нижче 5...8 дБ максимальне число абонентів, що забезпечуються рамками CDMA, помітно менше, ніж при використанні FDMA і TDMA. Врахуємо тепер, що в форматах FDMA і TDMA заборона на повторне використання каналів у прилеглих стільниках змушує дробити ресурс між комітками одного і того самого кластера. Наслідком цього є зменшення числа абонентів на стільник в n_c раз, де n_c – кількість коміток в кластері. При типовому 7-елементному кластері питома число абонентів на стільник складе:

$$K_c \approx \frac{\Delta f_p}{7R_t} \quad (5.5)$$

Разом з тим при технології CDMA можна піти на повторне використання всього доступного ресурсу в сусідніх стільниках, внаслідок чого виявиться збільшення рівня внутрішньосистемних перешкод, що створюються тепер не тільки сигналами своїх абонентів, але й сигналами абонентів «чужих» БС. При цьому внесок «просочування» з сусідніх коміток в сумарну взаємну заваду може виявитися помітно слабкішим складової, обумовленої «своїми» абонентами, за рахунок крутого спаду прийнятої потужності залежно від відстані. За оцінками багатьох джерел «сусідні» комітки збільшують загальний рівень взаємної завади приблизно в 1,5 рази. Стільникова ємність CDMA системи може бути оцінена як $K_c \approx \frac{\Delta f_p}{1,5R_t}$, що при $q \approx 2,5$ (8 дБ) дає:

$$K_c \approx \frac{\Delta f_p}{3,75R_t} \quad (5.6)$$

З вище наведених формул випливає, що CDMA має майже дворазовий вигравш за цим показником щодо FDMA і TDMA.

У тому ж напрямку діє і врахування фактора мовної активності користувача. У звичайній телефонній розмові кожен з учасників витрачає певну частину часу на паузи, вислуховуючи співрозмовника і осмислюючи тему діалогу. Фактор мовної активності α_p чисельно задає частку саме мовної фази одного учасника в загальній тривалості з'єднання. Стандарт GSM експлуатує розглянутий фактор, однак виключно з метою енергозбереження, але не збільшення абонентської ємності. У рамках CDMA вивільнення ресурсу в паузах розмови автоматично знижує рівень взаємної завади і, тим самим, сприяє збільшенню ємності системи. У першому наближенні можна врахувати фактор α_p , замінивши спектральну щільність потужності внутрішньої системної завади значенням, усередненим по всій тривалості розмови $N'_\Sigma = \alpha_p N_\Sigma$. Тоді оцінка числа абонентів на стільник матиме вигляд:

$$K_c \approx \frac{\Delta f_p}{3,75R_t\alpha_p} \quad (5.7)$$

При типовому значенні фактора мовної активності $\alpha_p = 3/8$

$$K_c \approx 0,64 \frac{\Delta f_p}{R_t} \quad (5.8)$$

що означає більш, ніж чотирикратний виграш в абонентській ємності в порівнянні з FDMA і TDMA технологіями.

Оптимізація сигнатур при кодовому розділенні з прямим розширенням спектра

Звернемося до питання про вибір сімейства адресних послідовностей, приписуваних абонентам ССМС і задаючих фізичні канали CDMA-системи. Найкращим сімейством адресних послідовностей (сигнатур) буде те, в якому забезпечується найменший рівень взаємних перешкод. Припустимо спочатку, що всі сигнатури періодичні з однаковим періодом в числі чіпів N . Оскільки відгук корелятора на вхідний вплив являє собою відлік кореляційної функції, то вимога малого рівня взаємної завади трансформується в обмеження на викиди нормованої взаємної кореляційної функції (ВКФ) $R_{kl}(m)$ k -ї і l -ї сигнатур:

$$R_{kl}(m) = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_{i=m}^{N-1} a_{k,i} a_{l,i-m}, & m \geq 0, \\ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1+m} a_{k,i} a_{l,i-m}, & m < 0 \end{cases} \quad (5.9)$$

У цьому виразі $a_{k,i}$ – i -й символ кодової послідовності комплексних амплітуд, що визначає закон маніпуляції чіпів k -ї сигнатури. Найбільш цікавий випадок фазової маніпуляції, і тому дійсні амплітуди всіх чіпів прийняті однаковими: $|a_{k,i}| = 1/\sqrt{N}$. Аргументом m взаємної кореляційної функції є відносний часовий зсув сигнатур, що є рівним цілому числу тривалостей одного чіпа. Якщо говорити про асинхронний варіант CDMA, характерний, наприклад, для зворотнього каналу (МС → БС), то можливим діапазоном зрушень m можна вважати $0, 1, \dots, N-1$. Вимогу малого рівня взаємної завади можна формалізувати, як мінімізацію найбільшого викиду взаємних кореляцій всіх пар сигнатур при будь-яких відносних зрушеннях:

$$R_B = \max_{\substack{k \neq l \\ m}} |R_{kl}(m)| = \min_{m=0, N-1; k, l=1, K} \quad (5.10)$$

Поряд з цим, традиційно бажаний і малий рівень бічних пелюсток періодичної автокореляційної функції всіх послідовностей в ансамблі, тобто:

$$R_a = \max_{\substack{m \neq 0 \text{ mod } N \\ k}} |R_{kk}(m)| = \min_{k=1, K} \quad (5.11)$$

Виконання останньої умови потрібне для здійснення багатопроменевого рознесення, а також усунення грубих похибок на етапі синхронізації опорного колювання кореляції з приймаючим сигналом.

Пред'явлені вимоги об'єднуються у вигляді наступного мінімаксного критерію якості ансамблю сигнатур:

$$R_M = \max\{R_a, R_B\} = \min \quad (5.12)$$

При орієнтації на асинхронно-адресний принцип функціонування системи, потенціал мінімізації рівня R_M не безмежний і обмежений співвідношеннями, що зв'язують мінімально досяжне значення R_M з об'ємом ансамблю K ,

довжиною кодових послідовностей N і типом алфавіту, якому належать символи послідовності $\{a_{ij}\}$. Відома ціла низка співвідношень, що визначають нижню межу R_M при обмеженнях на алфавіт і довжину N . Найпростішим з них і точним є межа Велча:

$$R_M^2 \geq \frac{K-1}{KN-1} \quad (5.13)$$

Ансамблі послідовностей, що задовольняють згаданим межам, отримали назву оптимальних. У класі бінарних послідовностей, алфавіт символів яких обмежений множиною $\{\pm 1\}$, відомо декілька представників оптимальних ансамблів: Голда, Касамі, бентфункцій та ін.

Вибір ансамблю, оптимального у вищезазначеному сенсі, гарантує малий рівень внутрішньосистемних перешкод при CDMA з прямим розширенням далеко не у всіх випадках. Причиною цього служить припущення про періодичність сигнатур: у згаданих системах періодичність порушується за рахунок маніпуляції сигнатурної ПВП випадковим потоком даних (рис. 5.1). В багатьох сучасних CDMA-системах вибір сигнатурних ансамблів здійснюється не з використанням обговореного вище детерміністичного підходу, а на основі трактування сигнатур, як випадкових послідовностей. При цьому рівень взаємної завади оцінюється статистично. Більш прозорими і зрозумілими є підходи до оптимізації ансамблю адресних сигналів в синхронних CDMA-системах, якщо допустиме застосування сигнатур довжини, не меншої потрібної кількості користувачів. При цьому синтез сигнатурного ансамблю зведеться просто до побудови ортогональних послідовностей, що здійснено безліччю способів.

5. Контрольні запитання

1. Які способи використовуються для розширення спектра?
2. Поясніть процедуру прямого розширення спектра.
3. Які переваги CDMA щодо FDMA і TDMA?
4. Чому дорівнює питома кількість абонентів на стільник в системах CDMA, FDMA і TDMA?
5. Поясніть термін «фактор мовної активності» та як він впливає на величину питомої кількості абонентів на стільник.
6. Які ансамблі послідовностей отримали назву оптимальних?

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Рисунок, що пояснює процедуру прямого розширення спектра.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Практична робота №6

Принципи побудови системи стільникового зв'язку, реєстрації мобільних станцій, проходження викликів і регулювання потужності в стандарті з кодовим розділенням каналів IS-95 (cdmaOne)

1. Мета роботи

Вивчити стандарт з кодовим розділенням каналів IS-95 (cdmaOne) та процеси реєстрації мобільних станцій, проходження викликів і регулювання потужності в цьому стандарті.

2. Література [4, 5, 6]

3. Завдання

1. Ознайомитись із загальними характеристиками системи стандарту IS-95.
2. Ознайомитись із структурою прямого та зворотного каналів зв'язку.
3. Ознайомитися з процесом реєстрації мобільних станцій.
4. Вивчити процес вихідного з мережі і вхідного в мережу виклику.
5. Вивчити процес регулювання потужності.
6. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

Система CDMA фірми QUALCOMM розрахована на роботу в діапазоні частот 800 МГц, виділеному для стільникового зв'язку стандартів AMPS, N-AMPS і D-AMPS. Загальна смуга частот каналу зв'язку складає 1,25 МГц.

Основні характеристики стандарту CDMA QUALCOMM і технічні параметри обладнання мереж наведено в табл. 6.1. Система CDMA QUALCOMM побудована по методу прямого розширення спектра частот. У стандарті застосовують роздільну обробку відбитих сигналів, що приходять з різними затримками. При роздільній обробці променів у кожному каналі прийому на БС використовують 4, а на МС – 3 паралельно працюючих корелятора. Наявність паралельних каналів кореляційної обробки дозволяє здійснити м'який режим естафетної передачі при переході мобільного абонента з одного стільника в інший.

Система автоматичного регулювання потужності передавачів МС забезпечує заданий середній рівень сигналу при прийомі на БС та полегшує роботу приймача БС, знижує рівень шумів всередині системи, збільшує завадостійкість і підвищує пропускну здатність мережі зв'язку.

Прямий канал зв'язку

Прямий канал зв'язку системи cdmaOne складається з одного пілотного каналу, одного каналу синхронізації та 62 інших каналів (рис. 6.1).

Таблиця 6.1

Параметр стандарту	Значення
Діапазон частот передачі, МГц: МС ВС	824,040...848,860 869,040...893,970
Відносна нестабільність несучої частоти: МС ВС	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$ $\pm 5 \cdot 10^{-8}$
Вид модуляції несучої частоти: МС ВС	OQPSK QPSK
Ширина спектра випромінюваного сигналу, МГц: по рівню – 3 дБ по рівню – 40 дБ	1,23 1,5
Тактова частота ПВП, МГц	1,2288
Кількість каналів на одній несучій: МС: канал доступу канал зворотного трафіку ВС: пілотний канал канал синхронізації канал персонального виклику канал прямого трафіку	1 1 1 1 1...7 61...55
Швидкість передачі даних в каналі, біт/с: канал синхронізації канал персонального виклику і доступу канал трафіку	1200 4800, 9600 1200, 2400, 4800, 9600
Кодування інформації в каналах: МС: канал доступу і зворотного трафіку ВС: канал синхронізації, персонального виклику і прямого трафіку	Згортальний код з довжиною кодового обмеження 9 і швидкістю 1/3 Загортальний код з довжиною кодового обмеження 9 і швидкістю 1/2
Необхідне відношення сигнал/шум, дБ	6...7
Максимальна ефективна випромінювана потужність, Вт: МС (3-го, 2-го і 1-го класу) ВС	1,0; 2,5; 6,3 До 50
Точність управління потужністю передавача, дБ	$\pm 0,5$
Чутливість приймача, дБм: МС ВС	-105 -117

Ці 62 канали можуть бути повністю використані для передачі прямого трафіку, однак до 7 з них можна використовувати і як канали персонального виклику. Для розділення каналів служать кодові БФМ - послідовності, сфор-

мовані на базі ансамблю ортогональних функцій Уолша. Адресна послідовність W_0 (константа) призначена для організації пілотного каналу, а адресна послідовність W_{32} (меандр) – для організації каналу синхронізації. Канали персонального виклику і прямого трафіку використовують інші 62 адресні послідовності. В прямому каналі зв'язку, функції Уолша використовують для кодового розділення робочих каналів.



Рис. 6.1. Загальна структура прямого каналу зв'язку

В передавальному тракті БС перенесення сигналів в каналах на адресні піднесучі створюють в 2 етапи (рис. 6.2). На першому етапі послідовність інформаційних символів модулює (операція «сума по модулю 2») адресну БФМ - послідовність на основі функцій Уолша (W_i) з тактовою частотою 1,2288 Мчп/с. На другому етапі отриманий потік скремблює («сума по модулю 2») ПВП БФМ - послідовності PN_I і PN_Q в синфазному (I) і квадратурному (Q) каналах. Ці ПВП не збігаються між собою і є відомими M-послідовностями. Вони однакові для 64 каналів і мають тактову частоту 1,2288 Мчп/с.

Оскільки в пілотному каналі використовують функцію Уолша W_0 , то адресну послідовність у ньому визначають квадратурні ПВП PN_I і PN_Q . У канал синхронізації дані надходять зі швидкістю 1200 біт/с. Після згортального кодування ($9, 1/2$) їх швидкість зростає до 2400 символів/с. Потім інформація надходить на пристрій повторення, і на його виході потік має швидкість 4800 символів/с. Далі йде процедура блокового перемежування, в ході якої інформацію перемежують в межах кадрів 20 мс. Перемежування застосовують для перетворення пакетів помилок, що виникають при передачі в каналі зв'язку, в одиночні помилки. На виході перемежування швидкість потоку становить 4800 символів/с. Після проведення «підготовчих» операцій інформація надходить на модулятор послідовностей Уолша. Кожен символ на вході модулятора має тривалість, рівну 4-м періодам послідовності Уолша:

1,2288 Мчп/с = 64 × 4 × 4800 символів/с, (64 – кількість чіпів на періоді функції Уолша, або довжина коду). На виході модулятора тактова частота потоку також буде 1,2288 Мчп/с.

Для передачі мови по каналах прямого трафіку стандартом передбачено використання вокодера CELP зі змінною швидкістю перетворення 8550, 4000, 2000 або 800 біт/с залежно від параметрів мови абонента. Інформацію в каналах трафіку передають кадрами по 20 мс. Швидкість передачі кодової мовної інформації, що надходить в канал, постійна протягом кадру і складає 9600, 4800, 2400 або 1200 біт/с. Згортальний кодер з довжиною кодового обмеження 9 і швидкістю 1/2 подвоює швидкість потоку: 19200, 9600, 4800 або 2400 символів/с на виході відповідно. Для вирівнювання швидкості потоків кодової мовної інформації застосовують пристрій повторення: дані на його виході завжди йдуть зі швидкістю 19200 символів/с.

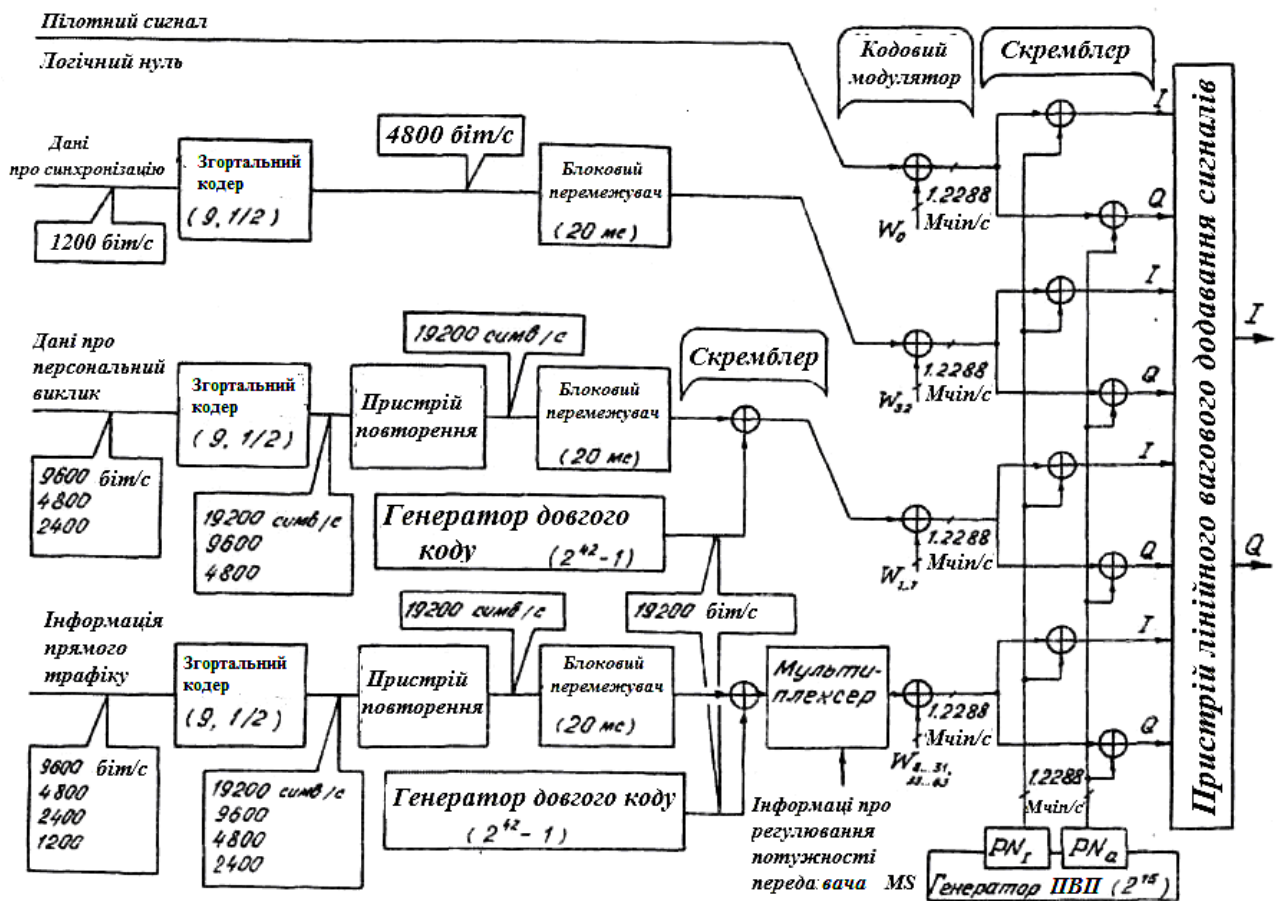


Рис. 6.2. Структурна схема передавального тракту БС

Довгий код (на основі М-послідовності довжиною $2^{42}-1$ ($\cong 4,4 \cdot 10^{12}$) несе інформацію про індивідуальний номер абонента в мережі. Маска, необхідна для генерування довгого коду, записана в ПЗУ МС. Тактова частота при генеруванні довгого коду – 1,2288 Мчп/с, але пристрій децимації знижує тактову частоту до 19200 біт/с, залишаючи лише кожен шістдесят четвертий символ в послідовності. Модифікований довгий код з виходу дециматора надходить на один вхід скремблера; на інший вхід зі швидкістю 19200 символів/с надходить інформація з виходу блокового перемежувача. Скремблер

виробляє операцію «сума по модулю 2» над вхідними потоками інформації. Скрембльовані дані мультиплексуються з інформацією про регулювання потужності передавачів МС: певні символи потоку даних на вході мультиплектора замінюють бітами команд регулювання потужності.

Після мультиплексування інформація зі швидкістю 19200 символів/с надходить на кодовий модулятор. Номер функції Уолша, застосований в адресній послідовності, однозначно визначає номер каналу трафіку даної БС. З виходу модулятора складний сигнал з тактовою частотою 1,2288 Мчп/с направляють в квадратурні канали (I і Q), де він скремблює ПВП, що застосовуються у всіх 64 каналах. Остання група каналів – канали персонального виклику. Вони служать для передачі МС системної інформації та команд керування. При виклику, вихідному від МС, коли вона виробляє запит по каналу доступу щодо надання їй каналу трафіку, БС підтверджує запит і передає команду налаштуватися на виділений канал прямого трафіку. За кількома винятками структура каналу персонального виклику повторює структуру каналу прямого трафіку. Відмінності у тому, що дані в канали виклику надходять зі швидкістю 9600, 4800 або 2400 біт/с, інформацію в них не мультиплексують з командами регулювання потужності, і, нарешті, використовують іншу маску довгого коду.

Сформовані в прямому каналі зв'язку квадратурні складові сигналів у всіх 64 CDMA-каналах потім об'єднують і підсумовують з вагами в режимі лінійного складання. Синфазний і квадратурний компоненти отриманого групового сигналу фільтрують в основній смузі частот і подають на схему 4-позиційної фазової маніпуляції ФМ-4, де відеосигнал переміщують на проміжну частоту. Маніпульований груповий сигнал на проміжній частоті, потім переміщуючи, з проміжної частоти на несучу, подають на лінійний підсилювач потужності, і через смуговий фільтр направляють до передавальної антени БС.

Зворотний канал зв'язку

До зворотних каналів у стандарті cdmaOne належать *канал доступу* і *канал зворотного трафіку* (рис. 6.3). Канал доступу (швидкість передачі 4800 біт/с) забезпечує зв'язок МС з БС, поки МС ще не налаштувалася на канал зворотного трафіку. Канал доступу використовують спільно з каналом персонального виклику для реєстрації МС в мережі і виконання початкових процедур по встановленню з'єднання. Принципи обробки сигналів в тракці каналу доступу подібні з принципами обробки в каналі зворотного трафіку (рис. 6.4).

Канал зворотного трафіку забезпечує передачу мовних повідомлень і службової інформації з МС на БС. Мову абонента перетворюють за допомогою CELP-вокодера і направляють в тракт каналу зворотного трафіку зі швидкістю 9600, 4800, 2400 або 1200 біт/с. Тут інформація надходить на згортальний кодер з довжиною кодового обмеження 9 і швидкістю 1/3, який потроє швидкість потоку даних: 28800, 14400, 7200 або 3600 символів/с на виході відповідно. Потім, як і в прямому каналі, за допомогою пристрою повторення швидкість потоку роблять постійною і рівною 28 800 символів/с.



$$\pi = 1 \dots 32$$

$$\pi\pi = 1 \dots 64$$

Рис. 6.3. Загальна структура зворотного каналу зв'язку

Після блокового перемежування інформації в межах кадрів тривалістю 20 мс потік зі швидкістю 28800 символів/с надходить на кодер Ріда-Соломона I роду. У процесі кодування потік двійкових символів на вході кодера розбивають на пакети по 6 символів. Кожен пакет однозначно визначає число від 0 до 63 в десятковій системі числення. На виході кодера кожному пакету ставлять у відповідність одну з 64 функцій Уолша:

$$000 \quad 000_2 = 00_{10} \rightarrow W_0;$$

$$000 \quad 001_2 = 01_{10} \rightarrow W_1;$$

.....

$$101 \quad 010_2 = 42_{10} \rightarrow W_{42};$$

.....

$$111 \quad 111_2 = 63_{10} \rightarrow W_{63};$$

У результаті, швидкість інформаційного потоку на виході кодера становить:

$$\frac{64}{6} \times 28800 \text{ символів / с} = 32 \times 9600 \text{ символів / с} = 307200 \text{ символів / с}$$

В зворотному каналі зв'язку функції Уолша використовують для завадостійкого кодування інформації. Після кодування дані надходять на кодовий модулятор і скремблер, які розширюють базу сигналу і формують його «адресні ознаки». У кодовому модуляторі застосовують довгий $(2^{42}-1)$ код. Всі МС в мережі використовують один і той самий довгий код в каналах зворотного трафіку, але з різними циклічними зсувами. Маски довгого коду в каналах прямого і зворотного трафіку збігаються, але в каналі зворотного трафіку не використовують дециматор, так що структура кодової послідовності зберігається, а тактова частота залишається незмінною: 1,2288 Мбіт/с.

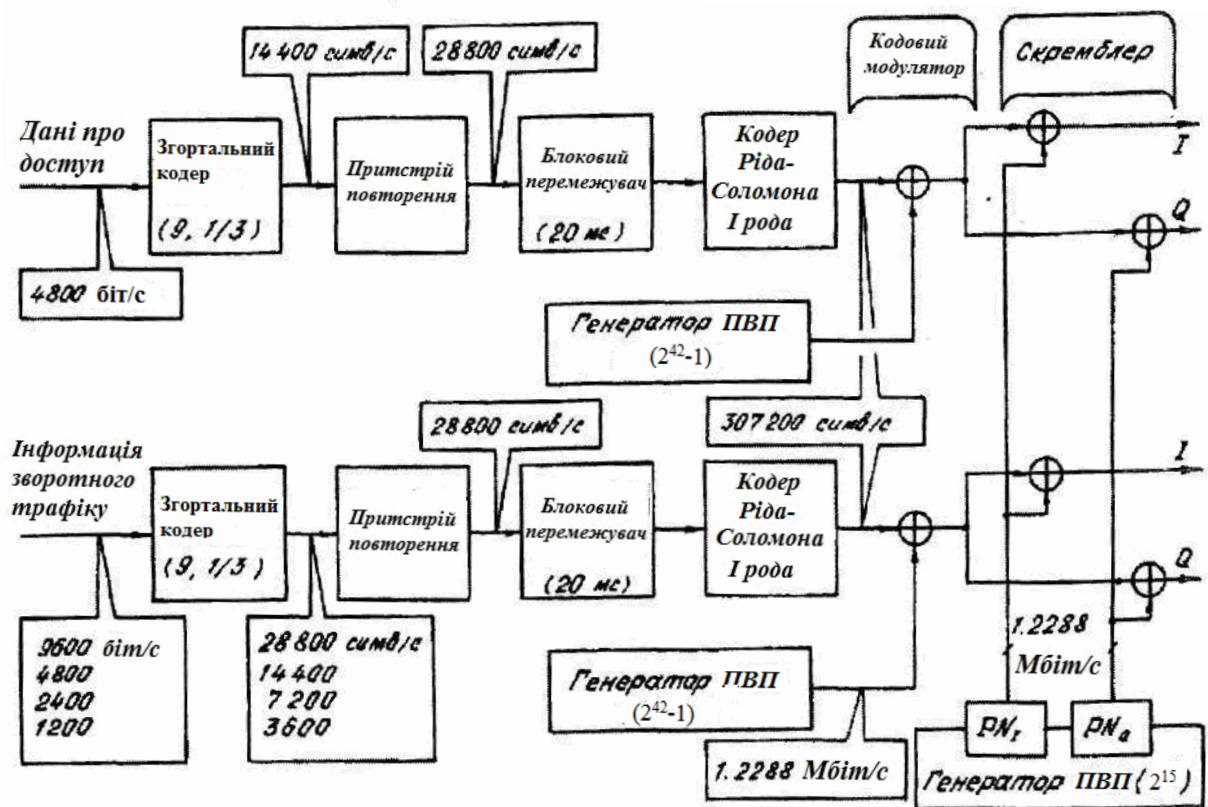


Рис. 6.4. Структурна схема передавального тракту МС

Складний сигнал з тактовою частотою 1,2288 Мчп/с з виходу кодового модулятора направляють в квадратурні канали скремблера. Тут сигнал підсумовують «по модулю 2» з коротким кодом – двома ПВП довжиною 2^{15} . Всі МС в системі використовують один короткий код – той самий, що і в пілотних каналах БС. Однак, циклічний зсув короткого коду фіксований і однако-вий для всіх МС. Потім результуючий сигнал фільтрують в основній смузі частот і піддають 4-позиційній фазовій маніпуляції із зсувом – СФМ-4. Взаємний часовий зсув сигналів в квадратурних каналах, рівний половині чіпа, вводять для того, щоб фаза маніпульованого сигналу змінювалася з кроком $\pm \pi/2$. Маніпульоване повідомлення переносять з проміжної частоти на несучу, підсилюють по потужності, піддають смуговій фільтрації і направляють до антени МС.

При прийомі сигналів на БС використовують просторове рознесення; кратність рознесення залежить від кількості антен. RAKE-приймач БС має 4 паралельних канали кореляційної обробки сигналів у кожній гілці просторового рознесення, що дозволяє здійснювати прийом сигналів з 4-кратним тимчасовим рознесенням. У кожному каналі обробляють сигнал одного з виділених променів. Оскільки у стандарті cdmaOne МС не випромінюють пілотних сигналів, в зворотному каналі зв'язку використовують некогерентну обробку сигналів при прийомі.

Реєстрація мобільних станцій

Реєстрація МС – процес, в ході якого МС сповіщає БС про місцезнаходження і передає їй деяку службову інформацію. Між частотою реєстрації і розміром зони пошуку МС є певний баланс, який підтримує оператор стільникового зв'язку. Якщо МС взагалі не реєструватиметься, МС втратить інформацію про те, чи включена МС, чи знаходиться вона в його зоні обслуговування, а якщо знаходиться, то де саме. Часті реєстрації дозволять МС локалізувати зону пошуку МС з більшою точністю і понизити навантаження на канали персонального виклику. Отже, експлуатація системи стільникового зв'язку припускає підтримання деякого оптимального співвідношення між частотою реєстрації і розміром зони пошуку МС, при якому мережний ресурс використовується найефективніше. Стандарт cdmaOne передбачає 8 можливих форм реєстрації МС в мережі.

1. При включенні МС. МС реєструється кожного разу при включенні, а також при переході на обслуговування в мережу з іншої системи, у тому числі з аналогової системи стільникового зв'язку.

2. При виключенні МС.

3. По сигналу таймера.

4. По вимірній дистанції. МС реєструється, як тільки відстань між нею і місцем її останньої реєстрації перевищить поріг.

5. За зоновим принципом. МС реєструється при переході в нову зону мережі.

6. При зміні контрольних параметрів. Наприклад, при зміні номера слота в каналі персонального виклику.

7. По команді з БС.

8. По замовчуванню. Кожного разу при успішному використанні мобільною станцією каналу доступу БС може встановити її місцезнаходження.

Перші 6 форм реєстрації – автоматичні, оскільки МС реєструється без додаткових вказівок з боку БС.

Проходження викликів

Стандарт cdmaOne передбачає обслуговування викликів трьох типів:

- вихідний із мережі – МС ініціює з'єднання з абонентом стаціонарної телефонної мережі загального користування (PSTN);
- вхідний в мережу – абонент PSTN ініціює з'єднання з МС;
- внутрішньомережний – одна МС ініціює з'єднання з іншою МС, в цьому випадку усі процедури, пов'язані з обслуговуванням виклику, проходять всередині мережі стільникового зв'язку, без звернення до PSTN.

Спочатку, на наведеному нижче прикладі, розглянемо обслуговування вихідного виклику з мережі. Після набору номера і натиснення клавіші <SEND> МС посилає на БС початкове повідомлення; БС сповіщає МС про запит, що надійшов, на з'єднання. МС перевіряє номер МС, резервує лінію PLMN - PSTN і відправляє підтвердження на БС; БС привласнює МС канал трафіку. МС приймає повідомлення БС по каналу прямого трафіку і починає передачу по каналу зворотного трафіку. БС приймає посилку МС і по каналу

прямого трафіку передає повідомлення про завершення ініціалізації каналу трафіку.

Таблиця 6.2

Мобільна станція	Канал	Базова станція
<p>*Виявляє виклик, ініційований користувачем.</p> <p>*Передає <i>початкове повідомлення</i> (ESN, MIN, набрані знаки номера).</p>	<p>Канал доступу</p> <p>→</p>	<p>*Приймає <i>початкове повідомлення</i>.</p> <p>*Настроюється на призначений канал трафіку.</p> <p>*Починає передавати довільну послідовність даних по каналу прямого трафіку</p>
<p>*Приймає <i>повідомлення про призначення каналу</i>.</p> <p>*Настроюється на канал трафіку, використовуючи загальний довгий код.</p>	<p>Канал виклику</p> <p>←</p>	<p>*Передає <i>повідомлення про призначення каналу</i> (ESN, канал CDMA, кодовий канал).</p>
<p>*Приймає N_{50m} послідовних значущих кадрів від БС.</p> <p>*Починає передавати преамбулу каналу трафіку.</p> <p>*Приймає <i>команду про підтвердження БС</i>.</p> <p>*Починає передавати пакети первинного трафіку, пов'язані з опцією послуг 1.</p>	<p>Канал прямого трафіку</p> <p>←</p>	<p>*Підтверджує MIN і ESN МС</p> <p>*Приймає преамбулу каналу трафіку від МС.</p> <p>*Передає <i>команду про підтвердження БС</i></p>
<p><i>Можлива процедура (по вибору)</i></p> <p>*Передає <i>продовження початкового повідомлення</i></p>	<p>Канал зворотного трафіку</p> <p>→</p>	<p>*Приймає <i>продовження початкового повідомлення</i></p>
<p>Приймає підтвердження</p>	<p>Канал прямого трафіку</p> <p>←</p>	<p>Передає підтвердження</p>
<p><i>Можлива процедура (по вибору)</i></p> <p>*Приймає команду «<i>Запит переходу на приватний довгий код</i>».</p>	<p>Канал прямого трафіку</p> <p>←</p>	<p>*Передає команду «<i>Запит переходу на приватний довгий код</i>».</p>
<p>*Передає підтвердження разом з повідомленням «<i>Прийнята команда про перехід на приватний довгий код</i>».</p> <p>*Починає передавати і</p>	<p>Канал зворотного трафіку</p> <p>→</p>	<p>*Приймає повідомлення «<i>Прийнята команда про перехід на приватний довгий код</i>».</p> <p>*Починає передавати і</p>

приймати інформацію, використовуючи приватний довгий код.		приймати інформацію, використовуючи приватний довгий код
		<i>Продовження табл. 6.2</i>
Мобільна станція	Канал	Базова станція
<i>Можлива процедура (по виборі)</i> *Приймає сигнал готовності разом з інформаційним повідомленням	Канал прямого трафіку ←	*Передає сигнал готовності з інформаційним повідомленням (звуковий сигнал контролю посилки виклику)
*Передає підтвердження *Включає звуковий сигнал контролю посилки виклику по каналу трафіку	Канал зворотного трафіку →	*Приймає підтвердження <Абонент, якого викликають відповідає на виклик>
<i>Можлива процедура (по виборі)</i> *Приймає сигнал готовності разом з інформаційним повідомленням	Канал прямого трафіку ←	*Передає сигнал готовності з інформаційним повідомленням (мовчання)
*Передає підтвердження *Відключає звуковий сигнал контролю посилки виклику по каналу трафіку <Розмова абонентів>	Канал зворотного трафіку →	*Приймає підтвердження <Розмова абонентів>

Система cdmaOne забезпечує швидке виділення MC каналу трафіку. При цьому сигналізація проходить з мінімальною швидкістю передачі даних, а отже, і з мінімальною потужністю передачі. Це дозволяє економно витратити частотно-часовий ресурс, понизивши до межі інтерференційні перешкоди. Після закінчення ініціалізації каналу трафіку базова станція (БС) дозволяє MC використання індивідуального довгого коду для підвищення безпеки зв'язки.

При вхідному виклику в мережу (приклад нижче), MSC (Mobile Switching Centre) – центр комутації рухомого зв'язку приймає надійшовший від PSTN виклик, перевіряє номер адресованої мобільної станції (МС), і ініціює її пошук. Мобільна станція (МС) приймає пошукове повідомлення по каналу персонального виклику і передає відповідь по каналу доступу, після чого їй виділяють канал трафіку. Ініціалізація каналу трафіку протікає аналогічно розглянутому вище випадку.

Таблиця 6.3

Мобільна станція	Канал	Базова станція
*Приймає пошукове повідомлення.	Канал виклику ←	*Передає пошукове повідомлення чи пошукове повідомлення в TDM-форматі (MIN).
		<i>Продовження табл. 6.3</i>
Мобільна станція	Канал	Базова станція
*Передає відповідь на пошукове повідомлення (MIN, ESN).	Канал доступу →	*Приймає відповідь на пошукове повідомлення. *Настроюється призначений канал трафіку, використовуючи загальний довгий код. *Починає передавати довільну послідовність даних по каналу прямого трафіку
*Приймає повідомлення про призначення каналу. *Настроюється на призначений канал зв'язку, використовуючи загальний довгий код. *Приймає N_{50m} послідовних кадрів від БС.	Канал виклику ←	*Передає повідомлення про призначення каналу (ESN, канал CDMA, код каналу)
*Починає передавати преамбулу каналу зворотного трафіку. *Приймає команду про підтвердження БС. *Починає обробляти прийняті пакети первинного трафіку, що пов'язані з опцією послуг 1 і передає довільні дані по каналу зворотного трафіку.	Канал прямого трафіку ←	*Приймає преамбулу каналу трафіку від МС. *Передає команду про підтвердження БС.
*Приймає сигнал готовності з інформаційним повідомленням	Канал прямого трафіку ←	*Передає сигнал готовності з інформаційним повідомленням (сигнал посилки виклику, CNI – номер абонента, якого викликають)
*Передає підтвердження *Подає звуковий сигнал виклику. *Виводить інформацію CNI на дисплей МС.	Канал зворотного трафіку →	*Приймає підтвердження

<Абонент відповідає на виклик> *Відключає звуковий сигнал виклику		
<i>Закінчення табл. 6.3</i>		
Мобільна станція	Канал	Базова станція
*Передає команду про з'єднання. *Начинає передавати інформаційні пакети з підтвердженням про обслуговування	Канал зворотного трафіку →	*Приймає команду про з'єднання.
*Приймає підтвердження. <Розмова абонентів>	Канал прямого трафіку ←	*Передає підтвердження. <Розмова абонентів>

Регулювання потужності в зворотному каналі

Разом з іншими сигналами кожна з БС випромінює пілотний сигнал постійної потужності. По циклічному зрушенню короткою ПВП МС визначає, якою БС даний сигнал був переданий. Рівень потужності прийнятого сигналу в пілотному каналі також дозволяє МС оцінити втрати на трасі поширення від цієї БС до МС. При цьому МС використовує інформацію в каналі синхронізації про потужність передавача БС, що припадає на випромінювання пілотного сигналу. Відповідно до оціненого рівня втрат МС встановлює таку потужність передавача, при якій рівень сигналу на вході приймача МС лежить в заданих межах. Це так зване регулювання потужності за схемою без зворотного зв'язку (ЗЗ). Воно призначене для компенсації ефектів загасання і повільних завмирань в зворотному каналі зв'язку і має період регулювання близько 30 мс. Принцип роботи АРП без ЗЗ (рис. 6.5) схожий з принципом роботи АРУ-приймача.

Оскільки прямий і зворотний канали зв'язку в системі cdmaOne рознесені по частоті, вони мають різні коефіцієнти передачі. У діапазонах частот, що відповідають прямому і зворотному каналам, будуть близькі лише середні значення загасання потужності сигналу на трасі поширення. Внаслідок того, що швидкі завмирання сигналів в цих частотних діапазонах протікають незалежно, миттєві значення рівнів сигналів, що приймаються, будуть різні. Тому після прийому і обробки сигналу МС, БС оцінює відношення с/ш в тракці приймача і порівнює його з порогом. Величину с/ш вимірюють, виходячи із співвідношення амплітуд Z_j сигналів на виході субканалів кореляторів і частоти помилкових кадрів FER. По розбіжності виміряного і порогового відношення с/ш БС виробляє рішення і посиляє МС по каналу прямого трафіку корегуючі дані про точне підстроювання рівня потужності передавача. МС отримує команди регулювання кожні 1,25 мс і змінює потужність передавача

з кроком $\pm 0,5$ дБ в динамічному діапазоні 85 дБ. Це швидке регулювання потужності за схемою з ЗЗ, завданням якого є компенсація ефектів швидких завмирань.

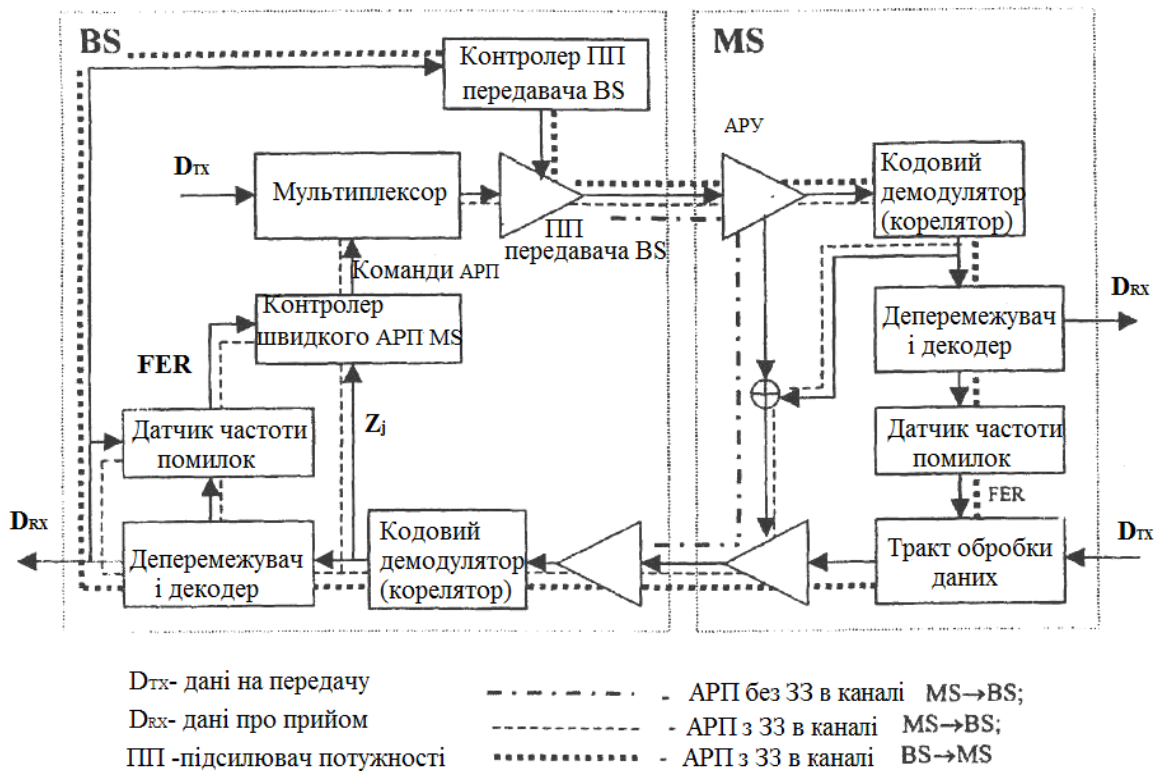


Рис. 6.5. Схема регулювання потужності в системі cdmaOne

Щоб мінімізувати затримки в петлі регулювання, відповідні командні біти передають, не піддаючи їх завадостійкому згортальному кодуванню. З метою підвищення ефективності роботи системи стандарт cdmaOne використовує концепцію адаптивного регулювання потужності. Застосування адаптивних порогів зменшує вірогідність роботи MS з надмірною потужністю і підвищує спектральну ефективність системи. Результуючу потужність передавача MS формують дві системи: з ЗЗ і без ЗЗ, але система АРП з ЗЗ динамічніша.

Регулювання потужності в прямому каналі

Регулювання потужності передавачів BS проводять на основі вимірів і команд MS, тобто за схемою з ЗЗ. Метою АРП в прямому каналі є обмеження рівня внутрішньосистемних перешкод за рахунок зменшення випромінюваної BS потужності. В процесі регулювання BS періодично починає зменшувати потужність випромінювання в каналі трафіку. Потужність знижують доти, доки MS не зареєструє перевищення порогового рівня частоти помилкових кадрів (FER) і не відправить запит на збільшення потужності передавача BS. Отримуючи команди MS, BS підвищує потужність випромінювання у відповідних каналах трафіку, при цьому вона перерозподіляє виділений їй системою і жорстко обмежений ресурс потужності. Перевищення ліміту ви-

проміньованої потужності в одному з секторів призведе до зростання внутрішньосистемних перешкод в усій області засвічення антени. Будь-який дисбаланс потужності передавачів БС, який не викликав би помітних наслідків в системах FD/TDMA, призводить до невідворотних збоїв в системі CDMA.

5. Контрольні запитання

1. Основні технічні характеристики системи стандарту IS-95.
2. Склад прямого та зворотного каналів зв'язку.
3. Поясніть структурну схему передавального тракту БС і МС.
4. Поясніть принцип передачі мови по каналах прямого трафіку.
5. Поясніть роботу каналу персонального виклику.
6. Поясніть принцип роботи приймача БС.
7. Можливі форми реєстрації МС в мережі.
8. Поясніть процес вихідного з мережі і вхідного в мережу виклику.
9. Як здійснюється регулювання потужності в зворотному каналі зв'язку?
10. Як здійснюється регулювання потужності в прямому каналі зв'язку?

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Структурна схема регулювання потужності в системі cdmaOne.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Практична робота № 7

Вивчення транкінгових систем, архітектура та протоколи систем транкінгового зв'язку

1. Мета роботи:

Вивчити загальну характеристику та класифікацію транкінгових систем, архітектуру та протоколи систем транкінгового зв'язку.

2. Література [5, 7]

3. Завдання

1. Ознайомитись із загальною характеристикою транкінгових систем.
2. Вивчити класифікацію транкінгових систем.
3. Вивчити архітектуру систем транкінгового зв'язку.
4. Вивчити основні протоколи транкінгового зв'язку.
5. Скласти звіт.

4. Теоретичні відомості

Термін «транкінг» походить від англійського trunk – стовбур (телефонна магістраль) – мається на увазі магістраль з кількох частотних каналів (2-20), що автоматично і динамічно розподіляються між абонентами.

Транкінговою називається така система радіозв'язку, яка уможливорює багатостанційний доступ до певної кількості радіоканалів великій кількості абонентів з обмеженим виходом чи без виходу на телефонну мережу зв'язку загального користування. При цьому вважається, що ймовірність одночасного доступу до системи всіх користувачів надзвичайно низька, а також допускається деякий невеликий відсоток викликів, в обслуговуванні яких буде відмовлено через зайнятість усіх каналів зв'язку в даний момент.

Користуючись радіостанцією поза транкінговою системою, її перемикачем можна вручну вибрати потрібний канал для зв'язку з визначеним абонентом. У транкінговій системі в дію вступає автоматика, що сканує частотні канали, які знаходяться в її розпорядженні, і вибирає вільний канал, по якому і здійснюється зв'язок між абонентами.

Стільникові системи мають низку переваг перед транкінговими, оскільки вони завжди забезпечують повнодуплексний радіотелефонний канал зв'язку з цілком прийнятною вартістю для абонента, що привабливо для управлінського персоналу за відсутності кризових ситуацій. Водночас є моменти, що не дають можливості використовувати стільникову систему як виробничо-технологічну. Серед переваг транкінгових систем порівняно зі стільниковими можна зазначити такі:

- транкінгові системи ефективно використовують смугу частот;
- забезпечують високий рівень конфіденційності;
- мають меншу тривалість встановлення зв'язку між абонентами (менш, ніж секунда) порівняно зі стільниковими (до кількох хвилин);

- можливість встановлення зв'язку між одним мобільним абонентом і групою абонентів;
- можливе створення черги до зайнятого ресурсу системи з урахуванням динамічно змінюваних пріоритетів та екстрене перехоплення каналу абонентом з вищим пріоритетом;
- організація може сама стати власником системи транкінгового радіозв'язку, у такий спосіб позбавившись від абонентської плати і плати за трафік. Нижня межа кількості абонентів для забезпечення рентабельності системи транкінгового зв'язку – близько 70 абонентів;
- систему транкінгового зв'язку можна розгорнути як у великому місті, так і в окремому малонаселеному пункті;
- нижча вартість стаціонарного устаткування транкінгової системи зв'язку (у десятки разів) у порівнянні зі стільниковою за створення зон зв'язку на тій самій території з гарантованою якістю зв'язку.

Типовими користувачами транкінгових систем загального користування можуть бути:

- комунальні служби, наприклад: газо-, електро- і водопостачання;
- екстрені служби, наприклад: швидка допомога і пожежні команди;
- транспортні організації: аеропорти, порти, залізничний транспорт, громадський транспорт, автобусні парки, кур'єрські служби і т.д.;
- муніципалітети і муніципальні служби та інші департаменти міста;
- промислові підприємства;
- системи радіозв'язку на автомагістралях, що забезпечують функціонування пришляхових телефонів екстреного зв'язку, зв'язок з автомобілями технічної допомоги, а також робочий стан дорожніх знаків та інформаційних табло;
- невеликі компанії, що займаються охороною, надають послуги з доставки, виконують будівельні роботи.

Класифікація транкінгових систем

Транкінгові системи можна класифікувати за такими ознаками:

За типом протоколів нараховується кілька десятків протоколів транкінгових систем, найвідомішими з яких є такі: Logic Trunked Radio – LTR, виробник – компанія E. F. Johnson; SmarTrunk II – від SmarTrunk Systems; iDEN компанії Motorola; MPT1327, розроблений в Англії, та TETRA (Trans European Trunked Radio).

За принципом організації радіоканалу:

- аналогові (DTMF, Select5);
- аналогово-цифрові (SmarTrunk II, SmartNet, MPT 1327, LTR, EDACS), що здійснюють передачу службової інформації в цифровому, а мови – в аналоговому режимах;
- цифрові (EDACS, TETRA, APCO-25, Astro).

За організацією доступу до системи:

- без каналу керування (SmarTrunk II, Al-Trunk, Z-Trunk);

- з розподіленим каналом керування (LTR, MultiNet);
- з виділеним каналом керування (EDACS, MPT1327, iDEN, TETRA).

За способом утримання каналу:

- з утриманням каналу на весь сеанс переговорів (Message Trunking);
- з утриманням каналу протягом однієї передачі (Transmission Trunking).

Цей метод забезпечує найвищий ступінь ефективності використання радіочастотних ресурсів, але не може бути використаний для телефонних викликів, а також для зв'язку між повнодуплексними абонентами.

За конфігурацією радіомережі:

- однозонові (односайтові);
- багатозонові (багатосайтові).

За способом організації радіоканалу:

- напівдуплексні;
- дуплексні.

За організацією управління базовим обладнанням:

- децентралізовані – SmartTrunk II;
- централізовані – MPT 1327, TETRA, iDEN.

За призначенням:

- професійні (спеціального застосування) – PRM (Private Mobile Radio) – будуються на основі «фірмових» протоколів: EDACS, SmartSone, а також спеціально розроблені системи стандартів TETRAPOL і APCO 25;

- змішані (частина ресурсу надається на комерційній основі для загального користування) – SMR (Shared Mobile Radio);

- комерційні (загального користування) – PAMR – системи стандартів MPT1327, TETRA та iDEN;

За кількістю абонентів:

- малі, в яких кількість абонентів не перевищує 300 осіб;
- середні, кількість абонентів яких не перевищує 3000 осіб;
- великі, з кількістю абонентів понад 3000 осіб.

Абонентське обладнання

Транкінгові радіостанції можна поділити на різні типи за такими ознаками:

За умовами експлуатації:

- професійні: відповідають вимогам військового стандарту за ударостійкістю, стійкістю щодо вібрації та пиловологонепроникністю. Мають мінімум засобів керування, параметри жорстко програмуються і не можуть бути змінені користувачем. Розраховані на тривалий термін використання;

- комерційні й аматорські: мають «дружній» дизайн. Не розраховані на роботу за екстремальних умов. Параметри можуть встановлюватися користувачем. Аматорські радіостанції мають розширений набір користувацьких функцій.

Професійні, комерційні й аматорські станції зазвичай не різняться за основними радіотехнічними параметрами (частотними діапазонами, вихідною

потужністю, чутливістю). Вибір того чи іншого типу устаткування визначається умовами експлуатації і необхідним набором функцій. Деякі моделі займають проміжне положення і не можуть бути однозначно віднесені до якогось одного з визначених типів.

За місцем встановлення:

- портативні (переносні) радіостанції;
- автомобільні: вихідна потужність – 10-60 Вт, живлення від бортової мережі (13,8 В). Типовий комплект постачання: прийомопередавач, монтажний комплект, кабель живлення, автомобільний мікрофон із кріпленням. Автомобільна антена здебільшого постачається окремо;
- стаціонарні: застосовуються головним чином для підключення диспетчерських пультів керування. Як правило, автомобільні станції мають можливість стаціонарної установки. Додаткове устаткування: блок живлення від мережі 220 В, стаціонарна антена, антенний кабель.

За режимом функціонування:

- симплексні;
- напівдуплексні;
- дуплексні.

Симплексні радіостанції використовуються в конвенціональних мережах зв'язку. У перших транкінгових мережах використовувалися напівдуплексні радіостанції з обмеженим набором функцій, що не мали цифрової клавіатури. Тепер подібні недорогі пристрої іноді застосовуються в замкнених групах. Їх користувачі мають можливість зв'язку з абонентами всередині групи чи з диспетчером. На сьогодні частіше використовуються напівдуплексні радіостанції з цифровою клавіатурою і широким набором функцій, які поступово витісняються дуплексними радіостанціями, що зовні нагадують стільникові телефонні апарати.

Новим типом абонентських пристроїв транкінгової мережі є термінали передачі даних. Для аналогових систем – це радіомодеми, що забезпечують відповідний інтерфейс зв'язку з транкінговою мережею. У цифрових мережах інтерфейс передачі даних (типу RS-232C) вбудовується в абонентські радіостанції. До складу автомобільних терміналів майже завжди входить супутниковий навігаційний приймач системи GPS, що дає можливість визначати координати абонента і передавати їх у диспетчерський центр. Для виконання специфічних завдань можуть підключатися пристрої для схованого носіння радіостанції (виносні динаміки-мікрофони, навушники, мініатюрні виносні перемикачі VOX/PTT – для керування радіостанцією за допомогою голосу). На сьогодні устаткування для БС і абонентські пристрої для систем транкінгового радіозв'язку виробляють багато компаній. З них найбільшою популярністю користуються Motorola, Nokia, Ericsson, SmartTrunk Systems та ін.

Основні послуги транкінгових мереж

Перелік послуг і архітектуру системи транкінгового зв'язку визначає радіопротокол, що використовується в мережі. Проте як основні, типові транкінгові послуги можна виділити:

Індивідуальний та груповий виклик. Абоненти транкінгової системи можуть робити як індивідуальні, так і групові виклики. Це одна з головних особливостей транкінгу, що зумовлює його професійну орієнтацію. Може бути також забезпечений регульований доступ до мережі загального користування.

Надання пріоритетів. Можливість надання одному чи кільком абонентам пріоритету дає їм можливість одержувати канал зв'язку навіть за умови повного завантаження системи, коли всі її канали в даний момент зайняті.

Екстрений виклик заздалегідь запрограмованого абонента може здійснюватися натисканням спеціально запрограмованої кнопки на радіостанції і користується максимальним пріоритетом.

Режим двосторонніх переговорів. У випадках, коли один чи кілька абонентів вийшли із зони дії всіх ретрансляторів системи, можливий режим двосторонніх переговорів між станціями без участі ретранслятора у режимі звичайного радіозв'язку.

Передача факсів та інших цифрових даних з комп'ютерів чи інших систем можлива шляхом підключення через інтерфейсний кабель до радіомодема.

Захист переговорів від прослуховування здійснюється шляхом установки скремблера (шифратора) в абонентські апарати.

Переадресація вхідних викликів на іншого абонента.

Визначення номерів викликаючих абонентів, їх індикація і запам'ятовування мобільною радіостанцією (крім викликів із загальної телефонної мережі).

Передача коротких текстових повідомлень і повідомлення «Зателефонуй!» тимчасово недоступному абоненту.

Дистанційне керування абонентськими станціями використовується для оперативної зміни запрограмованих параметрів. До таких функцій належать: розподіл абонентів за групами, встановлення рівнів пріоритету, доступу до телефонних мереж та інші, аж до повного відключення окремих станцій.

У транкінгових системах можна вести централізований автоматичний облік усіх з'єднань кожного з абонентів з фіксуванням часу і тривалості сеансів зв'язку. Багатозонові транкінгові системи відслідковують місцезнаходження абонентів у разі їх переміщення з однієї зони в іншу і тим самим забезпечують постійний зв'язок між ними (послуга роумінгу).

Архітектура систем транкінгового зв'язку

До складу системи транкінгового зв'язку належить таке обладнання (рис. 7.1):

- базова станція та антенно-фідерний пристрій;
- центральний комутатор;
- лінії зв'язку з іншими мережами та між базовими станціями;
- диспетчерський термінал;
- пункт керування мережею;
- абонентські термінали.

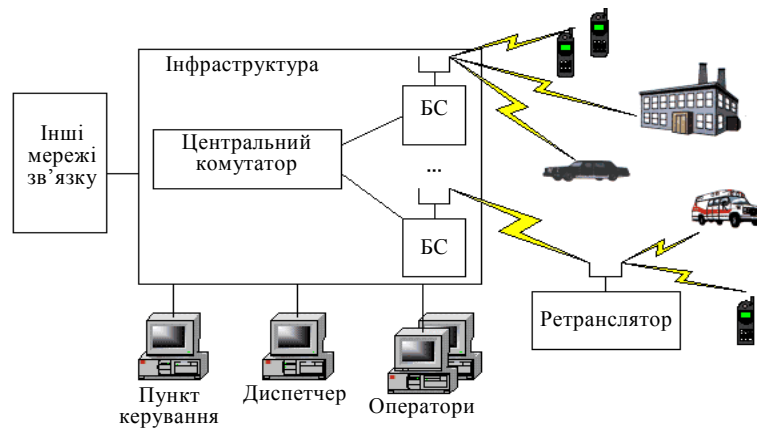


Рис. 7.1. Схема мережі транкінгового зв'язку

Базові станції зазвичай випускаються на 2, 4 чи 8 частотних каналів. Набір блоків БС залежить від використовуваного стандарту побудови транкінгової мережі та типу антенно-фідерного пристрою. Завдання щодо вибору БС і антенно-фідерного пристрою мають розв'язуватися з огляду на необхідну дальність зв'язку і наявні перешкоди.

Антенно-фідерний пристрій транкінгового каналу в найпростішому випадку може складатися з двох базових антен – приймальної і передавальної, рознесених на достатню відстань для зменшення впливу випромінювання передавача на приймач. Проте оптимальним рішенням є використання дуплексного фільтра – пристрою, що уможливує використання однієї антени для прийому і передачі, зі значно більшою ізоляцією приймача і передавача.

Комутатор забезпечує радіопротокол обміну з абонентськими станціями, протоколи обміну з телефонною мережею загального користування, встановлення з'єднань радіоабонентів між собою і з телефонною мережею, додаткові види обслуговування, керування системою, тарифікацію тощо.

Як правило, транкінгові системи забезпечують зв'язок радіостанції з абонентами міської і кількох відомчих телефонних мереж. Підключення транкінгових систем до телефонних мереж може виконуватися різними способами. Один з них – підключення через двопровідні абонентські лінії – підтримують майже всі системи, що випускаються. Виклик радіоабонента у разі такого підключення здійснюється тільки в режимі тонового набору, який не забезпечується у телефонних апаратах з дисковим номеронабирачем. Іншим способом підключення, позбавленим цього недоліку, є використання сполучних ліній (E1, ISDN), що дає можливість включати радіоабонентів у план нумерації АТС. У такому разі кожному радіоабоненту присвоюється прямиий номер міської чи відомчої телефонної мережі. Можливі також змішані варіанти підключення.

Загальні витрати на побудову системи визначаються вартістю комутаторів, ліній зв'язку, БС, парку АС, монтажу і пусконаладжування, платежами за частоти і підключення до КТМЗК. При малій кількості абонентів визначальною є вартість інфраструктури, а у випадку великої – абонентських станцій.

Диспетчерський термінал здійснює обмежене керування правами абонентів і має широкі можливості щодо встановлення з'єднань і переадресації. Диспетчерським терміналом може бути і звичайний абонентський термінал із зовнішнім пультом чи під'єднаним комп'ютером. Цей комп'ютер може працювати з програмним забезпеченням для Windows, забезпечуючи розподіл інформації з керування і моніторингу.

Пункт керування мережею створюється на основі персонального комп'ютера. На екрані комп'ютера висвічуються звіти про виконання і повідомлення, що надходять із системи. Керуючий комп'ютер може підключатися до одного з контролерів БС за стандартним з'єднанням RS232 або ж мати плати для підключення через інші лінії (наприклад, X.25).

Найпростіша однозонова транкінгова система має одну БС. Радіус зони обслуговування залежить від висоти розміщення антени (її діаметр може досягати 100 км). Прикладом однозонової системи, що завоювала популярність в усьому світі, є система SmarTrunk фірми SmarTrunk Systems.

Багатозонові системи транкінгового зв'язку будуються, якщо одна зона не забезпечує зв'язок на потрібній території. Така структура мережі називається ще багатосайтовою. До складу багатозонових систем входить кілька базових станцій, кожна з яких обслуговує свою зону. Залежно від структури розрізняють два типи реалізації багатозонових транкінгових систем.

Перший – системи з розподіленою міжзоною комутацією. У системах такого типу кожна базова станція містить власний комутатор, що здійснює комутацію радіоканалів, ліній сполучення з телефонними мережами і міжбазових сполучних ліній у будь-яких комбінаціях.

Другий – системи з централізованою комутацією. У системах такого типу використовується один міжзоновий комутатор, що здійснює всі міжбазові з'єднання, а також підключення до КТМЗК, відомчих телефонних мереж та Інтернет. З БС цей комутатор з'єднується виділеними каналами. Базові станції виконують тільки функції формування протоколу радіоінтерфейсу і складаються з прийомопередавачів і контролерів радіоканалів.

На сьогодні багато систем використовують комбіновану архітектуру: кілька комутаторів з'єднуються в мережі, а до кожного з них підключається одна чи кілька БС. Деякі БС складаються тільки з прийомопередавачів. Вони підключаються через окрему сполучну лінію з ЦК, в який входить контролер радіоканалів усіх підключених базових станцій. Така побудова системи уможливіє зменшення її вартості і спрощує обслуговування устаткування. Основними факторами, що впливають на вибір архітектури створюваної мережі, є географічне розташування місць установки ЦК і БС, наявні можливості стосовно організації ліній міжбазового зв'язку та доступу до телефонних мереж, а також розподіл абонентів і основні напрямки абонентського трафіка.

Серед багатозонових систем досить велике поширення одержали системи на основі протоколів MPT, LTR та їхні похідні. Найінтегрованішими є системи EDACS та TETRA. Перевага таких систем – відкритий протокол

зв'язку. Це означає, що устаткування для них роблять багато фірм, що різко знижує його ціну і підвищує якість за рахунок високої конкуренції.

Основні протоколи транкінгового зв'язку

Конкретні реалізації транкінгових систем створюються на основі протоколів чи специфікацій радіозв'язку. Їхні назви містять найменування протоколу, на базі якого розроблене устаткування мережі. Застосовувані протоколи можна умовно поділити на відкриті і корпоративні. Прикладами протоколів першого типу є специфікації MPT-1327, TETRA і APCO; до другого типу належать протоколи LTR фірми E. F. Johnson, EDACS фірми Ericsson і сімейство SmartNet-SmartZone компанії Motorola. За принципом організації радіоканалу розрізняють аналогові та цифрові протоколи.

Аналогові протоколи

У табл. 7.1 наведено характеристики основних аналогових протоколів для транкінгових систем.

Лідером на ринку серед аналогових протоколів є MPT-1327. В Україні та інших країнах СНД найпоширеніші системи SmarTrunk II. До переваг транкінгових систем SmarTrunk II належить досить невисока вартість базового й абонентського устаткування, що зумовлює їх перевагу при побудові невеликих однозонових транкінгових систем.

Цифрові протоколи

Головними перевагами сучасних цифрових систем зв'язку перед аналоговими є:

- вища якість передачі голосу, відсутність фонових перешкод;
- збільшення зони покриття, при цьому для цифрових систем характерна однакова якість зв'язку всередині зони і різкіше, ніж в аналогових системах, зниження якості зв'язку на її межах;
- сучасніші способи і вищі швидкості передачі даних, підтримка пакетного режиму й інтерфейсів з інформаційними базами даних;
- розширені можливості шифрування за збереження якості і зменшення зони покриття;
- скорочення часу встановлення зв'язку.

Найпоширенішими на сьогодні є цифрові інтегровані системи стандартів TETRA, iDEN, APCO-25, EDACS і TetraPol. У табл. 7.2 наведено основні характеристики цифрових транкінгових протоколів.

У більшості країн Європи як основний стандарт цифрового радіозв'язку для правоохоронних органів прийнятий стандарт TETRA (Terrestrial Trunked Radio - Наземне транкінгове радіо). Практично всі основні виробники систем і устаткування радіозв'язку випускають обладнання TETRA. Загалом вибір радіопротоколу визначається набором послуг, що необхідні абонентам, і доступністю устаткування.

Таблиця 7.1

Показник	Назва протоколу			
	MPT1-327	LTR PRO	SmarTrunk II	EDACS
Призначення	подвійне	комерційне	подвійне	відомче
Смуга частот, МГц	VHF (136-174)/ UHF(403-470)/ 800/900	UHF/800	LB(30-50)/ VHF/UHF	UHF/800/900
Канальне рознесення, кГц	200	25	12,5/25	25
Тип мовного кодування	CELP	VSELP	IMBE	AME
Виробник	багато фірм	багато фірм	багато фірм	Ericsson
Час встановлення з'єднання в диспетчерському режимі, мс	400	500	500	300/500
Рік прийняття стандарту	1987	1982	1994	1988
Життєвий цикл, років	5	5	5	5
Кількість каналів у однозонових системах	24	20	16	28
Максимальна кількість користувачів	1 036 800	5000	4096	16 383
Побудовано сайтів	1500	1500	дуже багато	1500
Кількість абонентів у побудованих системах	500 000	80 000	дуже багато	50 000
Швидкість передачі даних у смузі 25 кГц, кб/с	4,8	4,8	-	9,6
Вартість абонентської станції, дол.	400 - 1800	400 - 1000	300 - 700	500 - 3000

Таблиця 7.2

Показник	Назва протоколу			
	TETRA	iDEN	APCO-25	TetraPol
Технологія	TDMA	TDMA	FDMA	FDMA
Призначення	подвійне	комерційне	подвійне	подвійне
Смуга частот, МГц	UHF	800/900/1500	VHF/UHF/800/900	VHF/UHF
Канальне рознесення, кГц	25	25	12,5/6,25	12,5
Спектральна ефективність	4:1	6:1	2:1	2:1
Тип мовного кодування	CELP	VSELP	IMBE	CELP
Тип модуляції	p/4 DQPSK	M-16 QAM	C4FM та CQPSK	GSMK
Виробник	> 20 фірм	Motorola	6 фірм	> 20 фірм
Час встановлення з'єднання в диспетчерському режимі, мс	300	500	500	500 - 800
Рік упровадження	1997	1994	1994	1994
Життєвий цикл, років	20	20	20	20
Кількість каналів у однозонових системах	32	144	1	24
Максимальна кількість користувачів		1 440 000	48 000	28 672
Швидкість передачі даних у смузі 25 кГц, кб/с	28,8	64	19,2	19,2
Вартість абонентської станції, дол.	~ 1500	400—800	1500	1500

Транкінг в Україні

Серед українських операторів, що надають послуги транкінгового зв'язку та продають обладнання, можна назвати:

- «ГРАТІС Лтд» (www.gratis.com.ua) – піонер МРТ-1327 в Україні.
- «ОміТех-Транкінг-Україна» (www.Omitex.kiev.ua) надає послуги з побудови відомчих мереж транкінгового зв'язку, а також послуги з транкінгового зв'язку у власній мережі (стандарту МРТ-1327) на всій території України. Планує розгорнути мережу цифрового радіотелефонного зв'язку європейського стандарту TETRA.

- АЗТ «Нові технології» (www.ntech.kiev.ua) надає послуги професійного транкінгового зв'язку в діапазоні частот 400-430 МГц за стандартом SmartTrunk II в Києві і передмісті та з побудови транкінгових систем зв'язку.

- ЗАТ «Укртехзв'язок» (www.ukrtc.com.ua) є оператором діючої мережі радіозв'язку в Києві і деяких інших містах України, реалізує комплексні проекти із забезпечення замовників системами радіозв'язку.

- ТОВ «СІЕСТЕЛ» (www.cstel.ua) – оператор зв'язку в Харкові, займається розробкою та модернізацією систем професійного радіозв'язку.

- ТОВ «Конард» (www.conard.lg.ua) здійснює постачання та монтаж систем транкінгового радіозв'язку в Луганську область та ін.

Багато українських компаній на сьогодні вже використовують транкінгові системи. У всіх обласних і районних центрах нашої країни функціонують десятки систем SmartTrunk II комерційного і відомчого призначення. Проте досвід їх експлуатації свідчить про обмежені можливості цих систем стосовно побудови розподілених радіомереж. Протокол не дає можливості будувати багатозонові мережі, і велика кількість створених в Україні незалежних малих систем позбавлена певних атрибутів транкінгу – взаємного роумінгу, передачі даних та ін. Прогресивнішим у цьому плані є аналоговий протокол МРТ-1327. Наприклад, запорізькі енергетики для оперативного зв'язку використовують 15-канальну, 3-сайтову транкінгову систему протоколу МРТ-1327. Основним протоколом транкінгового зв'язку в Україні обраний цифровий стандарт ТЕТРА, що дає можливість будувати сучасні радіомережі національного масштабу.

5. Контрольні запитання

1. Дайте загальну характеристику транкінгових систем.
2. Які переваги транкінгових систем порівняно зі стільниковими?
3. Класифікація транкінгових систем.
4. Характеристика абонентського обладнання.
5. Які основні послуги транкінгових мереж ви знаєте?
6. Поясніть архітектуру систем транкінгового зв'язку.
7. Характеристика аналогових протоколів для транкінгових систем.
8. Які переваги цифрових систем зв'язку перед аналоговими?
9. Характеристика цифрових протоколів для транкінгових систем.
10. Характеристика транкінгового зв'язку в Україні.

6. Зміст звіту

1. Призначення та мета роботи.
2. Замалювати схему мережі транкінгового зв'язку.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.

Список рекомендованої літератури

1. *Громаков Ю. А.* Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Мобильные телесистемы – Эко-Трендз, 1997. – 239 с.
2. *Маковеева М. М., Шинаков Ю. С.* Системы связи с подвижными объектами: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. *Ратынский М. В.* Основы сотовой связи / Под ред. Д. В. Зимины. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.
4. *Карташевский В. Г., Семенов С. Н., Фирстова Т. В.* Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 304 с.
5. *Ипатов В. П., Орлов В. К., Самойлов И. М., Смирнов В. Н.* Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов / Под ред. В. П. Ипатова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 272 с.
6. *Бабков В. Ю., Вознюк М. А., Никитин А. Н., Сиверс М. А.* Системы связи с кодовым разделением каналов / СПбГУТ. – СПб, 1999. – 120 с.
7. *Козак І. А.* Телекомунікації в бізнесі: Навч. посіб. – К.: КНЕУ, 2004. – 367 с.
