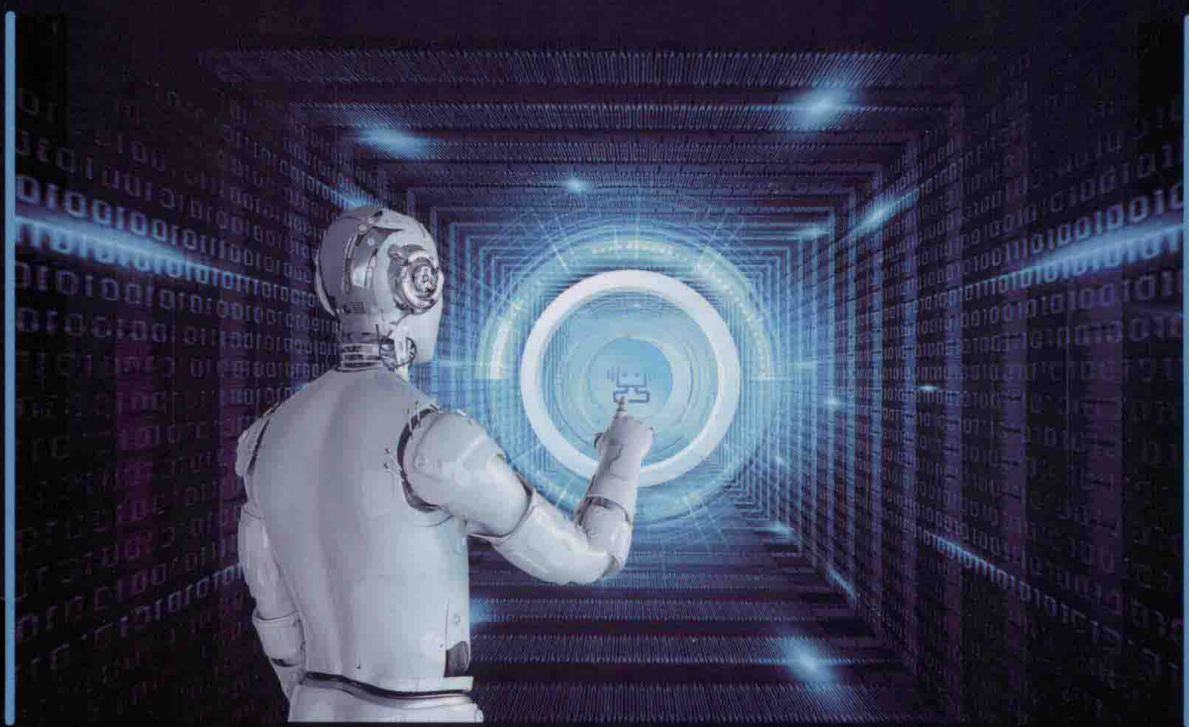




智 / 能 / 感 / 知 / 技 / 术 / 丛 / 书

# 位置感知 通信技术

范绍帅 编著



北京邮电大学出版社  
[www.buptpress.com](http://www.buptpress.com)



智 / 能 / 感 / 知 / 技 / 术 / 丛 / 书

# 位置感知通信技术

范绍帅 编著



北京邮电大学出版社  
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

位置感知通信技术是通信技术与定位导航技术的深度耦合,以移动通信系统进行定位并基于位置信息提升移动通信服务能力。随着移动通信系统的演进及5G/B5G时代的到来,车联网、工业物联网等应用场景日益扩展,信息服务多样化、个性化、智能化趋势显著,位置感知通信技术是提升高精度定位能力及基于位置服务能力的关键技术之一。

本书将重点介绍位置感知通信技术及其应用,结合移动通信系统的发展历程及位置感知通信技术研究进展,对通导融合网络的发展趋势及技术挑战进行深入分析,对网络可定位性、测量参数估计、位置解算、位置跟踪、基于位置的信息传输、基于位置的内容服务等技术进行科学系统的介绍,力求为读者系统呈现位置感知通信关键技术及应用方法。

本书适合5G/B5G移动通信工程和技术领域的专业人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

位置感知通信技术 / 范绍帅编著. -- 北京 : 北京邮电大学出版社, 2021. 8

ISBN 978-7-5635-6492-7

I. ①位… II. ①范… III. ①移动通信—定位系统—研究 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 170851 号

策划编辑: 姚 顺 刘纳新 责任编辑: 刘春棠 封面设计: 七星博纳

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 唐山玺诚印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 13

字 数: 289 千字

版 次: 2021 年 8 月第 1 版

印 次: 2021 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-6492-7

定 价: 42.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

# 智能感知技术丛书

## 顾问委员会

宋俊德 彭木根 田 辉 刘 亮 郭 斌

## 编 委 会

总主编	邓中亮		
编 委	周安福	郑霄龙	刘 杨
	赵 东	张佳鑫	范绍帅
总策划	姚 顺		
秘书长	刘纳新		

# 前 言

位置信息已在网络信息服务中起着不可或缺的重要作用。随着移动通信技术的发展，各代移动通信系统的定位能力逐步提升。定位技术作为 5G 系统的重要技术和功能之一，已成为 5G 系统第二阶段的重要特性，并将在未来通信系统中发挥更显著的信息支撑作用。相应地，近年来车联网、工业物联网等应用场景对基于位置的信息需求日益扩展，信息服务多样化、个性化、智能化趋势显著。位置感知通信技术作为提供高精度定位能力、基于位置信息提升移动通信服务能力的关键技术之一，将迎来更大的发展空间。

本书围绕移动通信网络位置感知通信技术，系统地介绍了位置感知通信技术的发展趋势、需求、算法、模型与典型应用，具有较强的参考性和专业性。本书内容共分为 4 章，第 1 章主要介绍移动通信网络的发展，包括各代移动通信系统的技术发展及位置感知能力的发展历程、通导融合网络的发展趋势。第 2 章主要介绍 5G 及未来网络的需求及挑战，包括 5G 及未来网络典型场景、5G 及未来网络的关键技术、位置感知通信需求及位置感知通信挑战。第 3 章详细介绍无线通信系统中的定位技术，包括网络可定位性、测量参数估计、位置解算方法、位置跟踪技术，并给出了多种实现算法。第 4 章主要介绍基于位置感知的服务，包括基于位置的信息传输、基于位置的前摄式内容缓存服务、移动基站通信与缓存服务，并给出多种应用方案。

本书特色如下：

- (1) 阐述位置感知通信技术的演进历程；
- (2) 首次阐述移动通信系统中高精度载波相位定位等技术；
- (3) 分析融合定位及信息服务技术的融合及应用；
- (4) 阐述位置感知通信技术的新需求、挑战与发展展望。

鉴于作者水平有限，书中难免存在错误和纰漏，恳切希望广大读者批评指正。

作 者

# 目 录

<b>第 1 章 移动通信网络的发展</b> .....	1
1.1 第 1 代移动通信网 .....	1
1.1.1 1G 技术的发展 .....	1
1.1.2 1G 位置感知 .....	2
1.2 第 2 代移动通信网 .....	3
1.2.1 2G 技术的发展 .....	3
1.2.2 2G 位置感知 .....	6
1.3 第 3 代移动通信网 .....	7
1.3.1 3G 技术的发展 .....	7
1.3.2 3G 位置感知 .....	12
1.4 第 4 代移动通信网 .....	13
1.4.1 4G 技术的发展 .....	13
1.4.2 4G 位置感知 .....	16
1.5 移动通信技术的发展趋势 .....	18
1.6 通导融合网络的发展趋势 .....	18
本章参考文献 .....	19
<b>第 2 章 5G 及未来网络的需求及挑战</b> .....	22
2.1 5G 及未来网络的典型场景 .....	22
2.1.1 身临其境游戏/沉浸式购物 .....	26
2.1.2 车联网自动驾驶 .....	27
2.1.3 精准工业控制 .....	27
2.2 5G 及未来网络的关键技术 .....	28
2.2.1 5G 网络组网技术 .....	28
2.2.2 5G 无线接入技术 .....	30
2.2.3 6G 关键技术 .....	32
2.3 位置感知通信需求 .....	33
2.3.1 交通服务及位置感知推荐 .....	33
2.3.2 救援服务 .....	35



2.3.3	社交网络 .....	35
2.3.4	智能制造与工业生产 .....	35
2.3.5	通信性能优化 .....	36
2.4	位置感知通信挑战 .....	36
2.4.1	高精度定位 .....	36
2.4.2	定位与通信性能协调 .....	37
2.4.3	定位能力高效利用 .....	38
	本章参考文献 .....	38
<b>第3章</b>	<b>无线通信系统中的定位技术 .....</b>	<b>41</b>
3.1	网络可定位性 .....	41
3.2	测量参数估计 .....	45
3.2.1	ToA 参数估计 .....	45
3.2.2	AoA 参数估计 .....	54
3.2.3	ToA 和 AoA 联合估计 .....	63
3.2.4	指纹库的建立 .....	68
3.2.5	载波相位测量 .....	70
3.2.6	参数估计的克拉美罗界 .....	74
3.3	位置解算方法 .....	76
3.3.1	三边定位 .....	76
3.3.2	Chan 氏算法 .....	79
3.3.3	ToA 和 AoA 联合定位解算算法 .....	81
3.3.4	指纹定位 .....	86
3.3.5	多径定位 .....	88
3.3.6	协作定位 .....	95
3.3.7	高精度载波相位定位 .....	103
3.4	位置跟踪技术 .....	119
3.4.1	位置预测方法概述 .....	119
3.4.2	基于地理位置的社交网络 .....	120
3.4.3	基于用户签到行为倾向性的位置预测算法 .....	121
3.4.4	基于移动轨迹及社交关系聚类的位置预测算法 .....	125
	本章参考文献 .....	134
<b>第4章</b>	<b>基于位置感知的服务 .....</b>	<b>139</b>
4.1	基于位置的信息传输 .....	139
4.1.1	位置信息在 5G 网络架构中的作用 .....	139
4.1.2	高精度位置感知通信在高速轨道交通中的应用 .....	146

4.2 基于位置的前摄式内容缓存服务 .....	149
4.2.1 位置信息在资源部署上的应用前景 .....	149
4.2.2 基于位置信息的缓存部署 .....	151
4.2.3 基于位置预测的前摄式缓存部署 .....	152
4.2.4 基于位置信息的协同缓存部署 .....	157
4.3 移动基站通信及缓存服务 .....	163
4.3.1 空地融合的移动边缘网络的架构以及面临的挑战与机遇 .....	163
4.3.2 移动基站服务的通信与缓存 .....	170
4.3.3 移动基站辅助的通信与缓存 .....	184
本章参考文献 .....	194

# 第 1 章

## 移动通信网络的发展

---

通信即信息的传递,可以被定义为包括信号、图片、文本等在内的任何类型的信息或数据的传输和交换,在世界的任何地方都可能随时发生<sup>[1]</sup>。通信系统最初通过有线的方式进行部署,通信过程只能在有限的范围或距离内完成。20 世纪 70 年代,蜂窝小区和频率复用的概念被提出,无线通信时代随之到来。随着人们对移动通信需求的不断增强,移动通信技术迅猛发展,几乎每隔十年,一个新的移动通信系统就会被引入,从第一代模拟通信系统(1st Generation Mobile Networks, 1G),到第二代数字移动通信系统(2nd Generation Mobile Networks, 2G),再到支持多媒体业务的第三代通信系统(3rd Generation Mobile Networks, 3G)和支持宽带高速数据传输的第四代移动通信系统(4th Generation Mobile Networks, 4G),如今,第五代移动通信系统(5th Generation Mobile Networks, 5G)已经正式投入商用,第六代移动通信系统(6th Generation Mobile Networks, 6G)的研发也正在如火如荼地进行当中。

移动通信技术的发展为人们的日常生活和工业生产创造了极大的便利,其中,由于空间位置信息在人类社会活动中起着至关重要的作用,通信与定位技术的融合将产生巨大的应用价值。随着移动通信技术的发展,位置感知通信技术逐渐成熟,在社会生活、经济建设等领域发挥出了越来越大的作用。

本章将回顾从 1G 到 5G 的移动通信系统发展历程,介绍各代移动通信系统的技术制式、应用场景以及位置感知服务能力,并总结位置感知服务和通导融合网络的发展趋势。

### 1.1 第 1 代移动通信网

#### 1.1.1 1G 技术的发展

##### 1. 1G 发展起源

美国贝尔实验室于 20 世纪 70 年代提出了蜂窝小区和频率复用的概念,蜂窝系统将

服务区域划分为若干小区(Cell),小区用户可使用相同的频率进行通信,如图 1.1.1 所示,由此解决了公用移动通信巨大的系统容量需求与有限的频谱资源之间的矛盾,为无线通信时代拉开了序幕<sup>[2]</sup>。1978 年,美国贝尔实验室开发了世界上第一个真正意义上的蜂窝移动通信系统——高级移动电话系统(Advanced Mobile Phone Service, AMPS),大大提高了系统容量,这也是全球范围内应用最为广泛的通信系统。随后,瑞典等国成功开发了北欧移动电话通信网(Nordic Mobile Telephone, NMT),英国也成功开发了全入网通信系统(Total Access Communication System, TACS)。此外,各国先后开发出多种移动通信制式并将其投入商用,如日本的 JTACS、西德的 C-Netz、意大利的 RTMI 等。这些通信系统被称为模拟通信系统,即第一代移动通信系统。

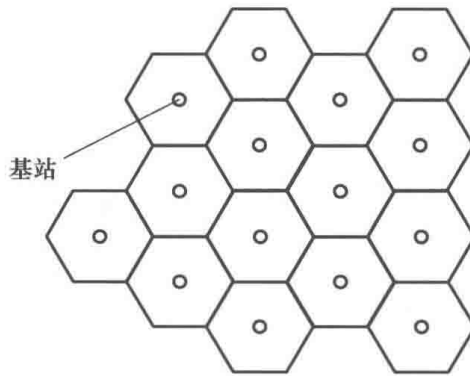


图 1.1.1 蜂窝系统示意图

## 2. 1G 技术制式

1G 系统采用了模拟语音调制技术与频分多址技术(Frequency Division Multiple Access, FDMA),为双工模拟制式系统,以模拟方式工作。

## 3. 1G 应用场景

1G 系统主要被应用于提供语音传输业务。1987 年 11 月,我国第一个模拟蜂窝移动电话系统在广东省建成并投入商用。

### 1.1.2 1G 位置感知

虽然 1G 蜂窝网络主要以通信为目的,尚不具备基于位置的服务能力,但 1G 移动技术已经在车辆定位上开展了应用<sup>[3]</sup>。当移动设备与服务基站距离过远时,受到同频干扰的影响,设备接收到的服务信号将严重减弱,因此,在蜂窝系统中,车辆需要基于位置被分配频道,并在通话的过程中定期进行重新定位和交接,通过不同信道连接到邻近的基站。1G 移动通信可以通过使用信号强度、时间延迟或波达方向测量等定位方法,根据基站位置得到接收机位置的粗略估计,该位置信息被应用于小区选择和语音信道分配或切换上,避免了移动设备因同频干扰或噪声而通信质量受损。

1G 模拟移动通信系统以小区为基本单元,采用蜂窝小区频率规划实现频率复用,从而实现了系统容量上的突破。但 1G 系统也存在着许多缺陷,如系统容量非常有限、制式

太多且互不兼容、保密性较差、通话质量不高、无法提供数据业务、无法提供自动漫游等。1G 网络虽然没有明确的定位功能,但位置信息已经开始得到利用,并在一定程度上起到了帮助提升移动通信系统性能的作用。

## 1.2 第 2 代移动通信网

### 1.2.1 2G 技术的发展

#### 1. 2G 发展起源

由于 1G 系统性能无法满足人们日益增长的移动通信需求,为了解决模拟系统中的问题,第二代移动通信系统应运而生。

20 世纪 80 年代中期至 20 世纪末,以全球移动通信系统(Global System for Mobile Communications, GSM)和临时标准 95(IS-95)为代表的第二代移动通信系统,即蜂窝数字移动通信系统,迅速发展成熟。1983 年,欧洲开始开发时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)系统 GSM,并于 1991 年在德国首次进行部署,这是全球第一个数字蜂窝移动通信网络。1988 年,美国表决通过了数字标准 NA-TDMA。1989 年,美国高通公司开始进行窄带码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)的开发。1995 年, N-CDMA 的标准——IS-95A 由美国通信工业协会(Telecommunications Industry Association, TIA)正式颁布。1998 年, TIA 进一步制定了新的标准 IS-95。

#### 2. 2G 网络结构

2G 网络是基于 GSM 的网络,网络结构如图 1.2.1 所示。GSM 网络主要由四部分构成。

(1) 移动台(Mobile Station, MS): GSM 中用户使用的设备包括移动设备(Mobile Equipment, ME)和用户识别模块(Subscriber Identify Module, SIM)两部分,负责无线信号的收发与处理。

(2) 基站子系统(Base Station Subsystem, BSS): 属于无线接入网,包括基站收发信台(Base Transceiver Station, BTS)和基站控制器(Base Station Controller, BSC)两部分。BTS 通过 Um 空中接口接收 MS 发送的无线信号并将其传送至 BSC, BSC 负责无线资源的功率控制、信道分配等管理配置,再通过 A 接口传送至核心网部分。

(3) 移动交换子系统(Network and Switching Subsystem, NSS): 属于核心网。NSS 中,移动业务交换中心(Mobile Service Switching Center, MSC)负责用户具体业务的处理,访问位置寄存器(Visit Location Register, VLR)、归属位置寄存器(Home Location Register, HLR)负责数据库管理和移动性管理,鉴权中心(Authentication Center, AUC)、设备识别寄存器(Equipment Identity Register, EIR)负责保障安全性,网关移动

交换中心(Gateway Mobile Switching Center, GMSC)负责提供与 PSTN 等外部网络的接口。

(4) 操作维护子系统(Operations Management Subsystem, OMS):主要负责网络监视、状态报告以及故障诊断等。

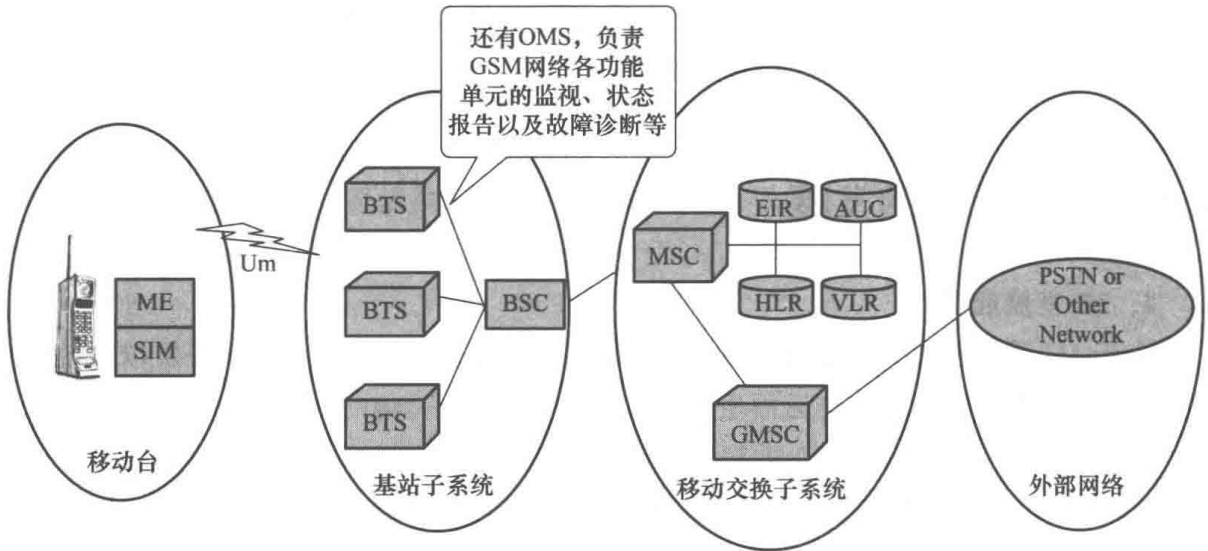


图 1.2.1 GSM 网络结构<sup>[4]</sup>

2.5G 网络即 GPRS 网络,网络结构如图 1.2.2 所示。在 GSM 网络结构上,GPRS 增加了分组控制单元(Packet Control Unit, PCU)、服务型 GPRS 支持节点(Service GPRS Supported Node, SGSN)、网关型 GPRS 支持节点(Gateway GPRS Supported Node, GGSN)等功能实体,以达到支持分组交换业务的目的。接入网中增加了 PCU,主要负责提供分组交换通道;核心网中增加了 SGSN 和 GGSN,主要负责处理分组业务,外部网络接入 IP 网。核心网中,电路交换域(Circuit Switch, CS)主要负责语音业务以及一些电路型数据业务,分组交换域(Packet Switch, PS)主要负责常见的数据业务以及流媒体业务等<sup>[5]</sup>。

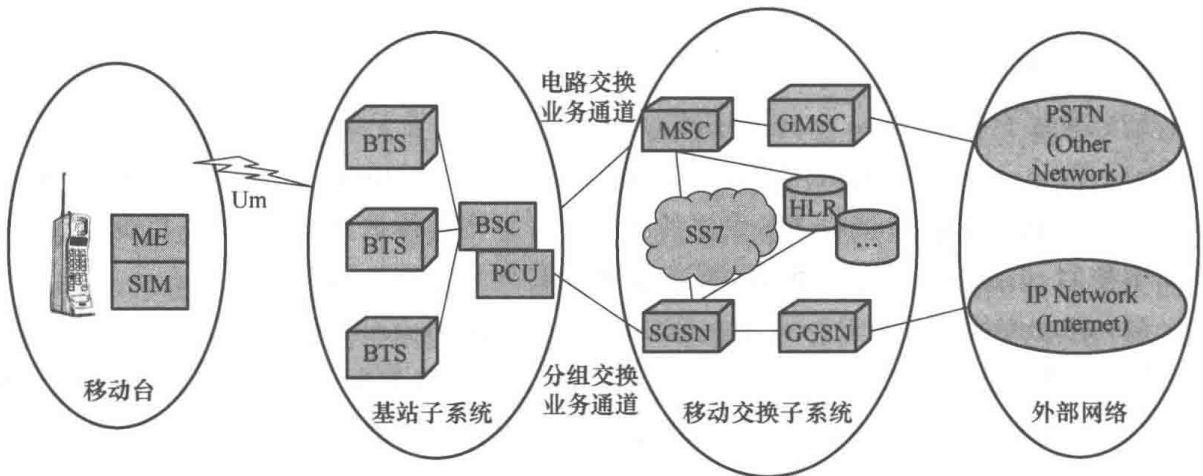


图 1.2.2 2.5G 网络结构<sup>[4]</sup>

### 3. 2G 技术制式

2G 蜂窝数字移动通信系统采用了数字语音调制技术。与模拟通信系统相比,2G 系统中的频谱利用率提高了两倍以上,系统容量也随之大大提高。2G 技术主要可分为时分多址(Time Division Multiple Access, TDMA)和码分多址(Code Division Multiple Access, CDMA)两种。

时分多址,即将时间分割为周期性的帧,每一帧分割为若干时隙,基站在满足定时和同步的条件下可在各时隙中无干扰地接收到各移动终端的信号,并在各时隙中按顺序向各移动终端传输信号,各移动终端可在指定的时隙内在合路中区分并接收到正确信号。

码分多址是在扩频技术基础上发展起来的一种无线通信技术,可将其定义为一种多路复用技术,即用一个带宽远大于原数据信号带宽的高速伪随机码对需传送的数据进行调制,并经过载波调制后进行发送。接收端使用完全相同的伪随机码处理接收的信号实现解扩,以实现信息通信。由于其允许各种信号使用一个共同的传输信道,CDMA 增强了对可用带宽的利用。

GSM 与 IS-95 系统是全球范围内应用最为广泛的两种数字移动通信系统,它们分别基于 TDMA 与 CDMA 技术,是 2G 通信的两种主流制式,它们之间的主要区别在于无线发送接收的制式以及调制解调方法的不同。

GSM 系统采用了交织技术与跳频技术来提高系统的抗干扰能力,采用了空间分集技术、自适应均衡技术和跳频技术来抵抗传输环境中的信号衰落,还采用了功率自适应控制技术以降低发射机的发射功率,达到节能续航的目的。GSM 系统具有较强的鉴权和加密功能,能够保证用户和网络的安全需求<sup>[6]</sup>。GSM 系统只能进行电路域的数据交换,最高传输速率只能达到 9.6 kbit/s。为了满足用户对更高数据速率的需求,新的以数据为中心的标准——2.5G 技术被提出。2.5G 系统提供了通用分组无线业务(General Packet Radio Service, GPRS)和增强型数据速率 GSM 演进(Enhanced Data Rate for GSM Evolution, EDGE)两种主要业务。GPRS 是为 GSM 和 USDC 移动用户提供的基于分组交换传输数据的移动数据服务,可为移动用户提供如图片、视频、邮件、Internet 浏览等数据业务,数据传输速率可达到 56 kbit/s 到 114 kbit/s。EDGE 是 GPRS 的扩展集,向下兼容 GPRS,对 GPRS 技术的调制方式、链路控制等方面进行了改进,将每时隙的数据传输总速率从 22.8 kbit/s 提高至 69.2 kbit/s。2.5G 技术的产生帮助移动通信系统实现了从 GSM 到 3G 系统的平缓过渡。

IS-95 是美国最简单的 CDMA 数字蜂窝通信系统。与 TDMA 系统相比,IS-95 系统具有更优的通话质量、上网速度、保密性、稳定性以及抗干扰能力,并且由于其采用了出色的功率控制技术,CDMA 手机的辐射远小于 GSM。IS-95 系统的系统容量可以达到 TDMA 系统的 4 倍,并且当系统接入量达到上限后,可通过降低网络质量来增加用户容量。表 1.2.1 给出了 GSM 和 IS-95 系统的一些重要参数<sup>[7]</sup>。

表 1.2.1 GSM 和 IS-95 系统参数

系统	GSM	IS-95
频段	900 MHz 频段: 890~915 MHz(上行) 935~960 MHz(下行) 1 800 MHz 频段: 1 710~1 785 MHz(上行) 1 805~1 880 MHz(下行)	824~849 MHz(上行) 869~894 MHz(下行)
载波间隔	200 kHz	1.25 MHz
双工方式	FDD	FDD
多址方式	TDMA	CDMA
数据速率	9 600 bit/s	1 200 bit/s, 2 400 bit/s, 4 800 bit/s, 9 600 bit/s

#### 4. 2G 应用场景

在语音业务方面,相较于 1G 系统,2G 系统降低了通话噪声,语音质量有了大幅提高,并且支持省内、省际自动漫游的无缝漫游通话,同时还具备了较高的保密性。另外,2G 系统还能够提供短信、图片、彩信以及互联网浏览等数据业务服务。由于 2G 系统使用了数字信号传输数据,在提高了发送方和接收方的安全性的同时,也降低了电池电量的消耗,延长了手机的使用寿命。可以说,该系统以较低的成本提供了较高的服务质量和系统容量。

2G 系统的诞生也推进了智能家居、远程监控等产业的发展。在智能家居控制系统中,可通过向服务器连接的 GSM 模块发送 GSM 短信来实现智能家居的日常控制,而远程监控系统则为农作物生长信息采集、环境气压温度监测等许多工作提供了保障,在农业生产、工业制造、科学实验、地形测绘等方面都得到了广泛的应用。我国于 1995 年正式开通了 GSM 数字电话网,2002 年正式开通了 CDMA 网络并投入商用。

### 1.2.2 2G 位置感知

GSM 标准中没有明确的定位机制,GSM 的定位能力仅限于使用训练信号或同步信号来计算测距测量,定位方法主要包括基于标准小区号(Cell ID,CID)、基于增强观测时差(Enhanced Observed Time Difference, E-OTD)的以及时间超前(Timing Advance, TA)的方法等,然而这些方法在定位精度上都比较欠缺,位置估计误差可达数百米。由于基站的覆盖范围高达 35 km,CID 定位性能较差;E-OTD 本质上是一种时差定位方法,定位精度可以达到 50~300 m,但需要时间同步;TA 技术可以实现时间同步,使用 TA 技术辅助基于 CID 的定位方法,可以将其定位精度提高到 550 m 左右<sup>[8]</sup>。

1996 年,蜂窝定位迈出了重要的一步,美国联邦通信委员会(Federal Communication Commission,FCC)批准了对 911 紧急呼叫的定位要求,即 E911 服务,要求在 2001 年 10 月 1 日前,移动网络需能够对超过 67%的发出 E-911 紧急呼叫的移动台提供精度在 125 m 以内的定位服务。1998 年,FCC 又将对位置服务的要求提高至准确率不低于 90%、定位精度达到 400 m<sup>[9]</sup>,E-911 法令的推行促进了移动通信定位技术的发展。2004 年,

Reichenbacher 根据用途的不同将 LBS 分为定位、导航、服务信息查询、目标行为识别检测和特殊事件检查<sup>[10]</sup> 五类。基于位置的服务开始进入市场,并逐渐发展为最受瞩目的移动通信业务之一。在一个完整的 LBS 服务中,首先要获取用户或移动终端的空间位置,然后根据其所处位置、时间及其与周围事物的关系推断出用户的可能意图和需求<sup>[11]</sup>。2G 时代,车队管理、基于位置的计费、应急救援定位等基于位置定位的服务都在开发当中,并开始投入应用。

2G 移动通信系统以数字语音传输技术为核心,与 1G 模拟移动通信系统相比具备更大的系统容量和更高的保密性。尽管 2G 系统在商业化和工业制造方面都取得了较大的成功,但由于系统带宽和数据传输速率有限,其在互联网浏览、短信息服务以及数据传输等方面依然存在着很大的局限性。另外,由于两种主要制式的标准不统一,用户仍然无法进行无缝的全球自动漫游。为了满足用户对于互联网快速接入、电子邮件、全球漫游、导航服务、视频等功能日渐增长的需求,以及工业生产制造方面的更高要求,2G 系统仍然需要做出进一步的改进。在位置感知能力方面,2G 系统已经具备基本的定位能力,基于位置的信息服务、跟踪服务、救援服务等位置服务开始逐渐走入市场。

## 1.3 第 3 代移动通信网

### 1.3.1 3G 技术的发展

#### 1. 3G 发展起源

1985 年,国际电联(International Telecommunication Union,ITU)首次提出了未来公众陆地移动通信系统(Future Public Land Mobile Telecommunication System, FPLMTS)的概念,后更名为 IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000),表示该系统工作频段为 2 000 MHz,第三代通信系统随之诞生。为了指导 2G 之后 3G 标准的发展,ITU 于 1994 年首次发布了接入网性能和服务质量要求,定义了四个 QoS (Quality of Service)类,包括会话类服务、交互类服务、流类服务和后台类服务。3G 系统是在 2G 基础上的演进和发展,其主要目标是提供更大面积的覆盖、实现无缝全球漫游、提供高质量的多媒体业务、适应多种环境且兼容 2G,以及实现个人业务的移动性等。相较于 2G 系统,3G 系统拥有更高的频谱利用率,基本上解决了 2G 系统容量较小的问题,同时克服了多址干扰等技术上的难题,能够进行更稳定的传输,数据传输速率从 144 kbit/s 提升到了 2 Mbit/s,因此,3G 系统中的移动终端更加智能化,移动通信业务更加多元化,3G 系统为移动通信开启了新的纪元。

#### 2. 3G 网络结构

3G 网络即 UMTS 网络,网络结构如图 1.3.1 所示。与 2G 网络相比,UMTS 网络在空中接口上发生了变化,Um 接口变为 Uu 接口,接入网与核心网接口变为 Iu 接口,Iur

接口的主要功能为传输网络管理、公共传输信道的业务管理等，Iub 接口的主要功能为系统信息管理、定时和同步管理等。用户设备域划分为 USIM (User Services Identity Module Domain) 和 ME (Mobile Equipment Domain)。在接入网中，基站 NodeB 和无线网络控制器 (Radio Network Controller, RNC) 取代了 2G 网络结构中的 BTS 和 BSC。其中，NodeB 主要负责接发高频无线信号、扩频调制、信道编码、解扩/解调以及完成射频信号和基带信号的相互转换等工作；RNC 主要负责切换和 RNC 迁移等移动性管理、系统接入控制、无线承载控制、宏分集合并、无线资源管理等工作。

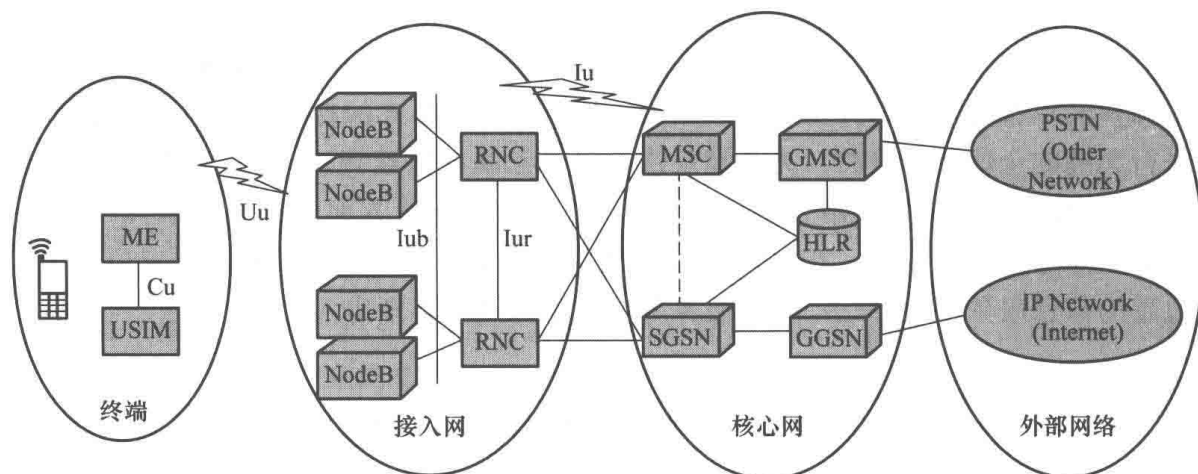


图 1.3.1 UMTS 网络结构<sup>[4]</sup>

### 3. 3G 技术制式

目前，国际上第三代移动通信传输有三种主流技术标准，分别是欧洲提出的宽带码分多址 (Wideband Code Division Multiple Access, WCDMA) 系统、美国提出的 CDMA2000 系统，以及中国提出的时分同步码分多址标准 (Time Division Synchronous CDMA, TD-SCDMA) 系统。在我国，WCDMA、CDMA2000、TD-SCDMA 三个标准分别由中国联通、中国电信和中国移动进行建设和运行。三种主流标准的技术参数对比如表 1.3.1 所示<sup>[12]</sup>。

表 1.3.1 3G 主流标准技术参数

制式	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA
双工方式	FDD/TDD	FDD	TDD
网络基础	GSM	窄带 CDMA	GSM
空中接口	WCDMA	CDMA2000 兼容 IS-95	TD-SCDMA
同步方式	异步/同步	GPS 同步	同步
码片速率	3.84 Mchip/s	1.228 8 Mchip/s	1.28 Mchip/s

#### (1) WCDMA

WCDMA 系统起源于欧洲，由第三代合作伙伴计划 (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) 具体制定，是一种基于 GSM 中的 MAP (Mobile Application Part) 核心

网、由 CDMA 演变而来的宽带扩频技术,采用了直接序列扩频码分多址(Direct Sequence-Code Division Multiple Access,DS-SS)以及频分双工(Frequency-Division Duplex,FDD)模式,是一种 3G 移动通信空中接口技术标准。WCDMA 与 CDMA 的不同之处在于,WCDMA 是一个更为完整的规范集,它在 CDMA 的基础上进一步定义了移动设备与基站之间的通信方式、信号的调制方式,以及数据帧的构建方式等内容。WCDMA 采用了 Turbo 信道编解码以达到较高的数据传输速率,在高速移动的状态下可提供 384 kbit/s 的传输速率,而在低速或室内环境下可提供高达 2 Mbit/s 的传输速率。同时,WCDMA 还采用了连续导频技术以支持高速移动的终端,利用频率选择性分集和空间的接收发射分集有效解决了多径衰落问题,在下行基站区分中采用了独有的小区搜索方法,使基站间可以无须保持严格的同步。

## (2) CDMA2000

CDMA 标准是一个体系结构,又被称为 CDMA Family,包含了从 IS-2000-1. A 到 IS-2000-6. A 的一系列子标准,由北美高通公司主导提出,主要应用于日、韩和北美地区。CDMA2000 技术由 CDMA One 技术演进而来,由于具有相同的网络架构,可从原有 CDMA One 直接升级到 3G,建设成本较低。与 2G 系统的 CDMA One 标准相比,CDMA2000 在电路域交换系统中增加了语音和数据服务,同时增加了分组域交换系统的数据业务。

CDMA2000 可提供多种复合业务,包括同时传输语音和数据业务、定位业务等,具有先进的多媒体服务质量控制能力,多路语音与分组数据可同时到达。CDMA2000 技术在室内办公室、室外步行以及车辆环境下均可达到 IMT-2000 的指标,在室内环境中数据速率约为 2 Mbit/s,室外步行环境中约为 384 kbit/s,车辆环境中约为 144 kbit/s。

CDMA2000 系统的第一个阶段被称为 CDMA2000 1x 系统,它使用了带宽为 1.25 MHz 的单个载波,数据传输速率约为 307.2 kbit/s,频谱效率为 0.3 bit/(s·Hz)。CDMA2000 3x 系统则使用了 3 个带宽为 1.25 MHz 的载波,数据速率可达到 2 Mbit/s,频谱效率提升至 0.4 bit/(s·Hz)。CDMA2000 1xEV-DO(Data only)是 CDMA2000 1x 的增强版本,采用了语音分离的信道传输数据,下行峰值速率可达到 2.457 6 Mbit/s。随后演进而来的 CDMA2000 1xEV-DV(Data and Voice)系统将语音信道与数据信道合二为一,上行峰值速率可达到 1.8 Mbit/s,下行峰值速率则可达到 3.1 Mbit/s。

CDMA2000 的演进路线及相应的技术特征如图 1.3.2 所示。

CDMA2000 在设计上具有以下特点。

① 具有较高的系统性能和系统容量。这是由于其采用了基于相干导频的反向空中接口,具有连续反向的空中接口波形,可以进行快速的前向功率控制和反向功率控制;采用了辅助导频来支持波束成形应用和增加容量;并且使用了 Turbo 码以增加系统的容量。

② 具有灵活的信令结构,可支持多种空中接口信令。

③ 支持包括 1.25 MHz、3.75 MHz、7.5 MHz、11.25 MHz 以及 15 MHz 在内的多种射频信号带宽。