

移动通信前沿技术丛书

# 移动通信系统

## 终端射线跟踪定位理论与方法

袁正午 著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

移动通信前沿技术丛书

# 移动通信系统终端射线跟踪 定位理论与方法

袁正午 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

## 内 容 简 介

本书基于作者近几年来在移动通信系统移动终端射线跟踪定位和 Voronoi-图定位等方面的研究工作。主要内容包括移动通信终端定位技术系统概述、现有蜂窝定位优缺点、LBS 的技术体系及其实现过程、射线跟踪定位理论与方法、考察区域的划分、蜂窝系统射线跟踪定位计算方法基础、射线跟踪定位模型计算和移动通信定位的有关标准。书中重点讨论射线跟踪定位理论与方法,还提供作者完成的模型计算结果与分析。

本书适合于高校通信专业、地理信息专业、电磁场与微波技术专业 and 计算机相关专业的高年级学生和研究生学习参考,也可供致力于无线通信、地理信息系统、电磁场与微波技术研究的高校教师,研究所或公司研究人员及移动通信网络工程技术人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

移动通信系统终端射线跟踪定位理论与方法 / 袁正午著. —北京: 电子工业出版社, 2007.6

(移动通信前沿技术丛书)

ISBN 978-7-121-04141-9

I. 移… II. 袁… III. 移动通信—终端设备—定位 IV. TN929.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 041211 号

责任编辑: 王春宁 特约编辑: 王占禄

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 21.5 字数: 542 千字

印 次: 2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

## 出版说明

移动通信是当前发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。移动通信的最终目标是实现任何人可以在任何地点、任何时间与其他任何人进行任何方式的通信。移动通信技术现在已经发展了以 WCDMA 为代表的第三代，而相互兼容各种移动通信技术的第四代标准目前已经悄然来临。为了促进和推动我国移动通信产业的发展，并不断满足社会各界和广大通信技术人员系统学习和掌握移动通信前沿技术的需求，电子工业出版社特约请在国内从事移动通信科研、教学、工程、管理等工作并具有丰富的理论和实践经验的专家、教授亲自编著或翻译国外“金”典著作，组成了这套《移动通信前沿技术丛书》，于新世纪之初相继推出。

该丛书从我国移动通信技术应用现状与发展情况出发，以系统与技术为中心，全面系统地介绍了当今移动通信领域涉及的有关关键技术与热点技术，如软件无线电原理与应用、智能天线原理与应用、蓝牙技术、移动 IP、通用无线分组业务（GPRS）、移动通信网络规划与优化、移动数据通信以及典型的第三代移动通信系统等内容。其特点是力求内容的先进性、实用性和系统性；突出理论性与工程实践性紧密结合；内容组织循序渐进、深入浅出，理论叙述概念清晰、层次清楚，经典实例源于实践。本丛书旨在引导读者将移动通信的原理、技术与应用有机结合。

这套丛书的主要读者对象是广大从事通信技术工作的工程技术人员，也适合高等院校通信、计算机等学科各专业在校师生和刚走上工作岗位的毕业生阅读参考。

在编辑出版这套丛书的过程中，参与编著、翻译和审定的各位专家都付出了大量心血，对此，我们表示衷心感谢。欢迎广大读者对这套丛书提出宝贵意见和建议，或推荐其他的选题（E-mail:davidzhu@phei.com.cn），以便我们今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术图书。

电子工业出版社  
通信分社

# 前 言

在资源管理、社会经济活动和日常生活等各个领域,具有空间位置特性的地理信息发挥着越来越大的作用。用户可以通过使用安装在移动终端(如手机等)上的客户端软件,与无线网络结合,确定需要访问的用户的实际地理位置,从而提供与位置相关的服务信息。这是一种应用前景非常广阔的技术,它建立在移动通信网络平台之上,尤其在寻人、交通、移动电子商务、紧急救助等应用方面具有巨大的商业价值。可以说,移动通信系统终端定位可以彻底改变我们的生活方式,给我们的日常生活带来更多的便利。

自从1996年6月美国联邦通信委员会颁布了E911(Emergency call '911')定位需求,要求在2001年10月1日前,各种移动通信网络必须能对发出E-911紧急呼叫的移动终端提供精度在125 m内的基于位置的服务LBS(Location-Based Services,有的文献叫LoCation Service, LCS),而且满足这个定位精度的概率不小于67%;在2001年10月1日以后,基于位置的服务系统必须提供更高的定位精度和三维位置信息。这在西方发达国家引发了一个LBS研究热潮,近几年这股热潮传遍了全世界,越来越多的人在关注基于位置服务的发展动态。1998年美国FCC又提出了定位精度为400 m,准确率不低于90%的服务要求。1999年12月FCC99-245对E-911要求进一步细化,对网络设备和移动终端生产厂商、网络运营商等的定位技术在网络设备和移动终端中的实施和支持提出了明确的要求和日程安排。

由于LBS的研究实施及政府的强制性要求和巨大市场利润的驱动,特别是3GPP和3GPP2上对移动通信系统终端定位的要求更具体化,促使国内外出现了研究移动通信系统终端定位技术的热潮。从检索的国际最新资料来看,目前尽管出现了一些新的定位方法和技术,但要完全满足E-911定位需求还有一定的距离,特别是要求在不影响系统其他主要功能指标的前提下,高效、可靠地提供移动通信系统终端的定位功能,还有许多问题有待深入研究。本书的研究工作正是在这种背景下开始的。

鉴于对位置业务未来发展前景的良好预期,作为移动通信网提供的增值业务,基于用户位置的移动位置服务(LBS)已经受到了世人的瞩目,全球各大通信运营商都正在积极部署这项极具潜力的增值业务。为此,中国有必要在这个移动通信飞速发展的时刻,积极研究移动通信系统终端射线跟踪定位理论与方法,提前做好准备,将移动通信系统终端射线跟踪定位理论与方法的研究和我国移动通信产业结合起来,随时为提供稳定的、精确的和安全的位置服务做好准备。

本书的主要内容基于作者近年来在移动通信系统终端射线跟踪定位理论与方法方面的研究工作。作者希望通过对已有成果的总结,推动国内外在这一领域的研究开发工作。

本书主要论述了移动通信系统终端定位的基本技术、实现方式、用途、国内外研究现状,指出现有技术理论缺陷和共同存在的问题;总结影响现有蜂窝系统移动终端定位性能的根本原因是视距传播的假定,并对现有蜂窝定位技术进行详细综述和比较,说明这些技术各自的优缺点,为提出射线跟踪定位理论奠定基础;介绍了位置服务的相关内容,包括LBS的概念及它的技术体系,以及它的实现过程;还介绍了射线跟踪定位理论与方法,考察区域的划分包括基于Voronoi-图的划分和基于规则网格划分;另外,对移动通信系统电波传播特性包括电磁波传播基础、高频场几何光学近似、几何绕射理论基础、一致性绕射系数计算方法与选择等也进行了介绍,这些都是射线跟踪定位计算的理论基础;本书重点介绍射线跟踪定位模



型计算包括模型的建立、模型计算的数据结构、模型计算算法流程和计算结果分析。着重说明射线跟踪定位的优点及其应用方面。最后介绍移动通信系统定位的相关标准。

本书适合于高等院校通信专业、地理信息专业、电磁场与微波技术专业 and 计算机等相关专业的高年级学生和研究生学习参考，也可供致力于无线通信、地理信息系统、电磁场与微波技术研究的高校教师，研究所或公司研究人员及蜂窝网络工程技术人员参考使用。

作者近年来在移动通信系统终端射线跟踪定位领域的研究工作受到国家 863 计划项目、重庆市教育委员会科学技术研究项目、重庆市科学技术委员会科学技术研究项目、重庆邮电大学博士启动基金项目和重庆邮电大学出版基金项目的支持，特此致谢。感谢重庆邮电大学谢显中教授、田增山副教授对本书出版的关心和指导。重庆邮电大学研究生叶玮、邓思兵、褚静静、黄冬黎，以及中韩合作重庆空间信息系统研究所的研究生李恭伟、董琰、刘婷、魏来做了部分文字录入、图形编辑和排版等工作，作者在此一并表示感谢。

鉴于时间仓促、作者水平有限，加之定位技术的发展日新月异，书中难免有疏漏甚至不当之处，恳请读者批评指正。

作 者  
2007 年 1 月

# 目 录

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 第 1 章 绪论                | (1)  |
| 1.1 移动终端定位技术概述          | (2)  |
| 1.1.1 根据定位策略分类          | (3)  |
| 1.1.2 根据定位标准分类          | (4)  |
| 1.1.3 根据定位原理分类          | (5)  |
| 1.2 移动终端定位的概念和用途        | (7)  |
| 1.3 移动终端定位的基本技术和基本实现方式  | (10) |
| 1.3.1 移动终端定位的基本技术       | (10) |
| 1.3.2 移动终端定位的基本实现方式     | (19) |
| 1.4 移动终端定位国内外研究现状及其技术难点 | (20) |
| 1.4.1 移动终端定位国内外研究现状     | (20) |
| 1.4.2 移动终端定位的主要技术难点     | (22) |
| 1.5 本书主要研究内容、创新点和组织框架   | (24) |
| 本章小结                    | (25) |
| 参考文献                    | (25) |
| 第 2 章 现有移动终端定位方法分析比较    | (34) |
| 2.1 现有各种定位方法的分析比较       | (34) |
| 2.1.1 Cell-ID 定位        | (34) |
| 2.1.2 场强模型定位            | (36) |
| 2.1.3 到达时间定位            | (37) |
| 2.1.4 到达时间差 (TDOA) 定位   | (38) |
| 2.1.5 增强观测时间差分定位        | (40) |
| 2.1.6 到达角度定位            | (42) |
| 2.1.7 指纹信号定位            | (44) |
| 2.1.8 卫星定位              | (45) |
| 2.1.9 混合定位              | (48) |
| 2.1.10 数据融合定位           | (52) |
| 2.1.11 其他定位方法           | (53) |
| 2.1.12 不同定位方法的比较        | (56) |
| 2.2 定位系统与定位技术           | (57) |
| 2.2.1 定位系统和定位技术的选择      | (57) |
| 2.2.2 当前移动定位技术的两大研究热点   | (58) |
| 2.2.3 影响定位精度的几个主要因素     | (58) |
| 本章小结                    | (61) |

|                                                   |             |
|---------------------------------------------------|-------------|
| 参考文献 .....                                        | (61)        |
| <b>第3章 基于位置的服务 .....</b>                          | <b>(63)</b> |
| 3.1 LBS 的概念 .....                                 | (64)        |
| 3.1.1 LBS 的起源 .....                               | (64)        |
| 3.1.2 LBS 的概念 .....                               | (65)        |
| 3.2 LBS 的技术体系 .....                               | (66)        |
| 3.2.1 MAGIC 组织及其技术体系 .....                        | (66)        |
| 3.2.2 LIF 论坛及其技术体系 .....                          | (67)        |
| 3.2.3 OGC 联盟 OpenLS 及其技术体系 .....                  | (69)        |
| 3.2.4 G-XML 技术规范及其技术体系 .....                      | (71)        |
| 3.2.5 Compaq Discovery Location System 解决方案 ..... | (73)        |
| 3.3 LBS 的实现过程 .....                               | (73)        |
| 3.3.1 定位过程 .....                                  | (73)        |
| 3.3.2 其他的 LBS 解决方案 .....                          | (76)        |
| 3.4 产业前景 .....                                    | (77)        |
| 本章小结 .....                                        | (78)        |
| 参考文献 .....                                        | (79)        |
| <b>第4章 射线跟踪定位的原理与方法 .....</b>                     | <b>(80)</b> |
| 4.1 射线跟踪方法简介 .....                                | (80)        |
| 4.2 正向射线跟踪 .....                                  | (81)        |
| 4.2.1 射线的划分 .....                                 | (82)        |
| 4.2.2 射线的跟踪 .....                                 | (84)        |
| 4.2.3 射线的接收 .....                                 | (89)        |
| 4.3 反向射线跟踪 .....                                  | (91)        |
| 4.4 两种射线跟踪方法的比较 .....                             | (93)        |
| 4.5 射线跟踪加速技术 .....                                | (94)        |
| 4.5.1 包围体树分区 .....                                | (94)        |
| 4.5.2 二叉树分区 .....                                 | (96)        |
| 4.5.3 八叉树分区 .....                                 | (100)       |
| 4.5.4 立方体阵列分区 .....                               | (101)       |
| 4.5.5 角度分区 .....                                  | (103)       |
| 4.6 射线跟踪的基本算法 .....                               | (111)       |
| 4.6.1 求交计算 .....                                  | (112)       |
| 4.6.2 法向量计算 .....                                 | (118)       |
| 4.6.3 反射与折射方向计算 .....                             | (119)       |
| 4.7 射线跟踪定位数据库 .....                               | (120)       |
| 4.7.1 几何模型 .....                                  | (120)       |
| 4.7.2 形态模型 .....                                  | (121)       |



|            |                              |              |
|------------|------------------------------|--------------|
| 4.7.3      | 多面体面模型 .....                 | (121)        |
| 4.7.4      | 地理信息系统数据库 .....              | (123)        |
| 4.7.5      | 序列-位置数据库 .....               | (124)        |
| 4.8        | 匹配定位 .....                   | (126)        |
|            | 本章小结 .....                   | (127)        |
|            | 参考文献 .....                   | (127)        |
| <b>第5章</b> | <b>考察区域的划分 .....</b>         | <b>(129)</b> |
| 5.1        | 基于 Voronoi-图划分 .....         | (129)        |
| 5.1.1      | Voronoi-图的概念 .....           | (130)        |
| 5.1.2      | Voronoi-图的特性 .....           | (134)        |
| 5.1.3      | Voronoi-图的生成算法 .....         | (138)        |
| 5.1.4      | Voronoi-图在移动终端定位中的具体应用 ..... | (150)        |
| 5.1.5      | Voronoi-图引入移动终端定位的优点 .....   | (151)        |
| 5.2        | 基于规则网格划分 .....               | (152)        |
| 5.2.1      | 正方形网格划分 .....                | (152)        |
| 5.2.2      | 基于等扇形角等分同心圆半径网格划分 .....      | (152)        |
|            | 本章小结 .....                   | (153)        |
|            | 参考文献 .....                   | (153)        |
| <b>第6章</b> | <b>射线跟踪定位的理论基础 .....</b>     | <b>(155)</b> |
| 6.1        | 电磁理论 .....                   | (155)        |
| 6.1.1      | 麦克斯韦方程 .....                 | (155)        |
| 6.1.2      | 边界条件 .....                   | (156)        |
| 6.1.3      | 波动方程 .....                   | (157)        |
| 6.1.4      | 矢量位与标量位 .....                | (158)        |
| 6.1.5      | 电磁波的辐射 .....                 | (159)        |
| 6.1.6      | 电磁波的传播 .....                 | (160)        |
| 6.2        | 几何光学理论 .....                 | (162)        |
| 6.2.1      | 几何光学基本原理 .....               | (165)        |
| 6.2.2      | 高频场的射线光学结构 .....             | (167)        |
| 6.2.3      | 电磁场的射线光学结构 .....             | (175)        |
| 6.2.4      | 曲面的反射 .....                  | (178)        |
| 6.3        | 几何绕射理论 .....                 | (184)        |
| 6.3.1      | 绕射射线与绕射系数 .....              | (185)        |
| 6.3.2      | 边缘绕射 .....                   | (187)        |
| 6.3.3      | 曲面绕射 .....                   | (192)        |
| 6.3.4      | 尖顶绕射 .....                   | (196)        |
| 6.3.5      | 一致性绕射理论 .....                | (196)        |
|            | 本章小结 .....                   | (206)        |

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| 参考文献 .....                           | (206)        |
| <b>第 7 章 射线跟踪定位的模型计算 .....</b>       | <b>(208)</b> |
| 7.1 射线传播环境建模 .....                   | (208)        |
| 7.1.1 AutoCAD .....                  | (208)        |
| 7.1.2 3DS MAX .....                  | (213)        |
| 7.1.3 OpenGL .....                   | (214)        |
| 7.2 模型计算的数据结构 .....                  | (216)        |
| 7.3 模型计算的算法流程 .....                  | (218)        |
| 7.4 模型计算实例与结果分析 .....                | (219)        |
| 7.4.1 模型计算实例 .....                   | (219)        |
| 7.4.2 同其他定位技术的比较 .....               | (221)        |
| 7.4.3 同其他定位技术的混合 .....               | (223)        |
| 7.4.4 数据融合定位的优势分析 .....              | (223)        |
| 7.5 场强时延到达角序列定位实施方案 .....            | (224)        |
| 本章小结 .....                           | (224)        |
| 参考文献 .....                           | (225)        |
| <b>第 8 章 Voronoi-图及射线跟踪的应用 .....</b> | <b>(226)</b> |
| 8.1 Voronoi-图的应用 .....               | (226)        |
| 8.1.1 图形与图像上的应用 .....                | (226)        |
| 8.1.2 在几何形体重构中的应用 .....              | (227)        |
| 8.1.3 在物理、化学和分子生物学中的应用 .....         | (228)        |
| 8.1.4 在机器人运动规划中的应用 .....             | (229)        |
| 8.1.5 Voronoi-图在数值分析方面的应用 .....      | (229)        |
| 8.1.6 在移动通信领域的应用 .....               | (232)        |
| 8.1.7 其他应用 .....                     | (234)        |
| 8.2 射线跟踪的应用 .....                    | (235)        |
| 8.2.1 射线跟踪在通信领域的应用 .....             | (235)        |
| 8.2.2 在医学上的应用 .....                  | (239)        |
| 8.2.3 在城市电波预测中的应用 .....              | (244)        |
| 本章小结 .....                           | (246)        |
| 参考文献 .....                           | (247)        |
| <b>第 9 章 移动终端定位标准 .....</b>          | <b>(251)</b> |
| 9.1 第三代移动通信 .....                    | (251)        |
| 9.1.1 TD-SCDMA .....                 | (251)        |
| 9.1.2 WCDMA .....                    | (253)        |
| 9.1.3 CDMA2000 .....                 | (254)        |
| 9.1.4 3GPP 简介 .....                  | (256)        |

|       |                  |       |
|-------|------------------|-------|
| 9.2   | 3GPP .....       | (259) |
| 9.2.1 | 基本概念 .....       | (259) |
| 9.2.2 | 基于位置服务功能需求 ..... | (260) |
| 9.2.3 | 信令及接口 .....      | (263) |
| 9.2.4 | 定位流程 .....       | (266) |
| 9.3   | 3GPP2.....       | (284) |
| 9.3.1 | 信息传输协议 .....     | (284) |
| 9.3.2 | 移动台流程 .....      | (290) |
| 9.3.3 | 基站流程 .....       | (307) |
|       | 本章小结 .....       | (325) |
|       | 参考文献 .....       | (325) |
|       | 缩略语表 .....       | (326) |

# 第1章 绪 论

自从1996年6月美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)颁布了E911(Emergency call '911')定位需求<sup>[1,2]</sup>,要求在2001年10月1日前,各种无线蜂窝网络必须能对发出E-911紧急呼叫的移动终端提供精度在125 m内的基于位置的服务(Location-Based Services, LBS, 有的文献叫LoCation Service, LCS),而且满足这个定位精度的概率不小于67%,在2001年以后,基于位置的服务系统必须提供更高的定位精度和三维位置信息<sup>[3-9]</sup>,西方发达国家掀起了一个LBS研究热潮<sup>[10-30]</sup>,近几年这股热潮传遍了全世界,越来越多的人在关注基于位置的服务的发展动态。

1998年美国FCC又提出了定位精度为400 m,准确率不低于90%的服务要求。1999年12月FCC99-245对E911要求进一步细化,对网络设备和移动终端生产厂商、网络运营商等的定位技术在网络设备和移动终端中的实施和支持提出了明确的要求和日程安排<sup>[31-33]</sup>。在定位精度方面的具体规定是:对基于网络的定位方案,要求对67%的呼叫精度不低于100 m,95%的呼叫精度不低于300 m;对基于移动终端的定位方案,要求对67%的呼叫精度不低于50 m,95%的呼叫精度不低于150 m。尽管到2001年10月1日,由于技术实现的难度,LBS没有达到美国FCC定位精度为125 m,满足这个定位精度的概率不小于67%的要求<sup>[34]</sup>。但是,美国FCC的这一规定明确了提供E911基于位置的服务将是今后各种移动通信网络,特别是3G(3rd Generation)网络必备的基本功能,推动了一个产业和市场的产生与发展。其他国家和地区,如欧洲、日本、韩国等相关组织也作了相类似的规定,而且在很多方面达成了一致。由于LBS的研究实施及政府的强制性要求和巨大市场利润的驱动,国外出现了研究移动通信系统终端定位技术的热潮<sup>[35-68]</sup>。因为移动通信系统终端定位是LBS三大关键技术<sup>[68]</sup>(移动定位技术、通用基础平台集成技术和移动终端技术)之一的前提和基础,国内近几年也有少数单位和个人开始研究移动通信系统终端定位。

随着时代的发展,人们的活动范围越来越大,而且越来越不确定。这种移动性和不确定性带来了移动通信市场新的挑战的同时也为位置服务的开展和扩大提供了良好机遇。鉴于对位置业务未来发展前景的良好预期,作为移动通信网提供的增值业务,基于用户位置的服务已经受到了世人的瞩目,全球各大通信运营商都正在积极部署这项极具潜力的增值业务。2005年全球LBS市场大约20亿美元,规模还不是很大。预计今后几年,全球LBS运营市场将进入高速发展阶段,年平均增幅在81%左右。

2001年,中国移动就在福建进行了基于Cell-ID技术的LBS业务的试验。其LBS服务主要面向行业用户,如医疗紧急救援、城市交通管理、公安执法等,同时它也在逐步拓展个人用户市场。2006年初,中国移动在北京、天津、湖北、辽宁四个省市推出了“手机地图”的业务。截止到2006年6月,除少数地区外,中国移动在二十多个省市开通了基于位置的服务。中国联通也于2003年12月在北京启动了“关爱之星”定位业务,为老年人、儿童等提供安全保障。2004年,中国联通与高通公司及国内外手机厂商和应用内容提供商等,在广州、上海和北京三地推出“联通无限、定位激情”活动。2005年,中兴通讯与高通公司签订了GPSOne

定位技术全球转让协议。据此协议,中兴通讯可以在全球市场推广基于 CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000)、WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 及 GSM (Global System for Mobile communications) 网络的 GPSOne 定位系统,中兴通讯由此成为唯一一家获得高通此项授权的中国通信制造企业。这意味着中国企业即将在全球高端定位领域展开竞争,并将为全球产业格局带来新的变化。到 2006 年,联通的所有省市(区)公司均已推出移动定位服务。2005 年下半年,山东省青岛市网通公司推出了能定位的“关爱精灵”小灵通业务。这样,GSM、CDMA (Code Division Multiple Access)、PHS (Personal Handy phone System) 均已实现移动定位的商业化,定位服务也进一步由物流管理、交通调度、医疗救援、野外勘探等行业应用领域,逐步走向大众化、普及化。中国经济实力的平稳增长,为加大电信基础设施投资力度创造了条件;3G 网络的建设和移动定位技术的日臻完善,将会使移动定位服务质量得到大幅度提升。

随着 LBS 和蜂窝无线定位研究的深入,以及相关技术如 3S (GIS (Geographic Information System)、GPS (Global Positioning System)、RS (Remote Sensing))、计算机和移动终端技术的发展,在网络系统中准确确定移动终端位置的重要性和必要性逐渐体现出来。基于位置的服务种类越来越多,服务范围越来越广,有些国家批准了一些与 LBS、无线移动终端定位有关的科研项目,有些大的移动通信公司也开始了相关研究。作者正是在这种背景下和大量调研的基础上,选择了基于射线跟踪蜂窝系统移动终端定位作为主要研究课题。

## 1.1 移动终端定位技术概述

基于位置的服务,就是基于地理位置数据而开展的服务。移动定位服务则是指为移动人群提供位置服务,由于服务对象是移动的,通常需要借助移动运营商的网络进行信息的交互。手机定位则是移动定位的一种,其定位服务的终端为手机,即利用移动通信网的某些特性对手机所处位置进行定位及信息服务。定位系统包括定位平台提供商、定位终端提供商、GIS 引擎提供商、地图数据提供商、系统开发商、应用平台运营商、服务提供商和内容提供商。某个厂商可能位于一个环节,也可能同时位于多个环节。例如,若某个厂商既提供地图平台又提供地图数据,它就同时位于产业链上的多个环节。产业链上的每个环节都不是孤立的,它们之间存在着各种各样的关系,由此也导致了許多合作模式的出现。位置服务分为个人应用和行业应用两大类,针对个人的定位服务是 LBS 中非常重要的业务品种,由于手机的普及及其随身携带的特点,使得针对个人的 LBS 业务具有非常好的基础。针对个人的移动定位服务主要有紧急援助、导航与定位、公交线路与换乘、跟踪监控、周边信息查询、娱乐游戏等。相比个人应用,行业应用业务模式与目标客户都更为清晰,但针对行业的应用目前发掘还不够,随着移动定位精度的提高和终端成本的降低,行业的应用前景将更为广阔。LBS 针对行业的应用主要有物流行业、交警与公安等,各行各业及同行业内不同的单位之间需求是不同的,运营商及 SP 需要根据客户的需求设计出满足客户需求的解决方案、业务流程及资费方案。

所谓定位,是指确定某一时刻地球表面的特定物体在某种参考坐标系中的位置。传统的定位技术与导航系统密不可分。移动定位技术包括无线移动定位技术和惯性定位技术<sup>[69]</sup>。惯性定位技术比较成熟,不属本书研究范畴,在此不做讨论。但随着 LBS 的研究发展,现在有单位(如北京城际在线公司)准备把无线移动定位技术和惯性定位联合使用,为 LBS 提

供定位信息。无线定位技术是基于全球移动通信系统 GSM (Global System for Mobile Communications)、封包无线数据服务 GPRS (General Packet Radio Service)、通用无线通信系统 UTMS (Universal Mobile Telecommunication System)、码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access) 等移动通信系统或全球定位系统 GPS<sup>[70-97]</sup> (Global Positioning System)、GLONASS<sup>[32,73,76]</sup> (Global Orbiting Navigation Satellite System)、伽利略<sup>[79]</sup> (Galileo)、我国的北斗双星<sup>[75,80,98-100]</sup>等卫星定位系统上,通过检测移动终端和基站之间无线电波传播信号的特征参数(信号场强、传播时间或者时间差、信号入射角等),再根据有关的定位算法来估计移动终端的几何位置。无线移动定位技术根据不同的分类标准可以有多种分类方法。

### 1.1.1 根据定位策略分类

从移动通信系统的定位策略来看,可以分为基于移动终端的定位技术和基于网络的定位技术及混合定位技术等几类<sup>[69]</sup>。

#### 1. 基于移动终端的定位技术

基于移动终端的定位技术是指由移动终端根据接收到的多个已知位置发射基站发射的携带有某种与移动终端位置有关的特征信息(信号场强、传播时间、传播时间差等)信号,计算出自己所处的几何位置。移动终端可以自行确定自己的当前位置,也称为移动终端的自定位,在蜂窝网络中又叫做前向链路定位。该技术便于保护移动终端用户的隐私(即用户当前的位置信息)不受侵犯,但是要求移动终端有较强的计算能力和持久的供电能力。这种技术包括 GPS、A-GPS (Assisted-GPS 或叫差分 GPS) 和 E-OTD (Enhanced Observed Time Difference) 等。其技术难点是如何提高定位的速度和精度,特别是如何解决 GPS 接收机在城市峡谷接收不到 GPS 信号或 GPS 信号太弱地区的定位问题。

#### 2. 基于网络的定位技术

基于网络的定位技术是指根据多个固定基站测量到的与移动终端位置有关的特征信息数据来推算移动终端所处的几何位置。基于网络的定位技术主要由网络系统收集待定位移动终端的信息并计算移动终端的当前位置,在蜂窝网络中又叫做反向链路定位技术。该技术要求待定位移动终端发送或广播一些特定信号,网络系统负责收集这些信号,并担负起定位计算任务。在实际应用中,通过一些策略控制,可以有效地保护用户的隐私。主要包括 CGI-TA (Cell Global Identity-Timing Advance)、上行到达时间 (Up-Link TOA, UL-TOA) 定位技术、信号到达时间差 (Time Difference Of Arrival, TDOA) 定位技术和信号到达角度 (Angle Of Arrival, AOA) 定位技术等。其技术难点是如何降低非视距 (Non Line Of Sight, NLOS) 传播、多径效应和多址干扰等对定位精度的影响。

#### 3. 混合定位技术

混合定位技术是综合标记定位技术中的两种或多种定位技术来对移动终端进行定位。例如综合利用 AOA 和 TDOA 就充分利用了信号到达角度和信号到达时间差,因此具有较高的准确性。混合定位技术的难点是在不增加网络通信量的情况下,综合两种或两种以上定位方法。

### 1.1.2 根据定位标准分类

无线移动终端定位技术应用模式以定位方法为标准来进行划分可以分为如下三类：基于卫星定位的应用模式、基于地面无线电基站定位的应用模式和混合定位应用模式。这种分类方法标准明确，概括性强，易于理解，符合实际应用。

#### 1. 基于卫星定位的应用模式

基于卫星（目前主要是指 GPS）的移动终端定位的应用模式，可以简化为“GPS+GIS+RS+通信”的应用模式。在实际应用中，基于卫星定位的应用模式又可以分为三种模式：GPS 自主导航、GPS 自主导航与监控和 GPS 定位检测管理。GPS 自主导航和 GPS 监控的共同点是移动终端都有手持或车载 GPS 定位设备，有路径规划和路径引导系统。两者的主要区别是 GPS 自主导航没有监控或指挥中心，而 GPS 自主导航与监控有监控或指挥中心。

##### (1) GPS 自主导航

行人 GPS 自主导航：行人指定目标位置，手持终端可以按用户要求，规划最佳路径并实时导航，在手持终端电子地图上实时显示最佳路径和用户当前位置。在转弯、上天桥或下地下人行道时提供语言或符号提示，偏离路径时发出警告并重新规划路径。文献[22][27]介绍的智能导游就属于这种模式的应用。车、船、舰 GPS 自主导航：安装在车、船、舰上的定位导航终端的电子地图上实时显示当前位置，给定起点和终点可以按要求规划最佳路径。交叉口、立交桥处提前引导司机进入正确车道，偏离最佳路径时可以路径重置。根据前方发生事故或塞车等实时交通信息，可以重新规划路径，实现智能导航。

##### (2) GPS 自主导航与监控

行人 GPS 自主导航与监控：把 GPS 微型接收机置于手环、脚环或嵌入其他穿戴物内，监护人可以在家中台式计算机、手提电脑或穿戴式计算机的电子地图上了解被监护人所处的地理位置，根据位置和其他信息提前做出适当处理。GPS 车、船、舰自主导航与监控：利用 GPS 接收机获取救护车、运钞车、警车、消防车、出租车、公交车辆、消防船队、舰队和物流配送车辆的实时位置。指挥调度中心根据车辆的位置和一定的调度策略实时调度各移动单元。各移动单元可以相互通信交换信息。另外，还可以用于军队的营救、伞兵聚集及装甲车辆的管理调度。对于手持终端，可以根据位置信息实行紧急援救。

##### (3) GPS 定位检测管理

利用 GPS，检测特定地点和区域的有关数据（与行业应用有关），通过计算机综合处理，做出适当的管理决策。如智能农业生产：利用安装有 GPS 接收机、计算机和各种传感器的联合拖拉机，可以实时检测土壤质量的各种数据和农作物的生长情况。联合拖拉机会根据 GPS 测定的位置数据和计算机所处理的传感器检测的各种数据，针对不同地块，智能地选择农作物品种和播种密度，施用不同的肥料，喷洒不同的药物。这样既精确合理，又使环境污染降低到最低限度。环境保护、农业、林业、牧业、渔业均可以利用这种 LBS 应用模式。

#### 2. 基于地面无线电基站定位的应用模式

地面无线电的通信方式有 GSM、GPRS、UMTS（Universal Mobile Telecommunication



System)、IS-136、IS-95 等,目前在韩日已实现 3G,将来还有 4G (4th Generation)、5G 等。以 GSM 为例,基于地面无线电基站定位的空间信息移动应用模式可以用“GSM+GIS+RS+通信”表示。通过地面无线电基站计算出移动位置区域,地理位置作为一个主要参数,或主动或由用户请求,激活位置服务网关和位置内容服务器工作,获得用户所需的位置信息与服务。移动黄页属于这种应用模式。蜂窝系统移动终端定位业务平台确定用户所处的位置,根据互联网提供的信息选择用户所在地的相关信息,供用户查询。移动黄页可为用户提供一个地区的最近服务点。例如要查询 2 km 内的餐馆信息,移动终端可按照远近标准列出在这一范围内的餐馆名称、菜谱、价格、订餐电话,电子地图可以显示用户和餐馆的地理位置。蜂窝系统移动定位业务还可以开通位置广告功能,根据用户移动终端所处的位置发送附近商业企业的广告。

### 3. 混合定位应用模式

在室内、城市峡谷等一些接收不到 GPS 信号或 GPS 信号太弱的地方, GPS 就失去了定位作用。为了解决这个问题,一般把基于卫星定位的应用模式和基于地面无线电基站定位的应用模式综合使用,这种应用模式可以用“GPS+GSM+GIS+RS+通信”表示。例如,高通公司的 GPSOne,移动办公系统就属于这种应用模式。移动办公终端除了带有 GPS 外,还集成了数字相机和录像机。移动办公网关服务中心接收、处理移动终端发送来的带有定位信息的影像数据,同时把决策结果分发给相关终端,实现移动办公服务。混合应用模式是目前研究的热点问题。大城市的智能交通系统急需开发利用这种应用模式。

## 1.1.3 根据定位原理分类

从定位原理来看,可以分为基于三角关系的定位技术、基于场景分析的定位技术、基于邻近关系的定位技术。移动终端定位技术的性能优劣,往往由它所遵循的定位原理来决定。

### 1. 基于三角关系的定位技术

这种定位技术根据测量得出的数据,利用几何三角关系计算被测物体的位置,它是最主要的、也是应用最为广泛的一种定位技术。如 GPS 就是以三角测量定位原理来进行定位的。它采用多星高轨测距体制,以接收机至 GPS 卫星之间的距离作为基本观测量。当地面用户的 GPS 接收机同时接收到 3 颗以上卫星的信号后,通过使用伪距测量或载波相位测量,测算出卫星信号到接收机所需要的时间、距离,再结合各卫星所处的位置信息,将卫星至用户的多个等距离球面相交后,即可确定用户的三维(经度、纬度、高度)坐标,以及速度、时间等相关参数。计算经度、纬度至少需要 3 颗卫星,再加一颗就可以计算高度。基于三角关系的定位技术可以细分为两种:基于距离测量的定位技术和基于角度测量的定位技术。

#### (1) 基于距离测量的定位技术

这种定位技术先要测量已知位置的三个参考点与被测物体之间的距离,然后利用三角知识计算被测物体的位置。一般来说,如果要计算被测物体的平面位置(即二维位置),那么需要测量三个非线性的距离数据;同理,如果要计算被测物体的空间位置(即三维位置),那么需要测量四个非线性的距离数据。在具体的应用环境下,需要测量的距离数据数目可能要少一些。

具体说来,距离测量的方法有三种:直接测量方法、传播时间测量方法、无线电波能量衰减测量方法。

### 1) 直接测量方法

这种方法通过物理动作和移动来测量参考点与被测物体之间的距离。

### 2) 传播时间测量方法

在已知传播速度的情况下,无线电波传播的距离与它传播的时间成正比。这种测量方法需要注意的问题有如下几个:

#### ① 无线电波的传播特性

因为无线电波在传播的过程中可能会发生反射、折射、绕射等,而测量端无法区分直接到达的无线电波和经过反射、折射、绕射到达的无线电波,所以容易造成测量的误差。一般的解决方法是多测几次,求出统计意义上的测量值。

#### ② 时钟精度

因为无线电波的传播速度很快,所以为了减小测量误差必须使用高精度的时钟。

#### ③ 时钟同步

参与同一个定位过程的参考点之间必须保证时钟的同步,这样才能保证测量结果的正确性和精度。如果由被测物体自己进行测量,那么被测物体和参与同一个定位过程的参考点必须保证时钟的同步;如果采用测量往返时间的方法,那么只要测量端保证足够的时钟精度即可。

### 3) 无线电波能量衰减测量方法

已知发射电波的强度,在接收方测量收到的电波强度,以此估计出发射电波物体与接收方之间的距离。

实际上,无线电波在空间传播时能量的衰减是多种因素共同作用的结果,而不单单与传播距离有关。具体说来,在一个地形地物较为复杂的环境中,无线电波信号传播时的衰减会受到反射、折射、多径效应等多种因素的影响,所以这种利用能量衰减测量距离的方法不如传播时间测量方法精度高。

## (2) 基于角度测量的定位技术

基于角度的定位技术与基于距离测量的定位技术在原理上是相似的,两者主要的不同在于前者测量的主要是角度,而后者测量的是距离。

一般来说,如果要计算被测物体的平面位置(即二维位置),那么需要测量两个角度。同理,如果要计算被测物体的空间位置(即三维位置),那么需要测量三个角度。基于角度测量的定位技术需要使用方向性天线,如智能天线阵列。

## 2. 基于场景分析的定位技术

这种定位技术对定位的特定环境进行抽象和形式化,用一些具体的、量化的参数来描述定位环境中的各个位置,并用一个数据库把这些信息集成在一起。观测者根据待定位物体所在位置的特征查询数据库,并根据特定的匹配规则确定物体的位置。该数据库也称指纹数据库。

由此可以看出,这种定位技术的核心是位置特征数据库和匹配规则,实质上它是一种模式识别方法。