



Internet of Things

物联网工程与技术规划教材

无线定位系统

梁久楨 编著

电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

物联网工程与技术规划教材

无线定位系统

梁久祯 编著

電子工業出版社



Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

无线定位技术可分为广域网定位技术和无线局域网定位技术,本书全面涉及了这两个方面的内容。广域网定位分为卫星定位和基站蜂窝移动定位;无线局域网定位主要包括 Wi-Fi 定位、ZigBee 定位、UWB 定位、CSS 定位技术等。本书内容涉及无线跟踪定位技术的原理、设计和工程实践,重点介绍了该领域的前沿热门技术,包括无线传播理论、信号探测方法、TOA 测量技术、跟踪算法的性能测评、定位系统的基础理论、常见定位方法、定位精度、传感器网络定位技术、非视距传播技术等。各章内容为:绪论、卫星定位、蜂窝通信网络定位、Wi-Fi 定位、ZigBee 网络定位、UWB 定位技术、CSS 定位。

本书可作为物联网相关专业高年级选修课教材,也可用于相关专业研究生的参考书。

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

无线定位系统 / 梁久祯编著. —北京:电子工业出版社, 2013.2

物联网工程与技术规划教材

ISBN 978-7-121-19445-0

I. ①无… II. ①梁… III. ①无线电定位—高等学校—教材 IV. ①TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 011395 号

策划编辑: 章海涛

责任编辑: 周宏敏

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

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: 787×1092 1/16 印张: 13.75 字数: 380 千字

印 次: 2013 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 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, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着微电子技术、通信技术和计算机技术的快速发展,无线定位作为传感网和物联网的重要应用,越来越受到人们的关注,与此相关的理论和技术在学术界引起研究热潮。近年来,国内外出现了大量的文献展开对无线定位方面的研究,主要围绕无线定位系统的精度、实时性、稳定性、低功耗、低成本等方面进行研究并取得了一系列重要研究成果。但是在国内学术界和教育界系统介绍这些研究成果与内容的图书还比较少见,为了进一步系统开展这方面的研究和人才培养,急需出版系统介绍无线定位系统方面的图书。

2010年教育部为了应对国家战略发展新兴产业对人才需求方面的需要,批准率先在35所高校开设物联网工程和传感网技术专业,同时也对我国新一代信息技术人才培养提出了新的要求。作为教育部物联网工程专业“卓越工程师”培养示范单位,深感有义务和责任为物联网工程专业编写新的教材和参考书,特别是专业核心课程与专业方向选修课程的参考教材丛书。在这样一个实际需求和专业建设背景的推动之下,我们结合自己的研究工作,选择编写了这本无线定位方面的参考教材。

作为物联网技术应用的重要技术之一,无线定位系统有着极其现实的应用价值和市场需求。江南大学物联网技术应用教育部工程研究中心将无线定位作为其中的一个重要研究方向,在研究中心的技术平台和各方面资源支持下,无线定位研究小组经过两年多深入细致的准备工作,包括内容选材、应用案例、实验验证、习题组织、统筹编排等,基本完成了书稿第一版本的撰写工作。同时本教材作为物联网工程专业3年级第2学期的专业选修课讲义,于2013年春季开始试用,书中所有案例和大部分习题经过了实验验证。

全书分为7章,内容涉及无线跟踪定位技术的基本概念、原理、设计和工程实践,重点介绍了该领域的前沿热门技术内容,包括无线传播理论、信号探测方法、TOA测量技术、跟踪算法的性能测评、定位系统的基础理论、常见定位方法、定位精度、传感器网络定位技术、非视距传播技术等。本书内容主要基于研究小组近年来在无线定位方面的研究工作及研究生开展无线定位研究的成果,各章内容主要包括:绪论、卫星定位、蜂窝通信网络定位、Wi-Fi定位、ZigBee网络定位、UWB定位技术、CSS定位。书中不但包括了对经典算法的描述、数学公式推导等,也提出了一些算法的改进,还给出了大量作者或研究生参与完成的实验操作与应用系统等。

参与编写本书的人员有:梁久祯、林浩、薛猛、盛开元、郑栋、钱雪忠。其中梁久祯主要负责全书内容选材、统稿和第1~3章的编写,林浩负责第4章的编写,薛猛负责第5章的编写,盛开元负责第6章的编写,郑栋负责第7章的编写,钱雪忠负责全书的审稿。本书在编写过程中得到了教育部工程研究中心(物联网技术应用)实验平台的支持,江苏省优势学科(物联网工程与技术)研究平台的支持,物联网工程专业教育部“卓越工程师”培养计划示范单位的支持,在此对所有支持单位和个人表示感谢!还有电子工业出版社章海涛老师的勉励和支持,特别是周宏敏老师的编辑工作,在此对他们的辛勤工作表示感谢。

本书为任课教师提供配套的教学资源(包含电子教案),需要者可登录华信教育资源网站(<http://www.hxedu.com.cn>),注册之后进行免费下载或发邮件到 unicode@phei.com.cn 咨询。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 无线定位系统的历史与现状	1
1.1.1 无线定位的起源	1
1.1.2 无线定位发展现状	2
1.1.3 无线定位系统的应用	4
1.2 无线定位系统的基本分类	5
1.2.1 卫星定位系统	5
1.2.2 蜂窝定位系统	6
1.2.3 无线局域网定位系统	6
1.3 无线定位系统的主要研究内容	7
1.3.1 无线定位算法及性能评价	8
1.3.2 无线网络协议	8
1.3.3 无线定位系统相关技术	10
1.4 本书的内容编排	11
习题	11
参考文献	12
第2章 卫星定位	13
2.1 卫星定位测量基础	13
2.1.1 卫星定位系统概述	13
2.1.2 卫星定位系统空间与时间系统	15
2.1.3 卫星运行轨道及受摄运动	16
2.2 卫星信号及测量原理	17
2.2.1 卫星信号成分与调制技术	17
2.2.2 导航电文格式	19
2.2.3 卫星星历	20
2.2.4 卫星信号接收机工作基本原理	20
2.3 卫星定位方法及定位误差	22
2.3.1 静态定位	22
2.3.2 动态定位	23
2.3.3 定位误差	24
2.4 卫星定位应用实例	25
2.4.1 系统总体设计方案	25
2.4.2 车辆调度中心设计	27
2.4.3 智能终端设计	28
习题	30
参考文献	30

第 3 章 蜂窝通信网络定位	31
3.1 蜂窝技术概述	31
3.1.1 蜂窝技术的需求与发展	33
3.1.2 现有蜂窝定位技术	33
3.2 蜂窝定位方法与误差	34
3.2.1 基本定位方法	34
3.2.2 误差来源	38
3.3 GSM 网络的电波特征与定位实例	39
3.3.1 GSM 网络电波特征值	39
3.3.2 基于手机定位的交通 OD 数据获取技术	40
习题	47
参考文献	47
第 4 章 Wi-Fi 定位	48
4.1 Wi-Fi 基础	48
4.1.1 IEEE 802.11 系列标准概述	48
4.1.2 Wi-Fi 网络成员与结构	50
4.1.3 Wi-Fi 信道	51
4.1.4 Wi-Fi MAC 帧格式	51
4.1.5 Wi-Fi 扫描	53
4.2 无线信道：传播与衰落	55
4.2.1 概述	55
4.2.2 大尺度衰落	56
4.2.3 小尺度衰落	58
4.3 位置指纹法	59
4.3.1 概述	59
4.3.2 位置指纹数据库	60
4.3.3 搜索空间缩减技术	62
4.3.4 位置估算方法	65
4.3.5 位置估算方法的优化	70
4.4 Loc 定位研究工具集	71
4.4.1 工具集概述	71
4.4.2 Loclib	72
4.4.3 Loctrace	73
4.4.4 Loceva	74
4.4.5 Locana	75
4.5 HTML5 GeoLocation 定位实例	77
习题	81
参考文献	82
第 5 章 ZigBee 网络定位	84
5.1 ZigBee 概述	84

5.1.1	起源	84
5.1.2	技术简介	85
5.1.3	自组网通信	86
5.1.4	ZigBee 产品	87
5.1.5	ZigBee 网络	89
5.2	ZigBee 协议	92
5.2.1	物理层与媒体访问控制层	93
5.2.2	网络层协议及组网方式	94
5.2.3	应用层	96
5.2.4	其他	97
5.3	基于 ZigBee 的 TLM 定位算法	98
5.3.1	定位算法	98
5.3.2	TLM 定位算法设计	99
5.3.3	算法仿真及结果	100
5.4	ZigBee 网络定位应用实现	103
5.4.1	ZigBee 传感网络的建立	103
5.4.2	基于 ZigBee 技术的煤矿井定位系统设计	133
	习题	137
	参考文献	138
第 6 章	UWB 定位技术	139
6.1	UWB 简介	139
6.1.1	UWB 的定义	139
6.1.2	UWB 的发展与现状	140
6.1.3	UWB 技术的主要特点	141
6.1.4	UWB 的关键技术	141
6.1.5	UWB 与其他近距离无线通信技术的比较	144
6.2	UWB 定位技术	145
6.2.1	UWB 的定位方法	145
6.2.2	基于时间的 UWB 测距技术	145
6.2.3	基于时间的 UWB 测距技术的主要误差来源	147
6.2.4	UWB 信号时延估计方法	148
6.2.5	UWB 定位算法实现	152
6.2.6	其他形式的 UWB 定位	155
6.3	UWB 定位应用	156
6.3.1	UWB 定位应用现状	156
6.3.2	UWB 定位应用实例	159
6.3.3	UWB 定位应用进一步研究方向	164
6.4	本章小结	165
	习题	165
	参考文献	166

第 7 章 CSS 定位 168

7.1 CSS 技术概述 168

7.1.1 Chirp 信号与脉冲压缩理论 168

7.1.2 CSS 的发展及技术特点 171

7.1.3 CSS 无线定位技术与其他技术方案的比较 174

7.2 CSS 信号时延估计 177

7.2.1 基于匹配滤波器的时延估计 177

7.2.2 基于高阶累积量的时延估计 178

7.3 非视距传播问题 182

7.3.1 非视距识别 183

7.3.2 非视距误差抑制 186

7.4 CSS 定位应用实现 188

7.4.1 实验平台介绍 188

7.4.2 CSS 测距实验 195

7.4.3 CSS 定位实验 202

习题 207

参考文献 207

第 1 章

绪 论

无线定位是指利用无线电波信号的特征参数估计特定物体在某种参考系中的坐标位置。其最初是为了满足远程航海导航和军事领域精确制导等要求而产生的, 20 世纪 70 年代全球定位系统 (GPS) 的出现使得定位技术产生了质的飞跃, 定位精度可达到数十米范围。近年来, 定位技术开始应用于蜂窝网系统设计、信道分配、切换、E-911 紧急援助、交通监控与管理领域。随着数据业务和多媒体业务的快速增加, 在短距离高速率无线通信的基础上, 人们对位置信息感知的需求也日益增多, 尤其在复杂环境中, 如机场大厅、展厅、仓库、超市、图书馆、地下停车场、矿井等, 常常需要确定移动终端或其持有者、设施与物品的位置信息, 进而用于监控管理、安全报警、指挥调度、物流、遥测遥控和紧急救援等需求。然而, 由于信号极易受到遮挡和多路径等传播因素的影响, 在城市密集城区和室内封闭空间无法保证有效覆盖, 因此对短距离高精度无线室内定位技术的研究和标准化工作可为最终实现室内外定位的平滑过渡和无缝连接提供有力的技术支持。

1.1 无线定位系统的历史与现状

1.1.1 无线定位的起源

20 世纪 80 年代以来, 随着人们对智能交通运输系统的需要及蜂窝移动通信系统的出现, 对无线电定位技术有了新的要求。美国在 1991 年开始实施的智能运输系统通信标准中, 提出了通过移动通信网提供定位业务的要求。1996 年, 美国联邦通信委员会 (FCC, Federal Communications Commission) 强制要求所有无线业务提供商, 在移动用户发出紧急呼叫时, 必须向公共安全服务系统提供用户的位置信息和终端号码, 以便对用户实施紧急救援工作, 并要求到 2001 年 10 月, 67% 的呼叫定位精度达到 125 m。该委员会于 1998 年、1999 年两次对标准进行了修改与补充, 1998 年提出了定位精度在 400 m 以内的概率不低于 90% 的服务要求, 1999 年 12 月, FCC99-245 将 E-911 的需求做了进一步的修改和细化, 不仅对网络设备和手机生产商、网络运营商等对定位技术在网络设备和手机中的实施和支持提出了明确要求和目标安排, 而且根据定位的类型不同, 对定位精度做出了更明确的规定: 基于蜂窝网络的定位, 要求定位精度在 100 m 以内的概率不低于 67%, 在 300 m 以内的概率不低于 95%; 基于移动台的定位, 要求定位精度在 50 m 以内的概率不低于 67%, 150 m 以内的概率不低于 95%。到 2001 年 10 月 1 日, 由于技术实现的难度, 定位精度并没有达到 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, 但是 FCC 的这一规定明确了提供 E-911 定位服务将是今后各种蜂窝网络,

特别是 3G (3rd-generation, 第三代移动通信技术) 网络必备的基本功能。此外, 欧洲和日本也在计划满足相应的要求^[4]。

由于政府的强制性要求和市场本身的驱动, 各国主要大公司均就 GSM、IS-95 和 3G 等网络开始制定各自的定位实施方案。特别是 3GPP (3rd Generation Partnership Project, 第三代合作伙伴计划) 和 3GPP2 上对定位的要求更具体化, 促使国际上出现了基于蜂窝网络的无线定位技术的研究热潮。从检索的国际最新研究资料来看, 目前虽然出现了一些新的定位方法和技术, 但若仅依赖于蜂窝网络资源 (即不改动移动终端), 要完全满足 E-911 定位需求的要求还有一定差距, 特别是要求在不影响系统其他主要性能指标的前提下高效、可靠地提供对移动台的定位功能还有许多问题有待深入研究^[5]。

1.1.2 无线定位发展现状

自 E-911 定位需求颁布以来, 移动台定位技术在国外受到高度重视和深入研究, 近来在 IEEE 有关期刊和会议上, 特别是在 VTC 上发表了大量研究论文, 也出现了不少定位技术的发明专利及一些专门从事定位技术与开发的公司。各大跨国公司, 如 Motorola、Nokia、QUALCOMM、Samsung 等, 积极开展对基于 GSM、IS-95 和第三代移动通信系统中 WCDMA 和 CDMA2000 等网络采用的定位技术的研究。目前, 研究的内容涉及蜂窝网络移动台定位技术的方方面面, 并且侧重于如下研究: 基本定位方法和技术的研究, 定位算法的研究, TDOA/TOA 检测技术的研究, 抗非视距传播, 多径和多址干扰技术的研究, 数据融合技术的研究, 定位技术实施方法的研究, 定位系统的性能评估等^[6]。

近年来, 世界各国都在这方积极开展研究, 美国更在这一领域占据先机。休斯公司、利顿公司和美国空军实验室等部门在这一领域做了大量、有效的研究工作, 基本完成定位与跟踪的理论基础研究, 已经进入到飞行试验和工程应用的阶段。美国洛克希德-马丁公司的“沉默的哨兵”系统以及英国防御研究局研究的利用信号的无源探测定位系统是其中的突出代表。“沉默的哨兵”系统自身不发射电磁信号, 而是利用商业 FM 广播信号和 TV 信号对空中目标进行探测和定位, 不仅消除了常规低频雷达在探测目标时来自 TV 广播、FM 无线电台和蜂窝电话发射台的干扰, 而且具有与 C 波段跟踪雷达相当的定位精度。英国防御研究局研究的无源探测定位系统是一种双基系统, 利用英国 BBC 的发射机发射的 TV 信号作为系统的照射源对空中目标进行探测和定位, 以常规方法用卡尔曼滤波器获得多普勒频移和方位信息, 再用扩展卡尔曼滤波器根据所获信息对目标定位和测速。这是一个与美国的“沉默的哨兵”系统完全不同的探测定位系统。此外, 俄罗斯和以色列等国家在无源定位与跟踪技术方面也都有很多突破。

按照探测目标的方式, 定位技术可以分为有源定位和无源定位。有源定位系统是通过主动发射电磁波来探测目标, 定位精度高但极易受到敌方的干扰和攻击, 特别是反辐射导弹的出现和使用对雷达等有源探测设备的战场生存状况提出了严峻的挑战。为了弥补有源定位方法的缺陷, 人们在积极改进有源定位性能的同时也开始了无源定位问题的探索和研究。因此, 对辐射源的无源定位具有重要的军事意义, 引起世界各国的重视^[7]。

在无线定位系统中, AOA (Angle of Arrival, 到达角度) 定位技术、TOA (Time of Arrival, 到达时间) 定位技术、TDOA (Time Difference of Arrival, 到达时差) 定位技术、FDOA (Frequency Difference of Arrival, 到达频差) 定位技术、AOA/TDOA 联合定位技术和 TDOA/FDOA 联合定位技术等都是常用的基本定位技术。另外, 卡尔曼滤波作为重要的最优估计理论, 也被经常用于动

态目标的跟踪系统中。

当前, 基于无线传感器网络的定位系统所采用的定位方法主要有基于测距 (range-based) 和无需测距 (range-free) 两种。无需测距的系统在硬件成本和功耗上较低, 但是以牺牲定位精度为代价, 在很多精度需求较高的项目中难以应用。基于测距的定位方法目前主要有 RSSI、TOA、TDOA、AOA 等。TDOA 和 AOA 分别利用多个信号到达目标节点的时间差和角度来计算其位置信息, 但这两种方法的硬件系统设备复杂、成本较高, 不适合广泛的实际应用。RSSI 是一种理论上比较理想的算法, 它的原理是根据理论和经验模型, 将传播损耗转化为距离。目前, 国内外均有不少关于基于定位系统的研究, 定位误差为 0.5~1.5 m, 但多为模拟, 少有实际可用的系统产生。TOA 是利用无线信号在两个节点间的传播延时来计算物理距离的一种方法。但是没有改进过的算法对节点间的时钟同步有着苛刻的要求, 而且微小的时钟漂移 (clock drift) 都会转化成为很大的测量误差, 所以一直未被广泛应用^[8]。

UWB (Ultra-WideBand, 超宽带) 脉冲由于具有极高的带宽, 持续时间短至纳秒级, 因而具有很强的时间分辨能力。为了充分利用 UWB 时间分辨能力强的特点, 使用基于信号到达时间估计的测距技术最适合于 UWB 无线定位^[9]。

角度定位在 20 世纪 40 年代就得以应用于电子对抗领域。当时人们利用简单的测向设备对目标进行多次测向, 然后运用人工作图的方式来确定目标位置。一般来说, 辐射源的角度变化慢、范围小, 是最可靠的测量参数之一, 特别是在现代战争高强度复杂电磁环境下, 角度测量参数几乎成为唯一可靠的辐射源参数。因此, 角度定位一直是定位方法研究的主要内容, 人们在角度的定位原理、定位算法、定位精度分析、最佳布站分析、跟踪滤波及虚假定位消除等方面做了大量的工作, 并取得了一定的成果。但是, 由于角度定位方法对测向精度及其敏感以及虚假定位消除等方面的不足, 因此目前角度定位很少单独使用, 通常与其他定位技术联合使用, 以提高定位精度。

时差定位 (即 TDOA) 的研究源于 20 世纪 60 年代, 并在许多方面取得了令人瞩目的成就, 已成为现代高精度无线定位技术中的主要方法之一。时差定位是利用至少三个已知位置的观测站接收到的辐射源信号来确定辐射源的位置, 任意两个观测站采集到的信号到达时间差确定了一个双曲面线, 多个双曲面线相交即可确定目标的位置。由于测时精度的缘故, 现有的无源时差定位要达到的相对定位精度一般采用基线距离长达数十公里的长基线系统。已知的有捷克的 “TAMARA (塔玛拉)” 系统及其改进型 “VERA (维拉)” 系统, 俄罗斯的 VEGA85V6-A 三坐标无源定位系统, 美国的 AN/TRQ-109 移动式无源定位系统, 乌克兰的 “恺甲” 空情监视系统等。以上系统既可用于对机载、地面和海面电磁脉冲辐射源目标进行定位和跟踪, 也可用做空情监视和航管系统的备份设备。

频差定位是收集接收机与目标之间因相对运动而产生的多普勒频移数据来对目标进行定位的一项新技术。任何具有相对运动的辐射源之间都会产生多普勒频率, 这为频差定位提供了先决条件。对于运动目标而言, 我们可以利用目标运动所引起的多普勒频率来确定目标的运动特性和位置; 对于静止目标而言, 我们可以人为地移动接收机使其与目标产生相对运动, 利用运动产生的多普勒频率来确定目标的位置。频差受很多因素的影响, 如载频、接收机平台和辐射源之间的相对位置、相对速度和速度方向等。

基于模式匹配的定位技术和基于指纹信息的定位技术已有大量研究, 在这些定位技术中, 相关信息对位置敏感, 即这些信息能反映位置特征, 通常在训练阶段 (离线阶段) 采集信息后送入数据库存储, 在定位阶段 (在线阶段) 用于估计节点位置坐标。指纹数据库通常由来自不同参考

节点和不同终端节点的接收信号强度构成,当然也可以是诸如平均附加时延、均方根时延扩展、最大附加时延、总接收功率、多径数等参数。该技术面临的主要问题是随着信道和环境的变化,指纹数据库存在不可靠因素,需要不断更新^[1]。

1.1.3 无线定位系统的应用

自 20 世纪 40 年代定位技术初步应用于测绘和军事领域以来,特别是海湾战争以来,人们越来越认识到定位的重大作用。对于军用系统而言,它有助于提高武器的打击精度,为最终摧毁敌方提供有力的保障;就民用系统而言,可以为目标提供可靠的服务,起到安全保障作用。目前,无线定位技术已经广泛应用于社会生活的众多领域,成为各国在军事、国防、科技等领域较量的一个主要场所,也成为衡量一个国家综合实力的重要指标之一。

在军事领域,以目标被动式精确跟踪与定位为主要研究方向的辐射源无源定位技术正受到越来越广泛的重视。所谓无源定位,是指在不发射对目标照射的电磁波的条件下获取目标的位置。通过对辐射源信号的截获和测量,并利用相应的算法求解,无源定位系统即可获得目标的位置和轨迹。相对于雷达等有源探测系统,无源定位系统具有隐蔽性好、抗干扰能力强、作用距离远等优点,这对于提高侦察探测系统在现代化高强度电子战环境下的生存能力具有重要意义,因此被广泛应用于被动声呐、红外跟踪、空间飞行器系统的导航和定位之中。辐射源无源定位技术,因其在电子对抗中的巨大作用而备受重视,是各国重要的研究项目。

在民用领域,无线定位技术被广泛应用于海洋、陆地和空中交通运输的导航,并在地质勘探、资源调查、海洋测绘、海上石油作业、地震预测、气象预报等领域得到广泛应用。近年来,随着蜂窝移动通信技术的迅速发展,蜂窝无线定位技术越来越受到人们的重视。可以预见在未来几年内,基于无线定位技术的移动增值业务将越来越多地走进普通人的生活。

我国定位服务比北美、欧洲和亚太地区的主要移动通信运营商起步晚,2001 年北京移动首开位置服务先河,在国内率先推出手机位置服务业务。随后,中国联通于 2004 年在“定位之星”统一品牌下推出基于高精度定位的业务。2001 年至 2004 年 LBS 在中国的发展始终处于非常缓慢的增长阶段。2005 年至 2007 年是曾被誉为“中国 LBS 年”的高速发展年,但实际情况却再次让人失望,市场并没有出现人们想象中的“井喷”。直到 2010 年我国才真正步入 LBS 稳定发展期。国内的 LBS 应用如下^[10]:

① 车辆导航。用户在车载导航仪的电子地图中设定目的地,车载导航仪通过接收 GPS/GPSOne 获取用户当前位置,在电子地图中显示,根据用户设定的规则为用户提供一条最优路径,并提供语音导航服务。

② 移动梦网。中国移动于 2001 年 5 月推出了移动梦网卡的位置服务,包括 SMS 和 WAP 两种方式。通过移动梦网中的位置服务选项获得以 SMS 形式存在的定位导航服务,文字短信获得用户当前位置,亲朋好友的当前位置,用户周边的饭店、娱乐、商场、加油站、停车场、医院、银行、邮电局等的查找。WAP 方式除了 SMS 的这三项服务外还设置了电子地图显示和行车路线的导航。

③ 定位之星。中国联通于 2004 年推出了基于 CDAM1X 网络的定位之星服务。该服务采用定位技术,可以为用户提供“亲情大搜索”、“导航之星”等多项业务。可以实现城市内或城市间大范围电子地图查找、路线导航、周边信息搜索、电子地图、E-mail 等多种服务。具体服务包括“出行导航”、“地点搜索”、“城市公交”、“行车指南”、“公共设施”等。

④ 亚运会移动资源智能调度系统。2010 年,亚运会期间,广州市推出了“亚运会移动资源

智能调度系统”，该系统覆盖了所有亚运参赛场馆，为所有参会车辆及警务用车提供准确定位、实时状态监控、统一指挥、及时调度和危机处理等服务。

⑤ 切客。切客源自英文 check in，他们是热衷于即时记录生活轨迹的都市潮人，利用移动互联网终端记录自己所在的位置，发现并探索身边的城市，并与他人分享此地的精彩。盛大网络于 2010 年 11 月 5 日启用了切客网的域名，为盛大用户提供切客服务。用户只需要打开手机客户端，手机就会自动识别使用者所在地，在摄像头捕捉到的真实影像旁显示所在地附近的位置信息标签，使用者只需用手指轻点屏幕，即可查找附近的位置信息标签，然后进行签到、发记录、拍照片、抢地主、得游票等一系列操作。

1.2 无线定位系统的基本分类

无线定位系统按照其所能覆盖的范围大小主要有 3 种方式，即卫星定位系统（Global Positioning System, GPS）、基站蜂窝定位系统（GPS+基站）和无线局域网定位系统。

1.2.1 卫星定位系统

卫星定位系统（GPS）即全球定位系统，简单地说，这是一个由覆盖全球的 24 颗卫星组成的卫星系统，可以保证任意时刻在地球上任意一点都可以同时观测到 4 颗卫星，保证卫星可以采集到该观测点的经纬度和高度，以便实现导航、定位、授时等功能。这项技术可以用来引导飞机、船舶、车辆及个人安全、准确地沿着选定的路线准时到达目的地。

GPS 是 20 世纪 70 年代由美国陆海空三军联合研制的新一代空间卫星导航定位系统，主要目的是为陆、海、空三大领域提供实时、全天候和全球性的导航服务，并用于情报收集、核爆监测和应急通信等军事目的，是美国独霸全球战略的重要组成。经过 20 余年的研究实验，耗资 300 亿美元，到 1994 年 3 月，全球覆盖率达 98% 的 24 颗 GPS 卫星星座已布设完成。

GPS 由 3 部分组成：空间部分——GPS 星座；地面控制部分——地面监控系统；用户设备部分——GPS 信号接收机。

GPS 技术具有高精度、高效率 and 低成本的优点，使其在各类大地测量控制网的加强改造和建立以及在公路工程测量和大型构造物的变形测量中得到了较广泛应用。

GPS 的前身为美军研制的一种子午仪卫星定位系统（Transit），1958 年研制，1964 年正式投入使用。子午仪卫星定位系统用 5~6 颗卫星组成的星网工作，每天最多绕地球 13 次，并且无法给出高度信息，在定位精度方面也不尽如人意。然而，子午仪卫星定位系统使得研发部门对卫星定位取得了初步的经验，并验证了由卫星系统进行定位的可行性，为 GPS 系统的研制埋下了铺垫。卫星定位显示出在导航方面的巨大优越性及子午仪卫星定位系统存在对潜艇和舰船导航方面的巨大缺陷，美国海陆空三军及民用部门感到迫切需要一种新的卫星导航系统。

为此，美国海军研究实验室（NRL）提出了名为 Tinmation 的用 12~18 颗卫星组成 10 000 km 高度的全球定位网计划，并于 1967 年、1969 年和 1974 年各发射了一颗试验卫星，在这些卫星上初步试验了原子钟计时系统，这是 GPS 系统精确定位的基础。

美国空军则提出了 621-B 的以每星群 4~5 颗卫星组成 3~4 个星群的计划，这些卫星中除 1 颗采用同步轨道外其余都使用周期为 24 小时的倾斜轨道。该计划以伪随机码（PRN）为基础传播卫星测距信号，功能强大，当信号密度低于环境噪声的 1% 时也能将其检测出来。伪随机码的成

功运用是 GPS 得以取得成功的一个重要基础。海军的计划主要用于为舰船提供低动态的二维定位,空军的计划是提供高动态服务,然而系统过于复杂。由于同时研制两个系统会造成巨大的开支,而且这两个计划都是为了提供全球定位而设计的,所以 1973 年美国国防部将两者合二为一,并由国防部牵头的卫星导航定位联合计划局(JPO)领导,还将办事机构设立在洛杉矶的空军航天处。该机构成员众多,包括美国陆军、海军、海军陆战队、交通部、国防制图局、北约和澳大利亚的代表。

1.2.2 蜂窝定位系统

要在蜂窝网建立能提供位置服务的全套定位系统,不仅需要获取用户位置信息的定位技术,还需要包括实现位置信息传输、治理和处理的功能实体及与服务提供商的软/硬件接口。完整的位置服务解决方案应建立在定位技术的基础上,是能开展定位增值业务的一整套软/硬件系统,主要功能模块包括:

- 位置获取和确定单元。GSM 规范中称为移动定位中心(SMLC),CDMA 规范中称为定位实体(PDE),SMLC/PDE 与多个定位单元(LMU)连接,获得定位参数并计算定位结果。
- 位置信息传输和接口单元。GSM 规范中称为移动定位中心网关(GMLC),CDMA 规范中称为移动定位中心(MPC),通过标准的软/硬件接口,将 SMLC/PDE 收到的定位数据传送到提供定位服务或有定位需求的实体进行处理。
- 基于位置信息的应用服务。即定位服务客户机(LCS Client),主要与 GMLC 或 MPC 连接,提供基于位置信息的各种服务。
- 业务承载平台。如地理信息系统集成,定位结果通常以图形化方式显示,这部分功能由本地电子地图、相关地理信息及相应软件完成。

不同的定位解决方案需要不同的系统软/硬件提供支持,通常采用以下指标衡量定位方案:

- ① 提供完整的端到端位置服务能力;
- ② 对未来移动通信系统的升级能力,包括核心网的接口升级能力及空中接口标准的兼容能力;
- ③ 对定位技术的支持能力、定位精度及定位响应时间;
- ④ 与现有业务平台的集成能力;
- ⑤ 系统对未来业务的适应能力;
- ⑥ 系统软/硬件实现的复杂度;
- ⑦ 系统成本;
- ⑧ 对网络负载的影响。

目前,市场上主要的定位系统提供商(包括诺基亚、爱立信、西门子等国际通信巨头)都利用自己丰富的设备制造经验、强大的系统集成能力、深厚的科研力量和雄厚的资金支持,分别推出了各具特色的移动定位解决方案。典型的定位平台有诺基亚移动定位平台 mCatch/ mPosition、爱立信移动定位系统 MPS 及西门子公司位置服务平台 LR2.0。

蜂窝网络基础设施的完善、移动终端功能的增强、互联网内容的丰富及无线应用的推广正在丰富人们的日常生活,也逐渐改变着人们的生活方式和消费习惯。作为未来移动数据的主要应用之一,基于位置信息的移动数据应用因能提供个性化服务,在世界范围内迅速发展,各种定位技术和定位解决方案不断涌现,但移动通信系统网络结构的复杂性、多种空中接口标准并存的现状及无线电波传播环境的复杂性都增加了实现高精度定位的难度。目前,各种定位技术都有不足,如何寻找精度更高、对网络和终端影响最小的定位技术仍是蜂窝定位研究领域的重要课题。

1.2.3 无线局域网定位系统

无线局域网定位目前主要有 4 种定位技术: ZigBee 定位技术、Wi-Fi 定位技术、UWB 定位技术和 CSS 定位技术。

1. ZigBee 定位技术

ZigBee 是 IEEE802.15.4 协议的代名词。这个协议规定的技术是一种短距离、低功耗的无线通信技术。这一名称来源于蜜蜂的八字舞，蜜蜂 (bee) 是靠飞翔和“嗡嗡”(zig)地抖动翅膀的“舞蹈”来与同伴传递花粉所在方位的信息，也就是说，蜜蜂依靠这样的方式构成了群体中的通信网络。其特点是近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本，适用于自动控制和远程控制领域，可以嵌入各种设备。

简而言之，ZigBee 就是一种便宜的、低功耗的近距离无线组网通信技术。

2. Wi-Fi 定位技术

Wi-Fi 是一种可以将个人计算机、手持设备(如 PDA、手机)等终端，以无线方式互相连接的技术。Wi-Fi 是一个无线网络通信技术的品牌，由 Wi-Fi 联盟 (Wi-Fi Alliance) 所持有，目的是改善基于 IEEE802.11 标准的无线网络产品之间的互通性。基于两套系统的密切相关，也常有人把 Wi-Fi 当做 IEEE802.11 标准的同意词。本书也将混用 Wi-Fi 和 IEEE802.11 这两个名词，请读者注意区分。

3. UWB 定位技术

超宽带 (UWB, Ultra WideBand) 技术是一种使用 1 GHz 以上带宽且无须载波的最先进的无线通信技术，不需要价格昂贵、体积庞大的中频设备，因此冲击无线电系统的体积小、成本低，而且系统发射的功率谱密度可以非常低，甚至低于美国联邦通信委员会 (FCC) 规定的电磁兼容背景噪声电平，所以短距离超宽带无线电通信系统与其他窄带无线电通信系统可以共存。超宽带技术受到越来越多的关注，并成为通信技术的一个热点。

为了用于室内通信，美国联邦通信委员会 (FCC) 已经将 3.1~10.6 GHz 频带向 UWB 通信开放。IEEE802 委员会也已将 UWB 作为 PAN (Personal Area Network) 的基础技术候选对象来探讨。UWB 技术被认为是无线电技术的革命性进展，巨大的潜力使得它在无线通信、雷达跟踪及精确定位等方面有着广阔的应用前景。

4. CSS 定位技术

CSS 即 Chirp Spread Spectrum (线性调频扩频技术)，以前主要用于脉冲压缩雷达，能够很好地解决冲击雷达系统测距长度和测距精度不能同时优化的矛盾。CSS 应用于通信领域开始于 1962 年。Winkler 首先提出把 Chirp 信号应用到通信领域的想法，但是这仅仅是想法，并没有给出完整的系统实现方案。1966 年，Hata 和 Gott 独立地提出基于 CSS 的 HF 传输系统，利用了 CSS 技术对多普勒频移免疫的特性。需要注意的是，当时没有使用声表面波滤波器 (SAW) 来产生 Chirp 信号。1973 年，Bush 首次提出了使用 SAW 产生 Chirp 信号的方法。因为 SAW 是模拟设备，成本低廉，所以被 CSS 通信的研究者们广泛采用。

1.3 无线定位系统的主要研究内容

目前，无线定位系统研究的热点主要集中在定位算法及性能评价、无线网络协议和无线定位系统相关技术三方面。

1.3.1 无线定位算法及性能评价

1. 无线定位的基本原理

对移动台位置的估计通常需要两步：第一步，测量并估计 TOA、TDOA、AOA 或 SS 等参数；第二步，利用估计的参数，采用相应的定位算法计算出 MS 的位置。根据所用参数的不同，无线定位可分为三种方法：圆周定位、双曲线定位和方位角定位。

2. 影响精度的因素

由于移动通信系统的通信环境复杂多变，因此各种依赖于通信信号测量的定位技术都受到各种因素的影响，严重影响了定位精度。影响定位精度的主要因素包括：多径传播问题，非视距传播（NLOS）问题，CDMA 多址接入干扰，以及参与定位的基站数的限制。

3. 衡量定位算法的性能指标

除了通用的估计精度指标，如均方误差（MSE, Mean Square Error）、均方根误差（RMSE, Root Mean Square Error）、累积分布函数（CDF, Cumulative Distribution Function）等，针对定位技术领域对定位结果的评价，也有特殊的评价指标，如克拉美罗下界（CRLB, Cramer-Rao Lower Bound）、圆误差概率/球误差概率（CEP/SEP, Circular Error Probability/Spherical Error Probability）、几何精度因子（GDOP, Geometric Dilution of Precision）、相对定位误差（RPE, Relative Position Error）。

1.3.2 无线网络协议

无线网络协议主要是指 IEEE802 系列的协议，下面就 WLAN 家族成员逐个说明。

1. IEEE802.11a 协议

IEEE802.11a 协议是在 1999 年制定完成的，其主要工作在 5 GHz 的频率下，数据传输速率可以达到 54 Mbps，传输距离为 10~100 m；采用了 OFDM（正交频分多路复用）调制技术，可以支持语音、数据、图像的传输，不过与 IEEE802.11b 协议不兼容。IEEE802.11a 协议凭借传输速度快、受干扰比较少（使用 5 GHz 工作频率）的特点，也被应用于无线局域网。但是因为价格比较昂贵且向下不兼容，所以目前市场上并不普及。

2. IEEE802.11b 协议

IEEE802.11b 协议是由 IEEE 于 1999 年 9 月批准的，该协议的无线网络工作在 2.4 GHz 频率下，最大传输速率可达 11 Mbps，可以实现在 1 Mbps、2 Mbps、5.5 Mbps 及 11 Mbps 之间的自动切换；采用 DSSS（Direct Sequence Spread Spectrum，直接序列展频技术），理论上在室内的最大传输距离可达 100 m，室外可达 300 m。目前，也称 IEEE802.11b 为 Wi-Fi。IEEE802.11b 协议凭借其价格低廉、高开放性的特点被广泛应用于无线局域网领域，是目前使用最多的无线局域网协议之一。在无线局域网中，IEEE802.11b 协议主要支持 Ad Hoc（点对点）和 Infrastructure（基本结构）两种工作模式，前者可以在无线网卡之间实现无线连接，后者可以借助于无线 AP，让所有无线网卡与之无线连接。

3. IEEE802.11e 协议

基于 WLAN 的 QoS 协议，通过 IEEE802.11a/b/g 协议能够进行 VoIP。也就是说，IEEE802.11e

是通过无线数据网实现语音通话功能的协议，将是无线数据网与传统移动通信网络进行竞争的强有力武器。

4. IEEE802.11g 协议

IEEE802.11g 协议于 2003 年 6 月正式推出，是在 IEEE802.11b 协议的基础上改进的协议，支持 2.4 GHz 工作频率及 DSSS 技术，并结合了 IEEE802.11a 协议高速的特点和 OFDM 技术。这样，IEEE802.11g 协议既可以实现 11 Mbps 传输速率，保持对 IEEE802.11b 的兼容，又可以实现 54 Mbps 高传输速率。随着人们对无线局域网数据传输的要求，IEEE802.11g 协议也已经普及到无线局域网中，与 IEEE802.11b 协议的产品一起占据了无线局域网市场的大部分。部分加强型的 IEEE802.11g 产品已经步入无线百兆时代。

5. IEEE802.11h 协议

IEEE802.11h 是 IEEE802.11a 的扩展，目的是兼容其他 5 GHz 频段的标准，如欧盟使用的 HyperLAN2。

6. IEEE802.11i 协议

IEEE802.11i 是新的无线数据网安全协议，已经普及的 WEP 协议中的漏洞将成为无线数据网络的一个安全隐患。IEEE802.11i 提出了新的 TKIP 协议，来解决该安全问题。

7. IEEE802.11n 协议

为了实现高带宽、高质量的 WLAN 服务，使无线局域网达到以太网的性能水平，IEEE802.11 任务组 N (TGn) 应运而生。IEEE802.11n 标准至 2009 年才得到 IEEE 的正式批准，但采用 MIMO OFDM 技术的厂商已经很多，包括 D-Link、Airgo、Bermali、Broadcom 及杰尔系统、Atheros、思科、Intel 等，产品包括无线网卡、无线路由器等，而且已经在微机中大量应用。

8. WEP 协议

WEP (Wired Equivalent Protocol，有线等效协议) 是为了保证 IEEE802.11b 协议数据传输的安全性而推出的安全协议，可以通过对传输的数据进行加密，从而可以保证无线局域网中数据传输的安全性。目前，市场上一般的无线网络产品支持 64/128 位甚至 256 位 WEP 加密，未来还会普及 WEP 的改进版本——WEP2。在无线局域网中要使用 WEP 协议，如果使用了无线 AP 首先要启用 WEP 功能，并记下密钥，然后在每个无线客户端启用 WEP 并输入该密钥，这样就可以保证安全连接。

为了便于对比，我们给出几种常用无线网协议的主要参数，见表 1-1。

表 1-1 几种常用的无线网络协议

协 议	频 率	信 号	最大数据传输速率
IEEE802.11	2.4 GHz	FHSS 或 DSSS	2 Mbps
IEEE802.11a	5 GHz	OFDM	54 Mbps
IEEE802.11b	2.4 GHz	HR-DSSS	11 Mbps
IEEE802.11g	2.4 GHz	OFDM	54 Mbps
IEEE802.11n	2.4 GHz 或 5 GHz	OFDM	540 Mbps