



装备科技译著出版基金



高新科技译丛

Mobile Positioning and Tracking
From Conventional to Cooperative Techniques

移动定位与跟踪

——从传统型技术到协作型技术

【葡】João Figueiras

【意】Simone Frattasi

著

赵军辉

译

 WILEY



国防工业出版社
National Defense Industry Press

移动定位与跟踪

从传统型技术到协作型技术

Mobile Positioning and Tracking
From Conventional to Cooperative Techniques

[葡]João Figueiras [意]Simone Frattasi 著

赵军辉 译

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

移动定位与跟踪: 从传统型技术到协作型技术/ (葡)
菲盖拉斯, (意) 法阿塔斯著; 赵军辉译. —北京: 国防
工业出版社, 2013.1

书名原文: Mobile Positioning and Tracking-From Conventional
to Cooperative Techniques

ISBN 978-7-118-08349-1

I. ①移… II. ①菲… ②法… ③赵… III. ①定位跟踪
IV. ①TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 240012 号

This translation published under John Wiley & Sons, Inc. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

Mobile Positioning and Tracking: From Conventional to Cooperative Techniques/João
Figueiras and Simone Frattasi.

ISBN 978-0470-69451-0

Copies of this book sold without a Wiley sticker on the cover are unauthorized and illegal.
All rights reserved.

本书简体中文版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权国防工业出版社独家出版。版权所
有, 侵权必究。

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 15 1/4 字数 264 千字

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

作者简介

João Figueiras 于 2008 年在丹麦奥尔堡的奥尔堡大学获得了无线通信专业的博士学位，在此之前，他早在 2004 年就在葡萄牙里斯本技术大学高级研究所获得了电气工程与计算机科学系的硕士学位。从 2004 年到 2008 年期间，他受雇于奥尔堡大学进行丹麦资助项目“无线接入网设备和应用”(WANDA)和“协作移动定位”(COMET)，以及欧盟资助项目“我的个人自适应全球网”(MAGNET)和“无线增强移动无线电估计”(WHERE)方面的工作。他的工作领域是关于定位和跟踪解决方案的无线网络领域，而且，他的研究成果已被几个项目的合作伙伴采用，如 Blip 系统及德国宇航中心(DLR)。他还发表了数篇论文来阐述其研究成果，值得一提的是，他的许多研究成果得以在研讨会上(2007 年的 IEEE PIMRC)提交。2007 年期间，他以研究访问者的身份在美国洛杉矶的加利福尼亚大学洛杉矶分校电气工程系学习，同时他还在位于美国山景城的谷歌公司的移动团队里担任实习软件工程师。2009 年以来，他一直受聘为葡萄牙中兴通信售后经理一职，目标在于开拓葡萄牙的移动通信市场。从 2003 年起，他在进行专业活动的同时也曾经持续不断地在私下里参与几个有关协作通信领域和互联网服务方面的创新型项目。自 2006 年以来，他一直作为一名志愿者活跃在 IEEE 组织，目前他担任 IEEE 8 区(欧洲、中东和非洲)的 GOLD(其组织成员为毕业 10 年之内的毕业生)委员会主席一职，其主要职责是增加在 IEEE 活动的成员的活跃度与协调沟通能力，并充分利用 IEEE 的优势来满足年轻成员对于职业规划的需求。此外，他作为一个主要的组织者已经组织策划了多次重要会议，其中包括 2007 年及 2008 年的 AISPC 会议，还有全球 IEEE 会议(第一届世界黄金峰会 2008)。

Simone Frattasi 于 2001 年在罗马第二大学(位于意大利罗马)的电信工程系获得理学学士学位，接着在 2002 年获得了优秀硕士学位优等生的称号，然后，2007 年获得了奥尔堡大学(位于丹麦奥尔堡)无线通信系博士学位。自 2009 年以来，作者一直担任着丹麦奥胡斯一家知识产权顾问公司 loughmann & Vingtoft(P&V)的专利代理人。在担任该专利代理人之前，他曾于 2002 年到 2005 年期间在奥尔堡大学里担任研究助理，任职期间参与过两个欧洲的工程项目

(STRIKE 和 VERT)，以及一个与韩国三星公司的全球标准及研究小组一起合作的工业项目。2005 年到 2007 年间，他作为一个助理教授接受了一个丹麦投资的名为协作移动定位的项目，此外，值得一提的是，他从那时起到现在仍坚持不懈地致力于对 JADE 项目的研究。从 2007 年到 2008 年，他参与并领导了一个由丹麦奥尔堡与诺基亚西门子通信合作的工业项目。作者除在科学技术读物上发表过大量文章外，还曾多次担任过一个技术方案的会议委员会主席，并为一些杂志和期刊担任客座编辑。除此之外，在 2007 年，他还是 IEEE PIMRC 里有关无线定位的半日导师里面的主要一员。作者还是认知无线电的国际研讨会、高级频谱管理 (COGART)、生物医学应用科学国际研讨会以及通信技术 (ISABEL) 的联合创始人。最后，他在 2008 年光荣地被委任为丹麦 IEEE GOLD AG 的主席。

前 言

定位是一个热门的研究课题，正受到越来越多学术界和产业界的关注。位置信息先前被认为是车辆追踪和军事策略至关重要的信息，现在被引入到了无线通信网络当中。与专用解决方案，如全球定位系统（GPS），仅仅简单地提供定位信息不同，针对无线网络的新的解决方案能够提供通信和定位相结合的好处。因此，网络操作者和服务提供者以及终端用户能够从这样的支持定位的通信能力中获益。的确，当网络操作者能够更有效地管理网络资源时，服务提供者就能够向终端用户提供基于位置的服务（LBSs），而终端用户则可以充分享受到这种个性化依赖于位置的服务。特别地，从一些文献资料中可以发现定位信息正作为新协议（如路由和分簇）部署中、新的技术（如协作系统）和新的应用（如导航系统和位置感知的相关应用）中的一种基本需求而被使用。由于当今的无线通信系统无处无时不在，依赖位置的网络增强、服务或者应用能够快速传播和广泛使用。

对于在无线网络中获取位置信息的新的解决方案的开发而言，以上提到的趋势是一种主要的出发点。本书第 1 章概述了这些解决方案背后的动机，并且提出了具有潜质的类别和基于位置的服务应用（传统的和网络相关的）。第 2 章介绍了无线通信的基本概念，用于帮助读者通读本书的其余章节。第 3 章从测量类型和估计技术到误差源和定位精度特有的度量提出了定位的基本原理。由于无线系统固有的特性，得到用户的位置需要使用稳健的算法来处理不同时刻从多个源头获取的数据。第 4 章描述了不同类型的数据处理算法，展示了它们各自的优点和缺点。第 5 章是关于跟踪的基本原理；特别地，其中使用的多个移动性模型（包括基于群的和基于社交的模型）将在第 8 章中介绍。第 6 章（从信号处理的角度）讨论了用于抑制第 5 章中所提到的误差的先进技术，用以试着提高整体定位估计过程的精度。第 7 章介绍了基于卫星和基于陆地的定位系统的当前发展状况，将定位领域从室外扩展到了室内，从广域网扩展到了近距离网络，从正交频分复用（OFDM）扩展到了超宽带技术（UWB）。最近，我们注意到无线通信网络中重复的协作的人类行为已经

导致大量研究领域的出现，尤其在无线定位中的应用已经产生了一个新的技术分支，这对整个领域起到了革新作用。因此，在第 8 章中，我们将遍历整个称之为“协作增强系统”的发展现状，即开发出用户、终端和网络之间的协作移动定位系统来促进定位估计的精度。

本书包括一个附带的网站。更多信息请登录 www.wiley.com/go/figueiras_mobile。

致 谢

作者对本书的直接贡献者——Nicola Marchetti, Ismail Guvenc, Andreas Waadt, Guido H. Bruck 和 Peter Jung 致以深深感谢，同时也向本书间接的提供者——一直以这样或那样的方式提供了写书技能的：Hans-Peter Schwefel, Ramjee Prasad, Ali Sayed, Cassio Lopes, Adel Youssef, Rasmus Olsen, Gian Paolo Perrucci, Istvan Kovacs, Lars Tørholm Christensen, Marco Monti, Francescantonio Della Rosa 以及 Gianluca Simone 表达崇高的谢意！最后，还要感谢 Wiley 团队，是他们不断的帮助才有本书的诞生，他们是：Tiina Ruonamaa, Sarah Tilley, Anna Smart 和 Alistair Smith，谢谢以上所有人！

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 定位的应用领域 (第 2 章)	4
1.2 定位的无线通信基础 (第 3 章)	5
1.3 定位的基本原理 (第 4 章)	5
1.4 数据融合和过滤技术 (第 5 章)	6
1.5 跟踪的基本原理 (第 6 章)	6
1.6 误差抑制技术 (第 7 章)	7
1.7 定位系统和技术 (第 8 章)	7
1.8 协作移动定位 (第 9 章)	8
第 2 章 定位的应用领域	9
2.1 概述	9
2.2 定位技术框架	9
2.3 基于位置的信息服务	10
2.3.1 LBS 生态系统	11
2.3.2 分类	13
2.3.2.1 应用分类	15
2.4 基于位置的网络优化	22
2.4.1 无线网络规划	22
2.4.2 无线资源管理	23
2.4.2.1 波束成形	23
2.4.2.2 功率控制	23
2.4.2.3 分组调度	24
2.4.2.4 切换	24
2.5 结论	25
第 3 章 无线通信定位的基本原理	26
3.1 概述	26
3.2 无线电传播	26

3.2.1	路径损耗	28
3.2.2	阴影衰落	28
3.2.3	小尺度衰落	29
3.2.3.1	多径衰落	29
3.2.4	无线电传播和移动定位	30
3.2.4.1	测量方法	30
3.2.4.2	位置估计	30
3.2.4.3	NLOS 误差抑制	31
3.2.5	基于 RSS 的定位	31
3.3	多天线技术	32
3.3.1	空间分集	32
3.3.2	空间复用	33
3.3.3	利用空间域获得的增益	34
3.3.3.1	阵列增益	34
3.3.3.2	分集增益	34
3.3.3.3	复用增益	35
3.3.3.4	干扰抑制	35
3.3.4	MIMO 和移动定位	36
3.4	调制和多址技术	36
3.4.1	调制技术	36
3.4.1.1	OFDM	36
3.4.1.2	扩频	37
3.4.2	多址技术	39
3.4.2.1	TDMA	39
3.4.2.2	FDMA/OFDMA	39
3.4.2.3	CDMA	40
3.4.2.4	SDMA	40
3.4.2.5	CSMA/CA	41
3.4.3	OFDMA 和移动定位	42
3.5	无线资源管理和移动定位	42
3.5.1	切换, 信道复用和自适应干扰	42
3.5.1.1	优先切换权	43
3.5.1.2	信道复用和自适应干扰	44

3.5.1.3	预期信道预留	44
3.5.2	功率控制	44
3.6	协作通信	45
3.6.1	基于 RSS 的协作定位	45
3.7	认知无线电和移动定位	46
3.8	结论	49
第 4 章	定位的基本原理	50
4.1	概述	50
4.2	定位基础结构分类	50
4.2.1	定位系统拓扑结构	50
4.2.2	物理覆盖范围	52
4.2.3	集成定位方案	52
4.3	测量类型和估计方法	53
4.3.1	蜂窝 ID	53
4.3.2	信号强度	54
4.3.3	信号到达时间	54
4.3.4	信号到达时间差	55
4.3.5	信号到达角度	56
4.3.6	个人信息识别	57
4.4	定位技术	57
4.4.1	短程感应	57
4.4.1.1	物理联系	57
4.4.1.2	标识方法	57
4.4.1.3	宏观定位	58
4.4.2	三角定位	58
4.4.2.1	边	59
4.4.2.2	双曲线定位	60
4.4.2.3	角度	61
4.4.3	指纹识别方法	62
4.4.3.1	数据库创建校准阶段	63
4.4.3.2	影像/视频方法	64
4.4.3.3	数据库协作维护方法	64
4.4.4	航位推算法	65

4.4.5	混合定位	65
4.4.5.1	边角混合定位	65
4.4.5.2	角度和双曲线混合定位	66
4.5	定位中的出错原因	67
4.5.1	传播	67
4.5.1.1	非视距	67
4.5.1.2	多径衰落	68
4.5.1.3	阴影效应	68
4.5.1.4	人体阴影	69
4.5.1.5	干扰	69
4.5.1.6	电离层	69
4.5.2	几何	70
4.5.3	设备和技术	71
4.6	定位精度的度量	72
4.6.1	圆概率误差	72
4.6.2	精度衰减因子	72
4.6.3	Cramér-Rao 下界	73
4.7	结论	73
第 5 章	数据融合和过滤技术	74
5.1	概述	74
5.2	最小二乘法	74
5.2.1	线性最小二乘法	75
5.2.2	递归最小二乘法	76
5.2.3	加权非线性最小二乘法	78
5.2.3.1	应用举例	79
5.2.4	最小值/局部极小值问题	81
5.3	贝叶斯滤波	82
5.3.1	卡尔曼滤波器	83
5.3.1.1	扩展卡尔曼滤波	84
5.3.1.2	无迹卡尔曼滤波	85
5.3.1.3	收敛问题	87
5.3.2	微粒滤波器	89
5.3.3	基于网格的方法	89

5.4	估计模型参数和观察值的偏差	90
5.4.1	预校准	91
5.4.2	联合参数和状态估计	91
5.5	可供选择的方法	92
5.5.1	指纹识别	92
5.5.2	时间序列数据	94
5.5.2.1	单指数平滑器	95
5.5.2.2	双指数平滑器	95
5.6	结论	96
第 6 章	跟踪的基本原理	97
6.1	概述	97
6.2	用户移动性对定位的影响	97
6.2.1	定位静态设备	97
6.2.2	跟踪中加入的复杂度	98
6.2.3	协作环境下的额外知识	98
6.3	移动模型	99
6.3.1	传统模型	99
6.3.2	随机过程模型	99
6.3.2.1	布朗运动模型	99
6.3.2.2	随机游走模型	100
6.3.2.3	航点随机游走	101
6.3.2.4	高斯—马尔可夫模型	102
6.3.2.5	基于马尔可夫链的模型	103
6.3.3	地理限制模型	105
6.3.3.1	路径移动模型	105
6.3.4	群组移动模型	107
6.3.4.1	参考点群组移动模型	107
6.3.4.2	相关群组移动模型	108
6.3.5	基于社会的模型	109
6.3.5.1	基于社会因素的模型	109
6.4	跟踪移动设备	111
6.4.1	传播条件下缓解阻塞	111
6.4.2	跟踪非移动的目标	112

6.4.3	跟踪移动的目标	114
6.4.3.1	使用移动检测的过程适应性	114
6.4.3.2	多模型方法	114
6.4.4	学习位置和轨迹模式	116
6.4.4.1	期望最大化算法	117
6.4.4.2	k 种方式的算法	119
6.5	结论	121
第 7 章	误差抑制技术	122
7.1	概述	122
7.2	系统模型	123
7.2.1	非视距场景的最大似然算法	125
7.2.2	视距场景的 Cramér-Rao 下界	126
7.3	非视距场景: 基本限制和 ML 解决方案	128
7.3.1	基于最大似然值的算法	129
7.3.2	Cramér-Rao 下界	131
7.4	NLOS 定位中的最小二乘技术	134
7.4.1	加权最小二乘法	134
7.4.2	残差权重算法	135
7.5	基于约束的 NLOS 定位技术	136
7.5.1	LS 约束算法和二次规划	136
7.5.2	线性规划	137
7.5.3	几何约束位置估计	138
7.5.4	内点优化	139
7.6	非视距定位的鲁棒性估计	141
7.6.1	胡贝尔 M 估计	141
7.6.2	最小中位数平方法	142
7.6.3	其他鲁棒性估计方法	142
7.7	NLOS 定位的识别和丢弃技术	143
7.7.1	残留测试算法	143
7.8	结论	144
第 8 章	定位系统和技术	148
8.1	概述	148
8.2	卫星定位	149

8.2.1	概述	149
8.2.2	基本原理	150
8.2.2.1	数学背景	151
8.2.3	卫星定位系统	153
8.2.3.1	概述	153
8.2.3.2	全球定位系统	153
8.2.3.3	增强系统	154
8.2.3.4	GPS III 和 GALILEO	154
8.2.4	精度和可靠度	154
8.2.5	当卫星定位系统应用于移动定位时的缺点	154
8.3	蜂窝定位	155
8.3.1	概述	155
8.3.2	GSM	156
8.3.2.1	小区 ID	156
8.3.2.2	RSSI	159
8.3.2.3	移动台辅助定位 TOA	160
8.3.2.4	精确度和可靠度	161
8.3.3	UMTS	164
8.3.3.1	3GPP 标准	164
8.3.3.2	OTDOA-IPDL	165
8.3.3.3	U-TDOA	165
8.3.3.4	基于 A-GNSS 的定位	166
8.3.4	移动网络中的应急应用	167
8.3.5	应用于移动定位时的缺点	168
8.4	无线局域网/个人区域网络定位	168
8.4.1	无线局域网络上的解决方案	168
8.4.1.1	UWB	168
8.4.1.2	蓝牙	170
8.4.1.3	WLAN (Wi-Fi)	171
8.4.2	专用的解决方案	171
8.4.2.1	RFID	171
8.4.2.2	红外线	172
8.4.2.3	超声波	173

8.5	Ad hoc 定位	174
8.6	混合定位方法	174
8.6.1	异构定位	174
8.6.2	蜂窝网和 WLAN	175
8.6.3	GPS 辅助	176
8.7	结论	176
第 9 章	协作移动定位	178
9.1	概述	178
9.2	协作定位	179
9.2.1	机器人网络	179
9.2.2	无线传感器网络	181
9.2.2.1	集群	182
9.2.3	无线移动网络	183
9.3	协作数据融合和过滤技术	185
9.3.1	Coop-WNLLS: 协作加权非线性最小二乘法	185
9.3.1.1	应用举例	186
9.3.2	Coop-EKF: 协作扩展卡尔曼滤波	188
9.3.2.1	应用举例	188
9.4	彗星: 一种协作移动定位系统	190
9.4.1	系统架构	190
9.4.2	数据融合方法	192
9.4.2.1	1L-DF: 一级数据融合	192
9.4.2.2	2L-DF: 二级数据融合	193
9.4.3	性能评价	198
9.4.3.1	仿真模型	198
9.4.3.2	仿真结果	201
9.5	结论	209
	参考文献	210
	缩略语	224
	符号说明	227

第1章 概述

在过去的几十年中，无线通信已成为每个人日常生活中必不可少的一部分。世界已经移动信息化，而且不断地获取信息也成为一项需求。这种必要性有着新鲜性、实时性，以及可获得第一手资料的特点，一些设备如移动电话、寻呼机、计算机、数据卡、传感器及数据芯片等已进入我们的生活并成为典型的技术“伙伴”。由于以上原因，无线服务已得到普及，而且位置信息已在无线界变得极为有用。连续不断的信息需求为商机提供了一个巨大的潜在动力，并且它还能提升发展新服务的创新性。因此，基础设施的完善促使无线设备之间的通信迅速成长，从而使其向着更高的覆盖范围、更高的灵活性和更高的互操作性不断发展。现实是如此的清晰可见，很难设想如果没有这些技术我们的生活将会变得怎样。此外，随着无线通信网络的快速部署，定位信息已经引起了人们的极大兴趣。因为无线通信用户的固有的移动性行为，使得位置信息在几种情况下，如在救援时、发生紧急事故时和使用导航时，变得极为重要。正是这样的位置依赖性带动了关于无线通信技术的定位机制的专题研究、开发以及经营。其结果是，可以通过结合和互操作交流位置信息进行集成和内置的解决方案变得多样化。基于上述，本书涵盖了无线通信技术主题的定位机制，并详细解释了服务、无线通信协议、定位和跟踪算法、误差抑制技术，以及它们在无线通信系统中的应用，还介绍了最新的协作定位技术。

定位或位置可以被理解为一个确定的人或物体相对于一个已知的参考点的明确的方位，而这个参考点往往假定是地球坐标系统的中心。事实上，这个参考点可以是系统中已知坐标的地球上的任意一点。虽然位置本身显然已是一个非常重要的信息来源，但是要想变得更加有用，就必须在一个特定的时刻才能发挥出更大的作用。特别地，在跟踪系统中我们考虑到时间信息无疑起到了关键性的作用，不仅为了知道在一个特定的时间特定的设备的位置信息，同时也为了推断关于位置信息的高阶衍生信息，如速度与加速度。因此，跟踪是一种作为一个时间的函数，得到当前位置的一个具体的目标的估计方法。导航作为一个解决方案，主要是在跟踪时提供位置信息，以帮助用户到达理想的目的地。