

本书受到国家自然科学基金项目 (No.60473097)

及浙江工业大学专著与研究生教材出版基金 (资助号20040107) 的资助

无线移动网络的 移动性管理

朱芝华 著

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

本书受到国家自然科学基金项目
(No. 60473097) 及浙江工业大学专著与研究生教
材出版基金 (资助号 20040107) 的资助

7N9273
40

无线移动网络的移动性管理

朱艺华 著

人民邮电出版社

地址：北京市丰台区莲花池西里10号 邮编：100071 电话：(010) 67881111

图书在版编目 (CIP) 数据

无线移动网络的移动性管理/朱艺华著.

—北京:人民邮电出版社,2005.10

ISBN 7-115-13780-3

I. 无... II. 朱... III. 无线电通信:移动通信—通信网

IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 082423 号

无线移动网络的移动性管理

- ◆ 著 朱艺华
责任编辑 陈万寿
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 850×1168 1/32
印张: 7
字数: 180 千字 2005 年 10 月第 1 版
印数: 1-2 000 册 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13780-3/TN·2537

定价: 19.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

内 容 提 要

无线移动网络是移动计算 (Mobile Computing) 的基石。在无线移动网络中, 网络节点的物理位置的不断变化——即节点的移动性, 给整个网络的安全性、可靠性、资源重用、QoS、路由、接口、拥塞控制、通道分配等诸多方面带来了挑战。

移动性管理是移动计算的最重要和最具有挑战性的问题之一, 设计无线移动网络的合理、高效、优化的移动性管理策略, 并给出行之有效的算法及严密的理论证明, 不论对理论研究还是对实践均是相当重要的。本书对无线移动网络的移动性管理策略进行了研究, 应用向量马尔可夫过程及密度演化方法进行数学建模, 导出了在两次呼入时间间隔内移动台的越区次数、在最后一次位置更新与下一次呼入到达时间间隔内“带门槛的指针推进移动性管理策略”中指针链的长度与“基于距离的位置管理策略”移动台的移动距离、“环形搜索策略”的位置区层数、“基于距离的位置管理策略”的距离公式等, 这些公式对各种移动性管理策略的设计与评价具有重要的意义。此外, 本书应用模糊控制、计算机仿真等理论与方法, 研究了自适应、自调控的移动性管理策略。

本书的研究结果, 对现有移动通信系统的改进、新一代移动通信系统的设计与高效运行、信息网络建设、信息网络安全、移动软件 (如移动 Agent 等)、移动商务 (Mobile Commerce)、公共安全、抢险救灾、节能、环境保护等领域的研究, 有着重要的应用价值。

本书适于高等学校通信、计算机应用、系统工程等专业的研究生和教师以及科研人员阅读。

前 言

随着以计算机技术、通信技术、网络技术为代表的现代信息技术的高速发展，随着发达国家从工业经济到基于知识和信息服务经济的转变，随着竞争的日益加剧且呈现出明显的国际化与一体化，在任何时候、任何地点访问任何需要的信息成为人们的迫切需要，移动计算是满足这一需要的重要保证。近年来，功能强大的便携计算机、SmartDust（将传感器与通信系统集成到 1mm^3 的空间中的电子器件）及其他新型移动设备的出现，将移动计算的研究推到更高的层次。同时，移动计算、位置传感与无线网络的结合形成了一种新的计算——位置感知计算（Location-aware Computing），即利用位置信息提供与用户所完成的任务有关的信息与服务的计算。

当前，情境感知计算（Context-aware Computing）是国际上的研究热门。所谓情境（context），就是用于刻画实体（可以是人、场所、物体）境遇的任何信息。因此，它的内容包罗万象，既包含了位置、网络设施、照明、背景音乐、温度、天气等具有物理特征的内容，也包含了社会状况、身份、个人爱好等内容，其中位置是最为重要的“情境”内容。所谓情境感知计算是指利用“情境”，提供与用户所完成的任务有关的信息与服务的计算。因此，位置感知计算是情境感知计算的一个重要的分支。

在移动计算中，具有信息处理与无线联网能力的移动设备并不需要知道情境知识，但位置感知计算则不然，它的中心问题是确定物理位置，需要根据情境的最主要的成分——移动设备的位置——作出响应，有时这种响应是自发的。自从美国受到“911”恐怖袭击之后，美国政府非常重视位置感知计算的研究，提出了“E911”（Enhanced 911）紧急救援实施计划，这个计划要求到2005年底能

够更加准确地确定用手机紧急呼叫“911”的用户的位置（要求误差在 50m 之内）。

移动性管理是移动计算、位置感知计算、乃至情境感知计算的关键问题之一。

本书共 9 章。第 1 章叙述了计算、算法、移动计算、普适计算、移动性管理等基本概念；第 2 章介绍了蜂窝网络、Ad hoc 网络及其他无线网络；第 3 章介绍了移动性管理策略研究的基础理论，如概率论、排队论、随机过程、马尔可夫过程等理论；第 4 章用向量马尔可夫过程及密度演化方法，研究了在两次呼入之间移动台所越过的位置区个数；第 5 章涉及无线移动网络的移动性管理策略，如基本的位置管理策略、指针推进策略、锚策略、指针推进及锚相结合策略、环形搜索策略、自调控策略等；第 6 章用向量马尔可夫过程及密度演化方法，研究了指针推进策略的指针链长度；第 7 章用向量马尔可夫过程及密度演化方法，研究了“基于距离的位置管理策略”中移动台的移动距离，并论证了移动台所越过的位置区个数及指针推进策略中指针链长度均为“基于距离的位置管理策略”中移动台的移动距离的特例；第 8 章介绍了计算机仿真的基本方法，以及它在移动性管理策略研究领域的应用；第 9 章探讨了将模糊控制系统应用于移动性管理研究领域，并给出了用模糊控制系统对指针推进策略的指针链长度进行实时控制的实例。

本书是本人在访问加拿大不列颠哥伦比亚大学（The University of British Columbia）与加拿大阿尔伯塔大学（The University of Alberta）期间写成的，在编写和出版过程中，得到众多专家、教授、朋友和学生的支持和帮助。在此，特别感谢加拿大不列颠哥伦比亚大学电子与计算机工程系 Victor C. M. Leung 教授，加拿大阿尔伯塔大学计算机工程系 Witold Pedrycz 教授，上海大学史定华教授、孙小玲教授，同济大学郑应平教授，浙江大学高济教授，首都师范大学徐德举教授，浙江工业大学周根贵教授、俞立教授等。此外，我的学生谭福成、章勤俭、吴小燕、张丽云等人对本书

的校对付出了繁重的劳动，在此一并表示由衷的感谢。

本书受到浙江工业大学专著与研究生教材出版基金（资助号20040107）及国家自然科学基金项目（No. 60473097）的资助，特此致谢。

由于作者知识与见识有限，加上成稿时间仓促，书中难免存在疏漏及不当之处，诚望各位专家及读者批评指正。

朱艺华

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 计算技术的发展	1
1.1.1 计算及算法	1
1.1.2 移动计算	1
1.1.3 普适计算	3
1.1.4 分布计算、移动计算和普适计算的联系	6
1.2 移动性管理	8
1.3 位置管理	10
1.4 常见的位置数据库结构及其布置	11
1.4.1 两层数据库结构	12
1.4.2 树型数据库结构	13
1.4.3 中心数据库结构	15
1.4.4 位置数据库的布置	15
第 2 章 无线移动网络	17
2.1 基于基础通信设施的无线移动网络	17
2.1.1 蜂窝移动网络的发展过程	17
2.1.2 蜂窝网络的基本结构	19
2.1.3 蜂窝技术的发展趋势	22
2.1.4 蜂窝网络的移动性管理	22
2.2 无基础通信设施的无线移动网络	27
2.2.1 自组网 (Ad hoc Network)	28
2.2.2 传感器网络 (Sensor Network)	30
2.2.3 个人域网 (PAN, Personal Area Network)	31
2.2.4 蓝牙网络 (Bluetooth Piconet)	32

第 3 章 移动性管理策略研究的基础理论	35
3.1 排队论	35
3.1.1 排队论的基本概念	35
3.1.2 排队论在通信、计算机等领域的应用	39
3.2 概率论	40
3.2.1 随机现象	40
3.2.2 概率的定义	41
3.2.3 随机变量及分布函数	41
3.2.4 随机变量的均值及方差	44
3.2.5 “风险率函数”及其概率意义	47
3.2.6 随机变量和的分布函数	48
3.2.7 移动计算中常用的分布函数	49
3.3 随机过程理论	52
3.3.1 随机过程的定义	52
3.3.2 计数过程	52
3.3.3 泊松过程 (Poisson Process)	52
3.3.4 更新过程	53
3.4 马尔可夫过程	55
3.4.1 马尔可夫过程的定义	55
3.4.2 连续时间马氏链	56
3.4.3 离散时间马氏链	57
3.4.4 向量马尔可夫过程	59
第 4 章 移动台越区次数的概率公式	61
4.1 假设条件	61
4.2 概率推导方法	62
4.3 密度演化推导方法	66
4.3.1 系统的状态及其概率密度的定义	66
4.3.2 系统的状态方程组	67
4.3.3 边界条件	69

4.3.4	概率公式推导	71
4.3.5	概率公式的应用	77
第5章	常见的移动性管理策略	79
5.1	位置管理策略的权衡	79
5.2	基本位置管理策略——“基本策略”	80
5.3	指针推进策略	83
5.3.1	指针推进策略的定义	83
5.3.2	指针推进策略的代价分析	87
5.4	锚策略	89
5.5	锚与指针结合的策略	90
5.6	环形搜索策略	91
5.6.1	环形搜索策略的定义	92
5.6.2	移动台在各环的概率	92
5.6.3	一个特例	95
5.7	移动台自调控的环形策略	97
5.7.1	自调控环形策略的定义	97
5.7.2	位置更新操作	98
5.7.3	位置查找操作	98
5.7.4	移动台的自调控	99
5.7.5	自调控环形策略与其他策略的比较	100
第6章	指针推进策略中指针链长度的概率公式	102
6.1	假设条件	102
6.2	系统的状态及其概率密度的定义	103
6.3	系统的状态转移图	104
6.4	系统的状态方程组	105
6.5	边界条件	106
6.6	状态方程组的解	109
6.7	指针链长度概率公式的推导	113
第7章	基于距离的位置管理策略	120

7.1	三种基本的动态位置管理策略	120
7.2	基于距离的动态位置管理策略的定义	121
7.3	移动台移动距离的概率	122
7.3.1	术语及假设条件	122
7.3.2	系统的状态及其概率密度	124
7.3.3	系统的状态转移图	124
7.3.4	系统的状态方程组	125
7.3.5	边界条件	127
7.3.6	状态方程组的解	130
7.4	平均移动距离的计算	135
7.5	位置查找方法	137
7.5.1	一些假设	138
7.5.2	“地毯式盲目搜寻”	138
7.5.3	“按概率依次搜寻”	139
7.6	移动距离公式的适用范围	143
7.7	基于距离的位置管理策略与“指针推进策略”的联系	144
第8章	仿真技术在移动性管理中的应用	148
8.1	系统、模型与仿真	148
8.1.1	系统	148
8.1.2	模型	149
8.1.3	仿真	149
8.1.4	虚拟现实技术	150
8.2	离散事件系统仿真	151
8.2.1	连续系统与离散事件系统	151
8.2.2	随机变量的产生	151
8.2.3	离散事件系统仿真的基本策略	152
8.3	蜂窝系统中移动台越区漫游的仿真	152
8.3.1	模型的描述	152
8.3.2	仿真逻辑	153

8.3.3	仿真程序设计与仿真结果分析	155
第9章	模糊控制系统在移动性管理中的应用	161
9.1	模糊控制系统	161
9.1.1	模糊数学的产生和发展	161
9.1.2	模糊集合与隶属函数	162
9.1.3	模糊运算	162
9.1.4	模糊规则与模糊推理	164
9.1.5	模糊系统	165
9.2	模糊控制动态指针推进移动性管理策略	165
9.2.1	策略的描述	165
9.2.2	策略的实现	168
9.2.3	策略的代价公式	171
9.2.4	MATLAB 仿真实验结果及分析	173
附录 I	蜂窝系统中移动台越区漫游仿真程序 (C++)	179
附录 II	模糊控制指针推进策略仿真程序 (MATLAB)	186
	参考文献	199

第 1 章 绪 论

1.1 计算技术的发展

1.1.1 计算及算法

什么是计算？按照一定的规则把一个已知的符号串改变为另一符号串，这一过程就是常规意义下的计算。算法是求解某类问题的通用法则或方法，是符号串的变换规则。普通数的加减乘除四则运算是最典型的计算。例如，在两个数的“加法”计算中，其算法就是加法的规则，而按照这个加法规则将这两个数变成最终一个数（原先两个数的和）的过程就是一种计算（加法计算）。然而，现代计算含义已经远远不止于此。化学过程、物理过程也可以看作是一种计算。例如：2005年，导致南亚地区大伤亡、大量财产损失的大灾难——海啸，也可以看成是一种计算，其中自然规律就是“算法”，海啸是按照这一“算法”计算的结果，而形成“海啸”的过程就是一种自然“计算”。计算正在渗透到宇宙学、生物学、社会学等诸多领域，已经成为人们认识自然、生命、思维和社会的一种普遍方法。

1.1.2 移动计算

个人计算机的诞生是计算领域的一个重要里程碑，在计算技术中是举足轻重的。它的应用已经渗透到人类生活的方方面面，已经改变了人们的生活方式。可以说，如果没有计算机，人们的生活就会受到严重的影响。在美国、加拿大等发达国家，政务、交通、购

物、旅游等全方面的信息已经存储到数据库中，可以通过个人计算机及互联网方便地检索出来。

个人计算机与局域网相结合，就产生了分布计算（Distributed Computing）。在分布计算系统中，资源分布在不同的地理位置，但高度共享。从 20 世纪 70 年代中期到 90 年代初期，分布计算研究领域已经取得了较为深入的研究成果，其中包括：远程通信（Remote Communication）、容错（Fault Tolerance）、高可得性（High Availability）、远程信息访问（Remote Information Access）和安全性（Security）等等。

在 20 世纪 90 年代初期，功能强大的便携计算机及无线局域网的出现迫使学者研究这样一个问题：如何建立一个带有移动计算机的分布计算系统。因此，移动计算（Mobile Computing）应运而生。移动计算的目的是“在任何地点、任何时间访问任何需要的信息”。虽然分布计算系统的一些基本原理仍然适用于移动计算系统，但移动计算系统必须有自己独特的功能以支持由于节点的移动性而产生的诸多问题，如不可预见的网络连接质量的变化，网络拓扑结构的变化，移动要素稳定性的削弱、信任度的降低，由移动要素重量、大小等限制引起的对利用资源的限制，电源的消耗及由电源问题引起的网络连接中断等。

移动计算的研究已经深入到众多领域，包括：

(1) 移动联网（Mobile Networking）：主要研究内容包括移动 IP（Mobile IP）、Ad hoc 协议（Ad hoc Protocols）、无线网络的 TCP 性能改善……

(2) 移动信息访问（Mobile Informaiton Access）：主要研究内容包括离线操作（Disconnection Operation），以及数据一致性控制等。

(3) 支持适应性应用（Support for Adaptative Applications）：主要研究适应性资源管理。

(4) 系统级的节能技术（System-Level Energy Saving Tech-

niques): 主要研究内容有能量感知适应 (Energy-Aware Adaptation)、不同速度处理器调度以及能量敏感 (Energy-Sensitive) 存储管理等等。

(5) 位置敏感性 (Location Sensitivity): 主要研究内容包括位置传感 (Location Sensing) 和位置感知系统行为 (Location-Aware System Behavior)。

(6) 基于移动位置类的服务: 主要研究内容包括公共安全服务、基于位置计费、追踪服务、基于位置的信息服务、增强的网络服务等^[8]。

根据市场调查, 移动位置服务 (涉及移动定位、地理信息系统等方面的复杂技术) 已成为移动用户的首选业务, 市场前景广阔^[9]。

1.1.3 普适计算

当前, 计算技术具有以计算机为中心和桌面计算两大特点。

(1) 以计算机为中心

目前, 计算机的使用方法是按计算机本身实现的方便设计的, 依靠键盘和鼠标等完成信息的输入, 这不符合人们主要依靠语音和视觉交互的习惯。也就是说用户不是按自己的习惯使用计算机, 而是要适应计算机的习惯。

(2) 桌面计算

现在人们要使用计算机, 需要坐到计算机面前才行, 这也就是说计算机并没有与人们的生活环境融合在一起。

1991年, 已故的前 Xerox PARC 首席科学家 Mark Weiser 在《Scientific American》上发表了包括“*The Computer for the 21st Century*”在内的几篇文章^[2], 他认为目前的计算机使用方式的最大弊端就是计算机本身吸引了用户太多注意力, 而好的工具应该是不会吸引用户的注意力的。他说: “*The profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of eve-*

ryday life until they are indistinguishable from it.”(作者译：“意义深远的技术是那些注意不到的技术，它们将自己融合到日常生活之中以至无法辨别它们。”)比如几千年来我们习惯于用笔和纸作为帮助我们思考问题的工具，但我们在用它的时候却从来都不会去注意笔和纸本身。因此他提出了“普适计算”(Ubiquitous Computing 或 Pervasive Computing)的思想，强调把计算机嵌入到环境或日常工具中去，让计算机本身从人们的视线中消失，让人们注意力的中心回归到要完成的任务本身。因此，普适计算是“以人为中心的计算”，使计算机的使用符合人的习惯。

美国麻省理工学院的人工智能实验室将一个“普适计算”的研究项目命名为 OXYGEN (氧)，因为氧气是无所不在，它对人类是不可缺少的，但又是不可见的。这正是“普适计算”所希望具有的特征。

具体地说，普适计算是指，计算能力不再局限于人们的桌面电脑中，而是遍布在人们的周围，嵌入到日常环境(如办公室、住宅)的一些静态及动态设备——信息设备(Information Appliance，如汽车、电视、音响设备、家庭用具及其他日常用具)中，使得人们可以在“任何时间、任何地方”理所当然地使用这些计算能力，而且不觉察到这些信息设备的存在^[8]。

在普适计算环境中，信息设备利用无线通信进行联络、监控信息的传输，其中一些信息设备会被另外一些信息设备触发。

普适计算有三个重要的指标：

(1) 移动性 (Mobility)：信息设备应该能够方便、快速、灵活地移动。

(2) 嵌入性 (Embedding)：信息设备可以嵌入到环境及日常用具中。

(3) 遍布性 (Ubiquity)：计算能力到处存在。

目前，实现普适计算的途径主要有：可穿戴计算 (Wearable Computing)、信息设备和智能环境等。

(1) 可穿戴计算

可穿戴计算主要有两种形式：第一种具有强大的计算能力、可以方便地携带、移动，像眼镜、手表一样可以穿戴；第二种是将小计算设备嵌入到服装中，甚至于将计算机芯片植入到人的皮肤与器官中。可穿戴计算使得计算机和各种输入、输出设备被佩戴在人身上，包括小型的计算机、头戴显示器、耳机、MIC和摄像头。这种随身携带的系统可以用来帮助人们做很多事情。比如当人注视一个物体时，它可以把与这个物体相关的信息显示在头戴显示器上；当人与别人对话时，它可以自动做记录等。

(2) 信息设备

为特定的任务设计专门的内嵌计算能力的设备。

(3) 智能环境

智能环境是指这样一个系统，它通过在一个物理空间中嵌入计算机视觉、语音识别、墙面投影等多种模态的交互能力，使隐藏在视线之外的计算机可以识别在这个物理空间中的人的身体姿态、手势、语音等信息，进而判断出人的意图并做出合适的反馈或动作，以帮助人们更加有效地进行工作或提高人们的生活质量。智能环境同时又是一个集成的环境，它可以把信息设备和可穿戴计算机等技术集成于其中。

第一代普适计算的应用主要有：

(1) 在健身与健美设备上配置一些可以访问Internet的接口，使得人们可以一边锻炼身体，一边访问互联网。例如，一边骑自行车一边上网，或一边划船一边上网，等等。

(2) 在办公楼或宾馆的电梯中嵌入显示屏，使得人们可以利用它访问互联网提供的每日新闻或感兴趣的广告。

(3) 家用电器上嵌入信息存取设备。例如，微波炉可以从网上下载菜谱，然后自动设置合适的时间和温度，烹饪出美味的菜肴。

(4) 宽带与数字电视，使得人们可以访问互联网，也可以进行电视节目的交互。