

2003年上海大学博士学位论文 ⑫

移动通信中若干 随机现象的建模及分析

作者：熊 勇
专 业：运筹学控制论
导 师：史定华



上海大学出版社

· 上海 ·

2003 年上海大学博士学位论文

移动通信中若干 随机现象的建模及分析

作 者：熊 勇

专 业：运筹学与控制论

导 师：史定华

上海大学出版社

· 上海 ·

Shanghai University Doctoral Dissertation (2003)

Several Stochastic Models and Analysis for Mobile Communications

Candidate: Xiong Yong

Major: Operations Research and Cybernetics

Supervisor: Prof. Shi Dinghua

Shanghai University Press

· Shanghai ·

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单：

主任：郑应平	教授，同济大学信息控制系	200092
委员：郑 权	教授，上海大学理学院	200436
胡奇英	教授，上海大学国商学院	200436
盛万成	教授，上海大学理学院	200436
王汉兴	教授，上海大学理学院	200436
导师：史定华	教授，上海大学	200436

评阅人名单:

- | | | |
|------------|-----------------|--------|
| 邓永录 | 教授, 中山大学数计学院 | 510275 |
| 王汉兴 | 教授, 上海大学理学院 | 200436 |
| 刘黎明 | 教授, 香港科技大学工业工程系 | |

评议人名单:

- | | | |
|------------|----------------|--------|
| 蒋昌俊 | 教授, 同济大学计算机系 | 200092 |
| 胡奇英 | 教授, 上海大学商学院 | 200436 |
| 朱艺华 | 教授, 浙江工业大学管理学院 | 310032 |
| 王远弟 | 副教授, 上海大学理学院 | 200436 |

答辩委员会对论文的评语

移动通信是当今信息时代蓬勃发展的高技术, 它的许多理论问题与现代排队论有着密切的联系. 例如, 位置区的管理、信道分配和数据流的性质等都是亟待解决的问题, 已经成为国内外的研究热点. 熊勇同学的博士论文选题具有重要的理论意义和实用价值. 论文针对移动通信中的若干随机模型, 采用矩阵分析和密度演化方法进行了比较系统的研究, 取得了一批有创见的成果:

(1) 在比已有文献更一般的条件下得到了移动台越区次数的分布和移动台处于各个分层的分布;

(2) 针对移动通信中实时业务和非实时业务的信道分配问题, 建立了有两类顾客的多服务台排队模型. 利用 MAP 中矩阵 A 的平稳分布性质, 得到了一个求解数据到达为 MAP、语音到达为泊松过程模型的数值计算方法;

(3) 研究了分形迭代映射的仿射变换, 阐述了通信数据流的分形特征, 对移动通信中的数据流分别建立和分析了由分形迭代映射控制的离散反馈排队和连续排队模型, 得到了队长分布;

(4) 最后, 作者还利用算子半群理论证明了论文中用密度演化方法建立的微积分方程解的存在性和唯一性, 这是一项重要的理论成果.

论文工作表明, 熊勇同学具有宽广扎实的基础理论和系统深入的专门知识, 能熟练地运用随机模型和排队论、动力系统和算

子半群等工具来分析与解决移动通信中的一些问题。答辩委员会认为论文所获得的成果表明熊勇同学已具备独立从事科学研究的能力，这是一篇优秀的博士论文。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决，全票同意通过熊勇同学的博士学位论文答辩，建议授予理学博士学位。

答辩委员会主席：郑应平

2003年7月4日

摘 要

移动通信是 20 世纪 70 年代末由贝尔实验室的科学家们研制出来的一种新型通信技术, 自从 1983 年正式投入商用至今, 已被众多用户接受, 成为广泛使用的通信方式. 移动通信技术的研究仍处于旺盛的发展时期, 并带动着诸多学科的发展. 如今, 许多国家的科研机构以及大型通信公司正致力于新一代——第四代移动通信的理论研究和产品开发.

理论分析、实地取样和计算机模拟是对现代移动通信相关技术进行研究的主要手段. 排队论则是在进行通信理论研究时诞生的一门学科, 它的发展推动了通信技术的前进. 同时, 在不断发展的通信技术中产生的大量新现象、新问题又迫使排队论不断充实和更新自己.

本文利用系统密度演化方法着重研究了移动通信中可以用排队论方法处理的若干随机问题, 主要包括: 移动台的位置管理问题、移动通信中的信道分配问题、移动通信中的数据流分形特征以及由密度演化方法所建立的排队模型中微积分方程的适定性问题.

论文主要包括以下 4 部分内容和结果:

(1) 我们对移动通信中移动台的位置管理问题进行了研究. 移动通信要求移动台始终与通信网络保持联系, 从而随时进行通信服务. 于是, 掌握移动台的移动规律, 找出移动台越区次数的分布就成为制定位置管理策略的前提条件. 针对移动台的越区情况, 我们建立和分析了若干随机模型. 首先, 我们分移动台呼

入为泊松过程、移动台位置更新为延迟更新过程, 以及移动台呼入为一般更新过程、移动台位置更新为马氏到达过程两种情形, 通过建立系统的密度演化方程, 得到移动台越区次数的分布; 然后, 考虑位置区分层, 对泊松到达过程和马氏到达过程两种情形, 通过建立系统的密度演化方程, 得到移动台越区次数的分布和移动台处于各个分层的分布; 最后, 利用获得的分布函数, 分别对一般管理策略和指针管理策略以及一般管理策略和环状管理策略进行了比较, 得出指针和环状策略优越的场合。

(2) 研究了移动通信中由实时业务和非实时业务相结合的 GPRS 中的信道分配问题. 多种移动通信业务的出现, 使扩充对这些业务起传输作用的信道的容量以及合理分配这些信道给各种业务成为重要问题. 在 GPRS 中, 若考虑只有语音和数据两种业务的时候, 该问题就被刻划为有两类顾客的多服务台排队模型. 为此, 我们做了以下工作: 首先, 我们建立和分析了数据和语音到达过程都是泊松过程, 以及数据到达过程为 MAP、语音到达过程为泊松过程的两个模型; 其次, 利用 MAP 中矩阵 A 的平稳分布性质, 我们得到一个求解数据到达过程为 MAP、语音到达过程为泊松过程模型的数值计算方法; 最后, 利用得到的算法, 对实际移动通信中的一个 MMPP 问题进行了计算。

(3) 研究了移动通信中数据流的分形特征. 随着移动通信技术的进一步发展, 各种业务包括语音、数据和图像将大量涌现在移动通信当中, 并且这些业务的到达过程往往不具有马氏性质, 所以, 找到能刻划这些业务性质的途径, 建立合适的排队模型意义重大. 我们将系统密度演化方法与分形迭代函数理论结合起来, 对分形排队进行了研究. 首先, 我们通过实例介绍了分形的特征及分形迭代映射, 并给出分形迭代映射的仿射变换及其变换

公式;其次,介绍了分形迭代映射的数学性质,同时阐述移动通信中的数据具有分形特征,从而为用分形迭代映射建立移动通信中数据的排队模型打下理论基础;最后,利用分形迭代映射结合系统密度演化方法,对移动通信中的数据分别建立和分析了离散反馈排队和连续排队模型,分别得到了排队系统的队长分布.建立的排队模型在一定条件下,就是普通的排队模型.

(4) 研究了随机排队模型系统密度演化方程的适定性问题.用系统密度演化方法可以建立和分析大量的随机模型,为了确保这些模型能够真实反映实际问题,我们必须保证系统密度演化方法建立的微积分方程解的存在性和唯一性.为此,我们利用算子半群理论,对随机排队模型的系统密度演化方程的适定性问题进行了研究.首先,介绍与微积分方程适定性以及解的概率意义相关的算子半群理论;其次,证明了 $M/M/\infty$ 排队模型的系统密度演化方程的适定性和渐近性;然后,拓展前面的结果,给出了一类不能分解出有界线性算子的随机排队模型系统密度演化方程适定性的证明;最后,研究了移动通信中位置模型的适定性.得到了该模型系统密度演化方程解的存在唯一性.

关键词 移动计算, 信道分配, 随机模型, 系统密度演化方法, C_0 半群, 适定性

Abstract

Mobile communication is a new communication technology founded by Bell Labs. in 1970's. From the beginning of its commercial use in 1983, it has been widely used in many fields and become a popular communication tool. With the rapidly developing of the theory of mobile communication, many correlative fields make remarkably progress. Nowadays, there are so many national research institutions and communication companies, which put their energy into the research on the mobile communication theory analysis and the development of its production.

Theory analysis, field survey, and computer simulation are the primary tools to deal with research on mobile communication. Deep researching into the theory of mobile communication brought about the naissance of queueing theory. On the one hand, the progress of queueing theory impulses the evolution of the mobile communication technology. On the other hand, the vast new phenomena and new problems come forth from the developing mobile communication technology excite the extendability and update of the queueing theory.

In this thesis, we mainly use system density evolution method to study several stochastic problems in mobile communication, which can be dealt with queueing theory, including mobility management, channel allocation, fractal aspect of data stream, and

the well posed-ness of the density evolution equations of the queueing models.

The paper is arranged as follows:

(1) We study the problem of the mobility management. Mobile communication requires mobile terminal to be contacted with mobile network at any moment in order to establish connection as soon as there comes calling. Holding the rule of mobility of mobile terminal and the distribution of the count of a mobile terminal crossing the location areas is the precondition for designing location management scheme. We set up and analyze several models for mobile terminal crossing the location areas. Firstly, considering the cases of both delayed renewal process and Markovian arrival process, by setting up and resolving the density evolution, we obtain the distribution of the count of a mobile crossing the location areas. Secondly, considering the cases of both Poisson arrival process and Markovian arrival process in cellular, we obtain the distribution of the count of a mobile crossing the location areas and the distribution of the layer of the mobile terminal beingin. Finally, using the acquired distribution formula, we compare the cost of the basic location management scheme with that of the pointer forward scheme and the basic location management scheme to that of the ring scheme.

(2) We study the problem of channels allocation of base station of GPRS in mobile communication with two kinds of traffic, *i.e.*, real-time traffic and non-real-time traffic. Extending and optimizing the channels utilizing becomes more and more important as while as various business rush into mobile communication. In GPRS, when

we only consider voice calls traffic and packet data traffic, the channel allocation problem turns into multi-class server queueing models. The task in this chapter is detailed as follows: Firstly, we set up and analyze two models for channel allocation, which are Poisson arrival process for two and Poisson arrival process for voice calls traffic while Markovian arrival process for packet data traffic. Secondly, we obtain a numerical algorithm for solving the models established above. Finally, by using the algorithm, we analyze a real problem with MMPP.

(3) We study the fractal aspect of traffic in mobile communication. With the deep development of mobile communication, various business, including voice calls, data packet, and image, rush from mobile communication, while these traffic are not fitted Markovian process very well. Then, it is very important to depict traffic to queue models by obtaining some new approach. In this chapter, we integrate both system density evolution method and fractal-iterated function theory to research on fractal queueing system. Firstly, we introduce the fractal phenomenon and fractal-iterated function, and elicit affine transformation in random fractal-iterated function. Secondly, introduce the mathematic property of fractal-iterated function and the fractal character of traffic, prepared for following studying. Finally, combining fractal-iterated function theory with system density evolution method, we set up two models as discrete feedback, queueing system and continuous queueing system. These models can be reduced to ordinary queueing system.

(4) We study the well posed-ness of the density evolution

equations of the queueing models. By using system density evolution method, we can set up and analyze most stochastic models. In order to guarantee the applicability of these models, we should prove that density solution of the density evolution equation uniquely exists. Thus, we utilize C_0 -semi-group theory to prove well posed-ness of some density evolution equations. Firstly, introduce the C_0 -semi-group theory related with the well posed-ness of calculus equations and probability property. Secondly, prove that the time-dependent density solution of the density evolution equation of $M/M/\infty$ uniquely exists and strongly converges to its steady state density solution. Next extend the forenamed conclusion to general case, which cannot be decomposed to two bounded linear operators, and prove that the density solution of the density evolution equation of that class uniquely exists. Finally, prove that the density solution of the density evolution equation, which is obtained from mobile management in mobile communication, uniquely exists.

Key words mobile computing channels allocation, stochastic models, system density evolution method, C_0 -semi-group, wellposed-ness

目 录

第一章 移动通信与排队论	1
1.1 移动通信的发展	1
1.2 排队论的发展与方法	7
1.3 移动通信中的若干排队问题	10
1.4 论文工作与安排	16
第二章 移动通信中的位置管理模型	18
2.1 移动通信中的位置管理问题	18
2.2 移动台越区次数的模型	25
2.3 位置区分层时移动台越区次数的模型	33
2.4 位置区管理的优化策略	56
2.5 本章小结	60
第三章 移动通信中信道分配模型	62
3.1 移动通信的业务特征	62
3.2 信道分配模型	66
3.3 数值计算方法	77
3.4 本章小结	85
第四章 移动通信中的分形排队模型	86
4.1 奇妙的分形世界	86
4.2 移动通信中数据的分形特征	101
4.3 分形排队模型	108
4.4 本章小结	116
第五章 密度演化方程解的适定性	117

5.1 C_0 半群与微分方程解的适定性	117
5.2 $M/M/\infty$ 排队模型解的适定性与渐近行为	126
5.3 一类密度演化方法排队模型解的适定性	134
5.4 移动台越区次数模型解的适定性	140
5.5 本章小结	148
第六章 总结与今后的工作	149
6.1 论文的总结	149
6.2 存在的问题和对未来的展望	151
参考文献	153
附录 1 3.3.2 节程序清单	158
附录 2 4.1.3 节程序清单	160
致 谢	164

第一章 移动通信与排队论

1.1 移动通信的发展

1.1.1 远古时期人类进行通信的方式

《汉语大词典》中对通信的解释是：互通音信。《晋书·王澄传》：“因下牀而谓澄曰：‘何與杜弢通信？’”唐李德裕《代刘沔与回鹘宰相》：“又恐回鹘与吐蕃通信，已令兵馬把断三河口道路。”在《大不列颠新百科全书》(中文版)中，通信(Communication)被解释为：人们通过普通的符号系统交换彼此的意图。

在通信手段极其贫乏的古代，人们只能靠视觉和听觉进行较远距离的通信，传达紧急信息。《史记·周本纪》中记录了中国古代著名的“骊山烽火戏诸侯”的故事，叙述了西周末年，周幽王为讨好妃子而点燃烽火，使得众诸侯以为有敌人入侵的故事。其中“烽火”就起到了信息传递的作用：当边境出现敌方入侵时，一定范围内的烽火台会一个接一个地点燃起烽火，从而把紧急信息迅速传递到京都。这种通信方式在中国沿用了很久。北宋陆游的《秋晚登城北门》：“一点烽火传关信，两行雁带杜陵秋。”可见这一时期仍用烽火来报警。这种通信方式很接近今天的数字信号原理。即如果把“烽火”当作二进制信号，那么有烽火表示“有”敌