



国际信息工程先进技术译丛

CRC Press
Taylor & Francis Group

UMTS-HSDPA 系统的TCP性能

**TCP Performance
over UMTS-HSDPA
Systems**

(黎) Mohamad Assaad

(法) Djamal Zeghlache

郎为民 嵇英华

余信理 吴国学

著

译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

UMTS- HSDPA 系统的 TCP 性能

(黎) Mohamad Assaad

(法) Djamal Zeghlache

郎为民 嵇英华

余信理 吴国学

著

译



机械工业出版社

TCP Performance over UMTS-HSDPA Systems/by Mohamad Assaad,
Djamal Zeghlache. ISBN: 0-8493-6838-3

Copyright © 2007 by Taylor & Francis Group, LLC Authorized translation from English language edition published by informa, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, informa 公司出版, 并经其授权翻译出版, 版权所有, 侵权必究。

本书简体中文版授权机械工业出版社独家出版, 并限在中国大陆地区销售, 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis Sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

本书版权登记号: 图字 01-2008-1661。

图书在版编目 (CIP) 数据

UMTS-HSDPA 系统的 TCP 性能/ (黎) 阿萨德 (Assaad, M.), (法) 杰拉什 (Zeghlache, D.) 著; 郎为民等译. —北京: 机械工业出版社, 2009. 1

(国际信息工程先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-25453-9

I. U… II. ①阿…②杰…③郎… III. 移动通信—通信网
IV. TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 167887 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 张俊红 版式设计: 霍永明

责任校对: 姜 婷 封面设计: 马精明 责任印制: 邓 博

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2009年1月第1版 第1次印刷

169mm×239mm·12.25印张·233千字

0001—3000册

标准书号: ISBN 978-7-111-25453-9

定价: 30.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379764

封面无防伪标均为盗版

译者序

随着全球 3G 进入快速成长期,中国 3G 大规模建设的时间也日益临近。无论从运营商自身发展的需求,还是从国家做强电信产业链的战略需要来看,3G 在中国都是不可逾越的发展阶段。未来 3G 数据应用所带来的爆发式增长将带来总体市场规模的增加,相关产业链均能从中受益。

2008 年 5 月 24 日,工业和信息化部、国家发改委和财政部联合发布了《关于深化电信体制改革的通告》,正式宣布我国六大电信运营商将整合为三家。同时,三部委首次明确电信重组目标是发放 3 张 3G 牌照,改革重组与发放 3G 牌照相结合,重组完成后发放 3G 牌照。从目前技术升级的状况以及移动运营商 3G 建设的进度来看,中国政府会给每种 3G 标准颁发一张运营牌照。

当前,国内通信行业重点发展了具有自主知识产权的 TD-SCDMA 系统,实际上 WCDMA/UMTS 和 TD-SCDMA 系统在结构上都是蜂窝系统,都以码分多址技术为基础,所以其网络设计也存在着很多共同的特点。因此,目前相对更成熟的 WCDMA/UMTS 对于我们更快、更深入地研究 TD-SCDMA 系统有很重要的借鉴意义。

本书可分为两个部分。第一部分为读者提供了无线传输信道和 CDMA 技术的背景知识,主要包括无线信道、蜂窝系统中的 CDMA、通用移动通信系统(UMTS)和高速下行数据分组接入(HSDPA)等内容;第二部分重点对 TCP 与无线系统之间的交互问题进行研究,主要包括应用与传输控制协议、无线系统的 TCP 问题与增强方案和 UMTS-HSDPA 系统的 TCP 性能等内容。本书不仅适用于 UMTS 标准,也十分适用于 TD-SCDMA 系统,只需做出一些必要的修正,本书所包含的建模、规划和优化技术同样适用于 TD-SCDMA 系统。

本书由通信指挥学院的郎为民、江西师范大学的嵇英华以及湖北广播电视大学的余信理、吴国学共同翻译,湖北科技职业学院的王建秋、陈小黎、李珈、朱珺和通信指挥学院的王逢东、靳焰参与了本书部分章节的翻译,刘建国、杨扬、钟京立、毕进南、刘建中、李建军、胡东华、马同兵、熊华、孙月光、孙少兰和刘军等专家教授参与了本书初稿的讨论与修改,朱元诚、徐小涛、高泳洪、蔡理金和张昆绘制了本书的部分图表。华中科技大学的石永东、许昌春、熊志强和谢海涛对本书的初稿进行了审校,并更正了不少错误,在此一并向他们表示衷心的感谢。同时,本书是译者在尽量忠实于原书的基础上翻译而成,书中的意见与观点并不代表译者本人及所在单位的意见和观点。

由于 UMTS 技术还在不断完善和深化发展之中,新的标准和应用不断涌现,加之译者水平有限,翻译时间仓促,因而本书翻译中的错漏之处在所难免,恳请各位专家和读者不吝指出。

谨以此书献给我的妻子焦巧女士和爱女郎思媛!

郎为民

2008 年底

原 书 序

无线系统和网络正在逐渐从以话音为中心的第1代技术,演进到能够额外提供非实时低数据速率业务的数字系统。撇开从第1代到第2代的演进过程不说,蜂窝系统的数据速率仍然停留在较低的水平。相反,无线局域网能够提供较高的总数据速率,且从理论上讲,已经能够实现与互联网及其相关协议的兼容。后来引入了面向分组的蜂窝网络,这些网络能够兼容互联网协议(IP),或者能够与20世纪末出现的GPRS、EDGE、IS-95和IS-136系统实现互连互通。驱动因素主要是蜂窝网络和业务与互联网及相关多媒体业务兼容的呼声越来越高,以实现覆盖范围的最大化。如果不实现网络互联,蜂窝网络将无法从迅猛发展的互联网及不断增长的多媒体应用与业务中受益。

互联网和数据业务应用的不断深入,也催生了面向分组的系统。各种各样的高级无线电技术也为在无线网络中大规模引入多媒体业务提供了有利条件。最为常用的技术包括自适应调制与编码(AMC)、链路自适应、调度、复杂检测与编码技术以及诸多用于改善无线网络性能的方法。通过采用自适应调制与编码技术,可以实现较高的频谱效率;通过采用链路自适应技术,可以降低无线信道损耗;通过采用调度技术,能够支持智能分配与资源共享,以实现容量扩充;通过采用复杂的检测与编码技术,可以有效地解决多用户干扰问题。多发送多接收天线也可用于实现较高的数据速率,提高系统容量。事实上,达到高数据速率需要引入空域、时域和频域分集技术。无线局域网已经开始使用分集技术。蜂窝网络有望在不远的将来充分利用这三维领域中的相关技术。例如,欧洲的通用移动通信系统(UMTS)技术正在为此项演进作准备,作为UMTS空中接口以及接入网和核心网体系结构的标准制定机构,第3代协作项目组织(3GPP)已经连续发布多个版本标准,促进网络的融合。目前,3GPP正准备引入多天线技术,来完成UMTS体系结构增强版标准制定的最后一个阶段。

目前,不管是基于TDMA和CDMA的无线系统,还是基于OFDM的无线系统,在引入这些关键特征时都非常谨慎。第3代蜂窝系统有望通过分阶段引入自适应调制与编码(AMC)、调度和分集技术,来提高频谱效率(每个蜂窝的容量)和数据速率(每次会话或每种应用)。对应于欧洲WCDMA标准的UMTS FDD模式,从R5版本以后,开始包含了自适应调制与编码(AMC)、调度和混合自动请求重传(HARQ)技术。

但是,在初始阶段(即UMTS的R99版本中),主要是依靠基于CDMA的无

线和接入技术。该版本适用对象是 GPRS 核心网中的分组域, 可通过隧道协议和网关来提供部分 IP 融合业务。在演进过程中, 仅仅做到这一步还是远远不够的, 必须要实现与 IP 的完全兼容。R99 版本中规定的空中接口也无法提供所需的高数据速率。R99 之后的版本, 为了实现 GSM 和 GPRS 到 UMTS 3G 的平滑过渡, 从 R5 版本到 R7 版本, 在标准中都引入了大量增强方案, 来支持灵活的、具有自适应特性的分组传输, 并能够提供基于互联网的业务。由互联网工程任务组 (IETF) 提出的会话发起协议 (SIP) 也被 3GPP 采纳, 用于在 UMTS 中建立和控制会话, 其原理和流程与互联网非常类似。接着, 3GPP 又通过引入 IP 多媒体子系统 (IMS), 进一步增强了网络的融合能力。

在数据链路层 (无线链路控制和媒体接入控制) 和无线资源控制层, 第 1 个增强方案是在 R99 版本专用信道旁的共享信道下行链路中添加的。专用信道适用于实时业务, 但不适用于分组业务。如果仅使用专用信道, 则会浪费宝贵的资源 (对应于 CDMA 中的功率与代码), 容量也会大大降低。共享信道的引入能够节省能源, 降低干扰, 提高系统容量。最近, 在上行方向也添加了增强方案。

如前所述, 提高数据速率可通过在信道中引入自适应调制与编码 (AMC) 和无线链路自适应技术来实现。目前, 大多数系统将 AMC 和其他技术进行集成, 来提高空中接口的数据速率和可靠性。UMTS 数据链路层使用 HARQ 来重传接收错误的无线数据块, 以提高链路的可靠性。UMTS 中的标准测量方法和质量指示符, 为实现高效的调制与编码选择及链路自适应提供了多种方式。

除了在标准中引入 AMC 之外, 在共享信道上引入调度技术, 可以提高系统容量和提供基于分组的多媒体业务。共享信道上的调度技术必须充分考虑到无线信道状态、蜂窝中的移动位置以及用于提供有形吞吐量、容量、时延改善功能的业务类型。此外, 调度技术还必须确保用户和应用的公平性。

在网络中, 通过在空中接口引入新特征来提高数据速率和增强数据传输可靠性, 会对端到端的性能和效率产生一定的影响。基于 ARQ 与高层协议交互的重传机制, 尤其是对与 IP 同时使用以提供非实时业务的传输控制协议 (TCP) 来说, 影响会更加显著。实时业务通常使用用户数据报协议 (UDP) /IP 来提供, 流媒体业务通常使用实时流媒体协议 (RTSP) /实时传输协议 (RTP) /IP 来提供。跨层设计会对总的吞吐量和容量产生显著影响。在描述这些交互过程和提出用于防止或降低因在无线网络中引入 ARQ 及其他技术导致的任何一种负面效应的建议时, 尤其需要注意, 因为 ARQ 及其他技术不可避免地会与核心网中的拥塞控制机制发生相互作用。

在学术界, 早期已经有人对无线链路控制机制和 TCP 之间的交互进行了研究, 当空中接口上的随机误差被 TCP 错误地作为固定网络部分的拥塞进行处理时, 他们提出了许多 TCP 变种来降低和消除交互过程。在本书的第 6 章, 我们

将详细描述当前可用的大量 TCP 变种。当人们对 TCP 进行修改试图降低由发生在无线链路上的错误导致的跨层负面效应时,虽然一些方法给出了链路层的解决方案,可是大多数方法不符合端到端的 IP 范式。在这些方案中,目前只有少数方案在用。通常,在位于公用陆地移动网 (PLMN) 无线核心网边缘的网关处使用分离 TCP,将互联网与 PLMN 分离开来,这样可以避免 TCP 与无线链路误差与恢复机制之间的相互影响。在人们探索标准或原始 TCP 的替代方案时,由于一些 TCP 版本在互联网上得到了广泛的部署,因而已经成为事实上的标准。本书第 7 章将在详细分析采用 HARQ 和调度技术的 UMTS 的基础上,对常用的、公认的 TCP 版本进行介绍。

本书结构支持那些已经掌握了 UMTS 或 TCP 及其变种的读者,跳过某些章节,直接浏览他们感兴趣的文稿内容。本书的总体结构如图 1 所示,包含两个主要部分,第 1 部分 (第 1~4 章),主要提供无线网络的背景知识,尤其是作为第 3 代无线技术之一的 UMTS 网络背景知识。第 1 部分还对 UMTS R99 和高速下行链路数据分组接入 (HSDPA) 系统的蜂窝总容量进行了分析和建模。第 2 部分 (第 5~7 章) 主要研究 TCP 与无线系统之间的交互,这一部分对无线网络上的 TCP 进行了深入的研究,并对 UMTS 网络中的 HARQ 和 TCP 的交互 (包括 HSDPA 能力) 进行了分析,并建立了数学模型。

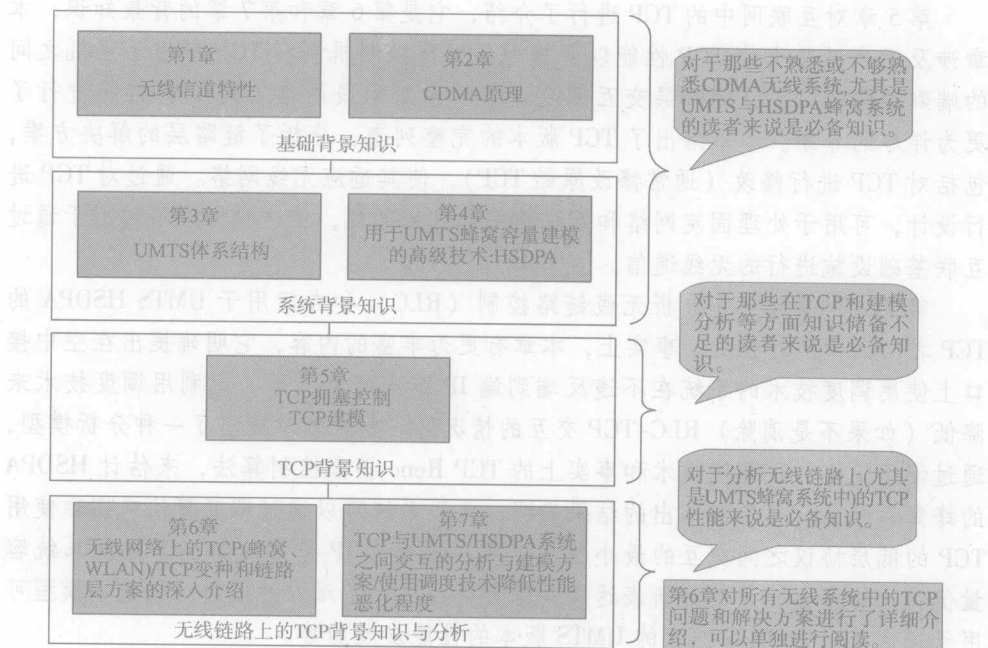


图 1 本书的总体结构

第1~4章提供了无线传播信道和蜂窝等典型网络（重点是 GSM 和 GPRS）的体系结构的背景信息，使读者对向 UMTS 的过渡有一个较为深入的理解。UMTS 网络在体系结构以及诸如 AMC、HARQ 和调度等方面特性将在后面进行描述。第1章对无线传播信道在路径损耗、快衰落和遮蔽等方面的特性进行了简要介绍，对信道响应行为进行了分析，并使用一节的篇幅来描述 UMTS 标准中规定的传播参考模型，用于设计各种环境条件下的系统。第2章为不熟悉 CDMA 系统的读者简要介绍了 CDMA 的工作原理。第3章首次引入了 UMTS 网络，给出了 UMTS 的总体结构，然后对标准中定义的物理信道和逻辑信道进行了描述。UMTS 无线链路层、媒体接入控制层、功率控制和切换等问题构成了本章的主要内容。

第4章描述了 UMTS R5 版本中引入的 HSDPA。HSDPA 通过在具有高速调度能力的共享信道上采用 AMC、HARQ 和调度技术，可以有效提高数据速率。一种新型定时结构可用于实现高效调度和获取有效的容量增益，这种定时结构的传输间隔粒度可达到 2ms 之低。同时，第4章还提供了在使用基于 Chase 合并的 HARQ 技术时，诸多重传机制的统计特性。第4章中的这些结果与调度和蜂窝容量模型一起，作为后面第7章推导端到端通信时 UMTS HSDPA 蜂窝容量公式的背景知识。

第5章对互联网中的 TCP 进行了介绍，它是第6章和第7章的背景知识，本章涉及无线链路上的 TCP 性能以及当无线链路控制机制和 TCP 应用于主机之间的端到端路径时面临的跨层交互问题。第6章对无线网络上的 TCP 性能进行了更为详尽的介绍。本章给出了 TCP 版本的完整列表，分析了链路层的解决方案，包括对 TCP 进行修改（通常修改原始 TCP），使其适应无线网络。通过对 TCP 进行设计，可用于处理固定网络和互联网中的拥塞问题，但这种方法不适用于通过互联基础设施进行的无线通信。

第7章乍看起来是分析无线链路控制（RLC）和专门用于 UMTS HSDPA 的 TCP 之间的作用过程的。事实上，本章有更为丰富的内容，它明确提出在空中接口上使用调度技术的系统在不违反端到端 IP 范式的情况下，比利用调度技术来降低（如果不是消除）RLC-TCP 交互的情况好一些。本章提出了一种分析模型，通过使用正比公平调度技术和事实上的 TCP Reno 拥塞控制算法，来估计 HSDPA 的蜂窝吞吐量。第7章给出的结果表明，无线系统可以通过调度算法来实现使用 TCP 的低层协议之间交互的最小化，以及在不违反 IP 范式的情况下实现系统容量优化。蜂窝吞吐量的分析表达式对容量行为进行了深入的描述。该数学模型可用于评估使用 HSDPA 技术的 UMTS 版本的性能发展趋势。

图1用于为读者学习每章内容提供潜在的线索，并描述对于熟悉无线系统或互联网协议但又对两者不是完全熟悉的读者来说，哪些章节可以跳过。熟悉无

线系统和 CDMA 原理的读者可以跳过第 1 章和第 2 章。第 3 章提供了 UMTS 网络体系结构方面的背景知识, 对于那些不熟悉第 3 代无线网络的读者来说是非常有用的。这 3 章和第 4 章对于那些仅具有互联网及其相关协议知识的读者来说是非常必要的。第 4 章对于所有不熟悉 HSDPA 的读者来说是必读的。第 5 章对 TCP 进行了描述, 并为第 6 章和第 7 章提供了必要的背景知识。熟悉 IP 和 TCP 知识的读者可以跳过第 5 章的内容。第 6 章和第 7 章给出了无线网络的 TCP 性能与用法。第 7 章对 UMTS HSDPA 系统的 TCP 进行了分析、建模和性能研究, 它尝试通过使用调度技术来降低 TCP 和 HSDPA 无线链路层机制之间的交互。

1	第 1 章 引言
2	1.1 背景知识
3	1.1.1 UMTS 的背景知识
4	1.1.2 无线网络的背景知识
5	1.2 无线网络的背景知识
6	1.2.1 无线网络的背景知识
7	1.2.2 无线网络的背景知识
8	参考文献
9	第 2 章 CDMA 中的背景知识
10	2.1 CDMA
11	2.2 CDMA 的背景知识
12	2.3 CDMA 的背景知识
13	2.3.1 正文
14	2.3.2 正文
15	2.4 CDMA 的背景知识
16	参考文献
17	第 3 章 UMTS 的背景知识
18	3.1 UMTS 的背景知识
19	3.1.1 背景知识
20	3.1.2 背景知识
21	3.1.3 背景知识
22	3.1.4 背景知识
23	3.2 背景知识
24	3.2.1 背景知识
25	3.2.2 背景知识
26	3.2.3 背景知识
27	3.2.4 背景知识

目 录

译者序

原书序

第1章 无线信道	1
1.1 大尺度衰落模型	3
1.1.1 UMTS的路径损耗模型	3
1.2 小尺度衰落特性与信道模型	5
1.2.1 接收信号包络的统计特性	6
1.2.2 无线信道响应的特性	7
参考文献	9
第2章 蜂窝系统中的CDMA	10
2.1 CDMA	10
2.2 CDMA的优势	11
2.3 CDMA码	13
2.3.1 正交码	13
2.3.2 扰码	15
2.4 CDMA接收机	18
参考文献	19
第3章 通用移动通信系统	21
3.1 UMTS业务	23
3.1.1 会话类应用	24
3.1.2 流类应用	25
3.1.3 交互类应用	25
3.1.4 背景类应用	26
3.1.5 服务质量参数	27
3.2 通用体系结构	27
3.2.1 用户设备域	28
3.2.2 UTRAN域	28
3.2.3 核心网域	29
3.2.4 接口	30

3.3	UTRAN 协议体系结构	31
3.4	UMTS 信道	33
3.4.1	逻辑信道	33
3.4.2	传输信道	34
3.4.3	物理信道	36
3.5	物理层	40
3.6	媒体接入控制	41
3.6.1	MAC 体系结构	42
3.6.2	协议数据单元	45
3.7	无线链路控制	47
3.7.1	透明模式	47
3.7.2	非确认模式	48
3.7.3	确认模式	49
3.7.4	RLC 发送端的 SDU 丢弃	49
3.8	包数据集中协议	51
3.9	BMC 和 MBMS	52
3.10	无线资源控制	52
3.11	自动请求重传协议	53
3.11.1	停止等待协议	55
3.11.2	滑动窗口协议	55
3.12	功率控制	56
3.12.1	开环功率控制	56
3.12.2	闭环功率控制	57
3.13	切换	58
3.14	建模与蜂窝容量	60
3.14.1	上行容量	60
3.14.2	下行容量	61
	参考文献	63
第 4 章	高速下行数据分组接入	66
4.1	HSDPA 的概念	66
4.2	HSDPA 结构	68
4.3	信道结构	70
4.3.1	HS-DSCH 信道	70
4.3.2	HS-SCCH 信道	71
4.3.3	HS-DPCCH 信道	73

4.3.4	HSDPA 信道的定时	74
4.4	MAC-hs	75
4.4.1	UTRAN 端的 MAC 体系结构	75
4.4.2	用户设备端的 MAC 体系结构	78
4.5	快速链路适配	79
4.6	自适应调制与编码	81
4.7	HARQ	83
4.7.1	HARQ 类型	83
4.7.2	HARQ 协议	84
4.7.3	HARQ 管理	87
4.8	分组调度	88
4.8.1	调度约束条件与参数	89
4.8.2	调度算法的选择	90
4.9	HSDPA 建模与蜂窝吞吐量	92
4.9.1	HARQ	92
4.9.2	AMC	93
4.9.3	调度	93
4.9.4	结论	95
	参考文献	97
第 5 章	应用与传输控制协议	101
5.1	UDP 业务	101
5.2	TCP 业务	102
5.2.1	万维网	103
5.3	TCP	105
5.3.1	连接建立与终止	105
5.3.2	TCP 分割	106
5.3.3	流量控制与滑动窗口机制	108
5.3.4	确认与纠错	108
5.3.5	拥塞控制与重传机制	110
5.4	TCP 建模	112
5.4.1	独立丢包模型	113
5.4.2	随机丢包模型	115
5.4.3	网络模型	116
5.4.4	控制系统模型	116
	参考文献	116

第 6 章 无线系统的 TCP 问题与增强方案	121
6.1 无线环境因素	121
6.1.1 有限带宽与长 RTT	121
6.1.2 高丢包率	122
6.1.3 移动性	123
6.1.4 非对称链路带宽	123
6.2 TCP 性能增强方案	124
6.2.1 链路层解决方案	124
6.2.2 分割方案	129
6.2.3 端到端解决方案	132
参考文献	145
第 7 章 UMTS-HSDPA 系统的 TCP 性能	153
7.1 TCP 性能	154
7.2 UMTS-HSDPA 系统 TCP 连接的通用体系结构	154
7.3 RLC、MAC-hs 和 TCP 之间的比较	157
7.3.1 可靠性	157
7.3.2 流量控制与滑动窗口	158
7.3.3 分割	158
7.4 UMTS-HSDPA 系统的 TCP 建模	158
7.4.1 超时	159
7.4.2 慢启动	160
7.4.3 第一次丢包的恢复时间	161
7.4.4 稳态阶段	162
7.4.5 无线网络上的 TCP 效应	163
7.5 UMTS-HSDPA 系统的其他 TCP 分析	167
参考文献	168
附录 英文缩略语对照表	171

第1章 无线信道^①

在无线传播信道传输的无线信号易受到多种不良影响和效应的影响,通过对这些不良影响和效应进行描述,可以使大家对无线系统的概念和设计有一个更为深入的理解,尤其是天线系统和接收机。无线传播信道的概念和特点已经在许多专著中介绍过,本书仅对其进行简要介绍,重点介绍与系统设计和容量估计相关的基础理论和内容。系统设计的目标是实现容量的最大化,并确保系统在各种传播条件下都能正常工作。对于 HSDPA 来说,要求在市区环境中实现这一优化目标。

无线系统的接收信号易受到多种现象的影响,主要包括:

1) 由于发射机和接收机之间存在着一定距离,因而容易产生路径损耗。用户的周边环境能够在中等范围内数百波长量级对平均接收信号能量产生影响,形成遮蔽效应。

2) 通过使用随机信号幅度、相位、能量和功率变化来表示信号包络快衰落,衰落点在空间上的分布是近似的相隔半个波长。

3) 因用户或终端移动性造成的多普勒效应,这是一种与机动车辆或终端设备速率成正比的扩频现象。

这些效应主要是由于无线电波通过无线信道传播造成的。这些无线电波在遇到障碍物时,易产生反射、衍射和散射。当电波信号传播碰撞到远大于信号波长的障碍物时,就会发生反射,反射主要取决于物质特性、电波极化方向、入射角和工作频率。当发射机和接收机之间的障碍物具有诸如建筑物的明显不规则表面(边缘)时,就会产生衍射现象。当单个物体形成遮蔽时,其衰减可以通过将障碍物看作是衍射刀口进行估计。当无线电波穿过的介质是由多个小物体组成,这些物体的尺寸小于无线电波的波长,且障碍物的数目特别大时,就会产生散射现象。通常情况下,当无线电波碰到粗糙的表面、植物或小型物体时,就会产生散射波。地形的不规则、陆地类型和环境形态也会对无线信号产生影响。这些效应通常会包含在传播模型中,并在进行网络规划时加以考虑。

在建立传播信道模型时,通过简化假设条件,可将接收机天线处的信号能量或功率表示成一个包含发射机到接收机距离、频率、天线高度和环境类型(农村、郊区、市区和室内)等参数的函数。该公式可以满足初始和粗略网络规划

^① 本章是与法国 Evry 国立电信学院(INT)无线网络与多媒体业务系副教授 Abdelwaheb Marzouki 共同编写的。

的要求。

接收机的设计,尤其是高级接收机的设计,需要对接收信号进行精确的描述。在这种情况下,通常将传播信道看作是一种非线性时变滤波器,此时模型主要取决于脉冲响应特性以及信号包络和相位的统计特性。

总之,在研究移动传播信道时,通常需要对以下4个方面内容进行分析和描述:路径损耗、遮蔽、快衰落和多普勒效应。衰落问题可进一步细分为大尺度衰落和小尺度衰落,如图1-1所示。大尺度衰落对应于由广域范围内移动带来的平均信号功率衰减。小尺度衰落表示短距离(数个波长)内衰减的变化情况,它主要是由

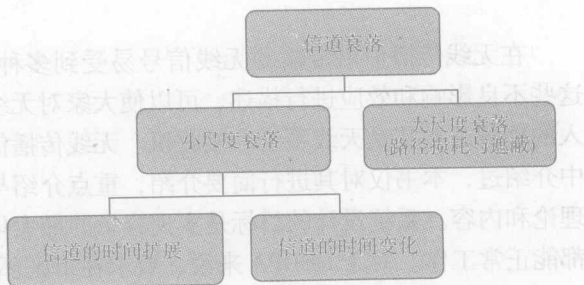


图 1-1 信道衰落问题的分类
(大尺度衰落和小尺度衰落)

多径传播造成的。当无线电波碰到障碍物时,易产生反射现象,这样天线就会接收到传输信号的多个副本,从而形成一个幅度和相位高速变化的合成信号。这就是我们通常所说的快衰落或小尺度衰落,它主要是由于在几个波长量级的范围内发生的,如图1-2所示。

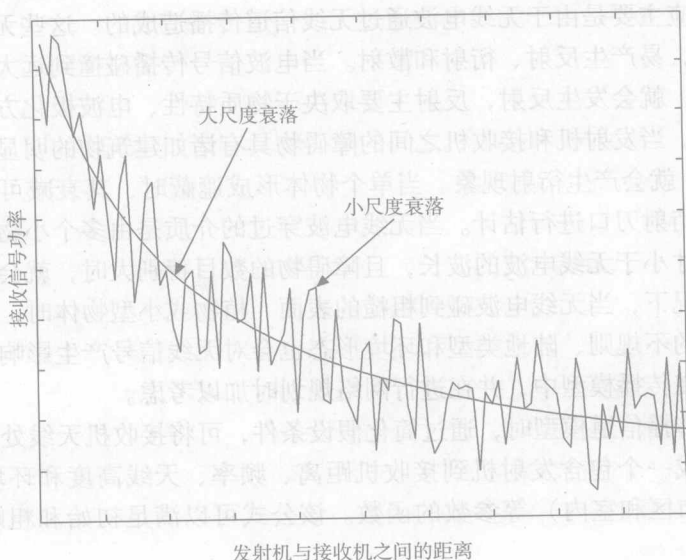


图 1-2 无线信道接收信号功率的大尺度衰落和小尺度衰落效应

由多径传播造成的快衰落,可以通过分析接收到的多个路径或信号副本的功率时延谱来描述。功率时延谱给出了第一个和最后一个接收到的路径之间的时延扩展,同时也给出了每条路径上可用能量或功率。我们将这种信号能量在时域上的时间扩展称为时延扩展。终端或用户移动性和速率会导致载波频率或系统工作频率的多普勒扩展。通过由时域向频域的傅里叶变换,有可能证明将传输信道看作是由多径现象和用户/终端速率造成的双重扩展或色散信道是可行的。多径现象引起频率选择性衰落,多普勒扩展会导致移动无线传播信道的频率选择性衰落。

下面将对这些传播信道现象的详细特性进行描述,首先对大尺度衰落进行研究。

1.1 大尺度衰落模型

大尺度衰落用于描述较长时间内的平均路径损耗变化范围。它是一个随机变量,服从对数正态分布,可由关系式表示为:

$$L_p(d) = X_a + \overline{L_p}(d) \quad (1-1)$$

其中, d 代表发射机和接收机之间的距离; X_a 是一种零均值的高斯随机变量,单位为分贝 (dB); $\overline{L_p}(d)$ 是平均路径损耗,对于给定的 d 值,不同地点产生的路径损耗不同。

对数正态分布可通过统计拟合来获取,平均路径损耗的表达式为

$$f_A(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma a} e^{-\frac{(\log(a) - \overline{L_p}(d))^2}{2\sigma^2}} \quad (a > 0) \quad (1-2)$$

式 (1-2) 有时是有用的,尤其是在处理蜂窝规划问题时。平均路径损耗能够使用下述形式表示:

$$\overline{L_p}(d) \text{ (dB)} = \overline{L_s}(d_0) \text{ (dB)} + 10n \log(d/d_0) \quad (1-3)$$

其中, $\overline{L_s}(d_0)$ 是参考距离 d_0 处的信号路径损耗,参考距离 d_0 对应于天线远场中的某点。

通常情况下,对于大蜂窝来说, d_0 的取值为 1km; 对于微蜂窝来说, d_0 的取值为 100m; 对于室内信道来说, d_0 的取值为 1m。 n 的取值取决于环境类型,对于自由空间来说, $n = 2$; 当存在强导波时, $n > 2$; 当存在大型障碍物时, $n < 2$ 。系数 n 也可通过将表达式 (1-3) 与信道路径损耗模型进行换算得到,后者可通过将实验测量拟合与物理假设进行组合得到。

1.1.1 UMTS 的路径损耗模型

国际电信联盟 (International Telecommunication Union, ITU)、欧洲电信标准