

IT 先锋 系列丛书

CDMA 移动无线电设计

CDMA Mobile Radio Design

John B. Groe 著
Lawrence E. Larson

杨家玮 刘勤 刘静 译

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

IT 先锋系列丛书

CDMA 移动无线电设计

John B. Groe Lawrence E. Larson 著

杨家玮 刘 勤 刘 静 译

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

CDMA 移动无线电设计/(美)格罗(Groe,J.B.)著;杨家玮,刘勤,刘静译.
—北京:人民邮电出版社,2002.8

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-10357-7

I. C… II. ①格…②杨…③刘…④刘…

III. 码分多址—数字通信:移动通信—系统设计

IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 038246 号

内 容 提 要

本书详细阐述了 CDMA 移动通信系统的无线电设计,涵盖系统、结构、电路设计。内容包括无线通信与数字系统概述,语音编码、数字调制解调技术,数据变换器、数字系统与听觉变换器(麦克风和扬声器)的接口电路,射频(RF)收发信机、移动电台与无线接口,下一代无线通信技术与标准等。

本书重点突出 CDMA 设计的关键问题,实用性强,是电子工程、通信工程专业师生以及移动通信工程技术人员的常备工具书。

IT 先锋系列丛书

CDMA 移动无线电设计

-
- ◆ 著 John B.Groe Lawrence E.Larson
译 杨家玮 刘 勤 刘 静
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>
读者热线 010-67180876
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 14.5
字数: 307 千字 2002 年 8 月第 1 版
印数: 1-4 500 册 2002 年 8 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记 图字: 01-2002-0393 号

ISBN 7-115-10357-7/TN · 1892

定价: 25.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010) 67129223

版 权 声 明

本书为阿尔泰克出版社(ARTECH HOUSE, INC.)独家授权的中文译本。本书的专有出版权属人民邮电出版社。未经原版出版者和本书出版者的书面许可, 任何单位和个人不得擅自复印、复制、摘录本书的部分或全部内容, 也不得以任何形式(包括资料和出版物)进行传播。

版权所有, 侵权必究。

© 2000 ARTECH HOUSE, INC.

本书原版版权属 ARTECH HOUSE, INC.

本书原版书名 CDMA Mobile Radio Design

作者 John B. Groe Lawrence E. Larson

译者前言

近 10 多年来,移动通信在世界范围内得到迅猛发展。在我国,其发展速度更是超过人们的各种预测。随着用户数量的急速增长,有限的频率资源更加紧张。寻求一种在有限频带内可提供更大容量的无线移动技术是近年来移动通信领域中研究的一个焦点。以扩频技术为基础的码分多址(CDMA)系统可提供更大的容量。窄带 CDMA (IS-95A)技术已趋成熟,设备已用于实际网络。宽带 CDMA (UMTS 和 cdma2000 等)已成为第三代移动通信系统(3G)的首选方式,其标准已完成,技术与设备正在开发与研制,实用网络即将投入商用。我国对 CDMA 的技术研究、设备研制、系统开发、网络工程等正在广泛的范围内展开。实际上,对 CDMA 系统的研制开发已成为我国在移动通信领域赶上世界先进水平的契机。在此背景下,国内外近年来出版了许多关于 CDMA 的书籍。其中,John B. Groe 撰写的“CDMA Mobile Radio Design”是一本独特的专著。它从无线电路设计的角度对 CDMA 技术作了较全面的阐述。其内容不但涉及到码分多址移动通信系统的基本原理和协议,而且更涉及到 CDMA 无线收发信机的电路设计的各种关键技术,并将各方面内容有机地联系在一起。本书与许多主要讲协议、接口和网络的书相比,是一本颇具特色的关于 CDMA 技术的专著。它为读者提供了深入理解 CDMA 系统及其电路设计的参考资料。

本书从移动无线电通信的基本概念和原理入手,讨论和分析了 CDMA 移动通信系统,特别强调了 CDMA 无线系统的工程设计问题。本书介绍了无线通信的若干基本问题和 CDMA 的基本概念,以及 IS-95 的空中接口标准;讨论了含有 DSP 和 MCU 的数字系统设计的问题,包括数字信号处理技术基础、语音信号编码、数字调制解调、模/数和数/模变换等;对 CDMA 系统的射频(RF)电路的设计问题进行了详细的分析和讨论,包括射频系统基础、射频发射电路、射频接收电路;介绍了下一代 CDMA 系统,即 3G 系统的设计问题,以及采用数字信号处理技术的先进 CDMA 技术。

本书重点是 CDMA 无线系统的电路设计问题。本书的读者对象为从事 CDMA 系统的研究、开发和设计的工程技术人员,高等院校的本科生、研究生,以及其他对移动通信感兴趣的读者。

本书第 1 章、第 2 章、第 4 章和第 5 章的翻译工作由杨家玮完成,第 3 章、第 6 章、第 7 章和第 8 章的翻译工作由刘勤完成,第 9 章、第 10 章和第 11 章的翻译工作由刘静完成。全书由杨家玮审校。限于译者水平,译文中恐有不当之处,诚望读者批评指正。

译者

2002 年 4 月于西安

前 言

无线通信正在飞速发展。从 1991 年到 1999 年,用户的数量从 2500 万增加到 2.5 亿。令人难以置信的是预计再过 7 年,用户数将是现在的 4 倍,即超过 10 亿[1]。这种发展速度类似于因特网的发展速度,超过了其他电子产品消费的发展速度。

最初,无线通信是被移动语音业务激发并供之使用的。稍后,最初的模拟系统用数字技术进行了改进,这样能提供更强的稳健性和更大的用户容量。在不久的将来,数字系统将进一步增加以满足用户对大容量高速移动数据业务的需求。

无线通信依靠多址访问技术来共用有限的无线频谱资源。这些技术使用频率、时间和功率来划分宝贵的无线频谱,它们用严格规定的标准来描述。这样,基础设施和用户设备可以来自不同的制造厂商,并且能够互换。

本书详述了移动电话的全部工作。它描述码分多址(CDMA)的设计问题,而不是介绍任何标准都可使用的概念和原理。这本书着重 CDMA,因为下一代标准就基于这种多址接入技术。

本书对所有构成移动电台的不同概念做了独特的组合。其中的每个概念本身的内容都是可以写成一本书或者数本书的合适的材料,但是本书中它们是以突出关键设计问题和强调与移动电台其他部分的连接这样的方式介绍的。

第 1 章介绍了一些无线通信的基础。它描述了与陆上通信业务相连的无线网络和通过网络进行通信的过程。它阐明了无线传播的效应并揭示了其对移动电话的影响。本章同时列出一些常见的无线标准。第 2 章给出了 CDMA 的概述。它介绍了基本概念并突出了满足 CDMA IS95 标准的关键空中接口的规范。

第 3 章介绍了数字系统,它包括数字信号处理器(DSP)和微控制单元(MCU)。该章揭示了数字系统的许多重要作用。它也回顾了一些数字信号处理基础并描述了一些在结构上的折衷。第 4 章介绍了语音编码,这是一种数字系统的关键技术。它也说明了语音信号是如何转变成低比特速率的数据流以及相反的过程。第 5 章给出了关于数字调制和解调的详细资料。它介绍了实用的 Rake 接收机,也说明了在网络中接收机的运作。并且,本章指出了主要的定时问题以及无线网络中它们对移动电话性能的影响。

第 6 章描述了数据变换器、数字系统与听觉变换器(麦克风和扬声器)的接口电路以及射频(RF)收发信机。这一章分析了这些接口的非理想效应,也介绍了基本的数据变换技术。

第 7 章是围绕 RF 收发信机以及移动电台与无线接口的连续 3 章中的第 1 章。它从系统的观点说明了 RF 发射机和接收机,也提供了关于增益失真和信号完整性的重要知识。本章也介绍了移动电台中频率合成与频率设计的知识。第 8 章详述了 RF 发射机。它说明了在 D/A 变换器的输出端和天线之间的发射电路。此章包括 I/Q 调制器、可变增益放大器(VGA)、上变频器、滤波器、驱动器和功率放大器(PA)。第 9 章详述了 RF 接收机的工作。它以电路级

的观点给出了对从天线到 A/D 变换器输入端的接收机的解释。这一章包括了低噪声放大器 (LNA)、混频器、VGA、I/Q 解调器和滤波器。

第 10 章说明了下一代无线业务及其标准。这一章指出了对 CDMA IS-95 的改进, 它将适应更多的用户和更高的数据速率。此章也详述了最主要的下一代 CDMA 提案。第 11 章阐明了支持改进的 CDMA IS-95 性能并满足下一代 CDMA 网络需要的结构的进展。此章的主要方面包括 DSP、RF 发射机和 RF 接收机。

这本书的范围包括系统、结构和电路。由几位同事对它进行了审阅。在此我们感谢 Nokia Mobile Phones 的 Tom Kenney、Ryan Heidari、Sassan Ahmadi 和 Ken Hsu, New Mexico Technical University 的教授 George Cunningham, University of California—Los Angeles 的教授 Behzad Razavi, University of California—San Diego 的 Laurence Milstein、Peter Asbeck、Anthony Acompora 和 Ian Galton, University of Toronto 的教授 John Long, Sierra Monolithics 的 David Rowe。

参 考 文 献

- [1] Viterbi, A. J., *CDMA: Principles of Spread-Spectrum Communications*, Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.

作者简介

John B. Groe 于 1984 年在 Long Beach 的 California State University 获得电子工程理学学士学位，于 1990 年在 University of Southern California 获得电子工程理学硕士学位。

1980 年，他进入了 TRW，成为 RF 技术员。从 1983 年到 1991 年，他设计通信和雷达应用中的 RF、锁相环和数据变换器集成电路。从 1991 年到 1993 年，他在 Brooktree Corporation 工作，为自动检测设备市场设计集成电路。从 1993 年到 1996 年，他进入 Pacific Communication Sciences 有限公司为日本 PHS 通信系统设计集成电路。1996 年，他进入 Nokia 有限公司，如今他管理射频集成电路的设计工作，并指导对先进的 CDMA 移动电台结构研究。他的研究在减小信道损伤和 RF 接收机非线性影响的数字信号处理技术领域具有重要意义。

Groe 是 IEEE 高级会员。他在无线通信领域有 5 个美国专利，还有数个待决专利。

Lawrence E. Larson 于 1979 年在纽约 Ithaca 的 Cornell University 获得电子工程理学学士学位，于 1980 年获得工程硕士。他于 1986 年在洛杉矶的 University of California 获得电子工程博士学位。

1980 年，Dr. Larson 进入 Hughes Research Laboratories，在此他指导多种雷达和通信应用的高频 InP、GaAs 和硅集成电路发展工作。从 1994 年到 1996 年，他在 Hughes Network Systems，指导无线通信应用的 RF 集成电路研制。他在 1996 年进入圣地亚哥的 University of California 就职，成为 Communication Industry Chair 创立所有人。Dr. Larson 已经发表 120 多篇文章，拥有 21 项美国专利。他撰写专著“RF and Microwave Circuit Design for Wireless Communications”，由 Artech House 出版。

Dr. Larson 以在低噪毫米波 HEMT 的工作成为 1996 年 Lawrence A. Hyland Patent Award of Hughes Electronics 和 IBM General Managers Excellence Award 的共同获得者。他是 IEEE 会员。

目 录

第 1 章 无线通信引言	1
1.1 蜂窝无线通信的网络结构	1
1.2 数据通信技术	3
1.3 无线通信协议	4
1.4 移动无线环境中的电波传播	6
1.4.1 路径损耗	6
1.4.2 多径衰落	6
1.4.3 通信信道建模	10
1.5 无线标准	11
参考文献	13
第 2 章 CDMA 的概念	15
2.1 直接序列扩频通信	15
2.1.1 扩频码	17
2.1.2 扩频性能	18
2.2 CDMA IS-95 空中接口概述	19
2.2.1 前向链路	19
2.2.2 反向链路	23
2.2.3 功率控制算法	25
2.2.4 性能小结	26
参考文献	27
第 3 章 数字系统	28
3.1 结构问题	28
3.1.1 微控制单元(MCU)	28
3.1.2 数字信号处理器(DSP)	29
3.1.3 内存(memory)	30
3.2 MCU 功能	30
3.2.1 协议管理	31
3.2.2 功率管理	31
3.3 数字信号处理算法	32

3.3.1 采样定理	33
3.3.2 采样速率变换	34
3.3.3 数字滤波器	35
3.3.4 快速傅立叶变换(FFT)	38
3.3.5 窗操作	39
3.3.6 检测过程	40
参考文献	43
第4章 语音编码	44
4.1 人类语音特征	44
4.2 语音编码算法	46
4.2.1 波形编码器	46
4.2.2 声码器	48
4.2.3 用于无线通信系统的语音编码器	55
4.3 语音质量	55
参考文献	57
第5章 数字调制解调器	59
5.1 数字调制器	59
5.1.1 同步	60
5.1.2 信道编码	60
5.1.3 信号滤波	64
5.2 数字解调器	68
5.2.1 导频捕获	68
5.2.2 载波恢复	69
5.2.3 信号校正	71
5.2.4 数据检测	74
5.2.5 数据恢复	76
参考文献	80
第6章 数据变换器	82
6.1 A/D 变换	82
6.1.1 理想采样过程	83
6.1.2 非理想效应	85
6.2 A/D 变换器结构	86
6.2.1 并行 A/D 变换器	86

6.2.2 多级 A/D 变换器	88
6.2.3 算法 A/D 变换器	89
6.2.4 噪声整形 A/D 变换器	90
6.3 D/A 变换	94
6.3.1 理想过程	94
6.3.2 非理想影响	95
6.4 D/A 变换器的结构	97
6.4.1 比例 D/A 变换器概念	97
6.4.2 过采样 D/A 变换器	98
参考文献	98
第 7 章 RF 系统基础	100
7.1 RF 工程概念	100
7.1.1 双工操作	101
7.1.2 频率变换	101
7.1.3 相位调制	102
7.1.4 噪声	104
7.1.5 失真	105
7.2 频率合成	108
7.2.1 PLL 工作模式	108
7.2.2 同步模式中 PLL 工作	109
7.2.3 PLL 非理想效应	110
7.3 发射机系统	111
7.3.1 寄生响应	112
7.3.2 频谱再增	113
7.3.3 噪声	114
7.3.4 增益分配	115
7.4 接收机系统	116
7.4.1 灵敏性	117
7.4.2 选择性	118
7.4.3 误比特率和误帧率	121
7.4.4 增益分配	121
参考文献	123
第 8 章 RF 发射机电路	124
8.1 I/Q 调制器	125

8.1.1 I/Q 调制器的非理想效应	125
8.1.2 I/Q 调制器电路技术	126
8.2 RF 发射机中的功率控制	128
8.3 上变频设计	129
8.4 SAW 滤波器技术	130
8.5 应用于发射机的功率放大器	133
8.5.1 PA 设计技术要求	133
8.5.2 PA 设计技术	135
8.5.3 PA 的器件	138
参考文献	140
第 9 章 RF 接收机电路	142
9.1 RF LNA	142
9.2 下变换混频器	149
9.2.1 无源混频器设计	151
9.2.2 有源混频器设计	153
9.3 自动电平控制	155
9.4 I/Q 解调器	156
9.5 基带信道选择滤波器	157
参考文献	160
第 10 章 下一代 CDMA	163
10.1 下一代 CDMA 概念	163
10.1.1 下一代 CDMA 及其物理信道	164
10.1.2 下一代 CDMA 中的多速率设计	165
10.1.3 下一代 CDMA 的扩频技术	166
10.1.4 下一代 CDMA 先进的差错控制技术	169
10.1.5 相干检测方法	171
10.1.6 下一代 CDMA 的互操作性能	172
10.2 单载波 CDMA 方式	172
10.2.1 单载波方式中的前向链路	173
10.2.2 单载波方式的反向链路	175
10.2.3 捕获和同步	177
10.2.4 快速功率控制	177
10.2.5 单载波方式的空中接口	178
10.3 TDD CDMA 方式	179

10.4 多载波 CDMA 方式	180
10.4.1 多载波方式的前向链路	180
10.4.2 多载波方式的反向链路	182
10.4.3 功率控制	183
参考文献	183
 第 11 章 先进的 CDMA 移动无线装置	186
11.1 数字信号处理的进展	186
11.1.1 DSP 性能	186
11.1.2 数字接收机的改进	187
11.2 先进的 RF 接收机	191
11.2.1 镜像抑制技术	192
11.2.2 直接变换接收机	194
11.2.3 数字 IF 接收机	197
11.2.4 先进的 RF 接收机结构比较	198
11.3 先进的 RF 发射机	199
11.3.1 直接变换发射机	199
11.3.2 SSB 技术	200
11.3.3 放大器线性化的预失真技术	201
11.3.4 前馈 PA	203
11.3.5 带有非线性电路的线性化 PA	205
11.4 先进的频率合成器	206
参考文献	209
 术语表	 212

第1章 无线通信引言

第1章重点：

- 蜂窝无线通信的网络结构
- 数据通信技术
- 无线通信协议
- 移动无线环境中的电波传播
- 无线标准

无线技术提供范围不受限制的业务,它有更多的自由度以及实现“任何时间、任何地点”通信的潜力。消费者非常欢迎这些业务,其用户数量正以惊人的速度增长并将继续增长,如图 1.1 所示[1]。无线通信的增长和热潮是由使得便携式无线电设备更小更便宜更可靠的技术进步所驱动。这些技术进步包括改进的信号处理技术,创新的数字和射频(RF)电路设计,以及新的大规模集成电路的方法。

本章介绍和描述了无线网络的关键问题,探讨了对无线电通信提供支持的有线骨干网络。综述了用于有线和无线网络两者的通信过程。本章还详细描述了无线电链路的特性,它使无线电设计变得复杂,并产生了各种各样的无线标准。

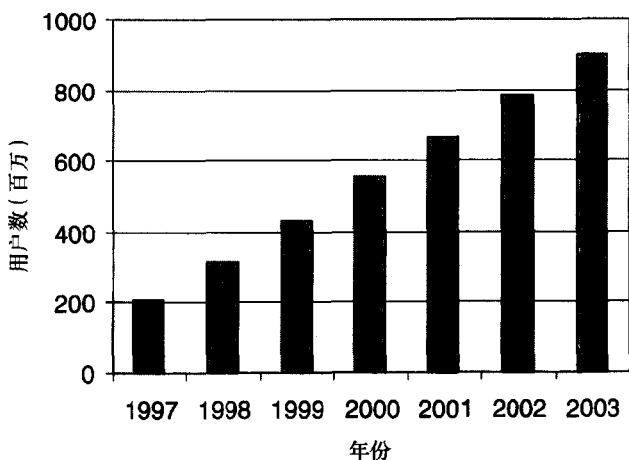


图 1.1 无线用户数的增长

1.1 蜂窝无线通信的网络结构

无线网络支持移动无线装置与称为基站的静止收发信机^①之间跨越空中的通信。这些链

^① 发射机与接收的组合。

路仅在短距离内是可靠的，典型距离为数十米到几公里。因而，要覆盖大范围的地理区域(例如一个城市)就需要许多基站构成的网络。基站通过连接到外部网络的移动交换中心与公共电话交换网(PTSN)、综合业务数字网(ISDN)和因特网实现互通。无线网络结构是移动台、基站、移动交换中心以及外部网络的互联，如图 1.2 所示。

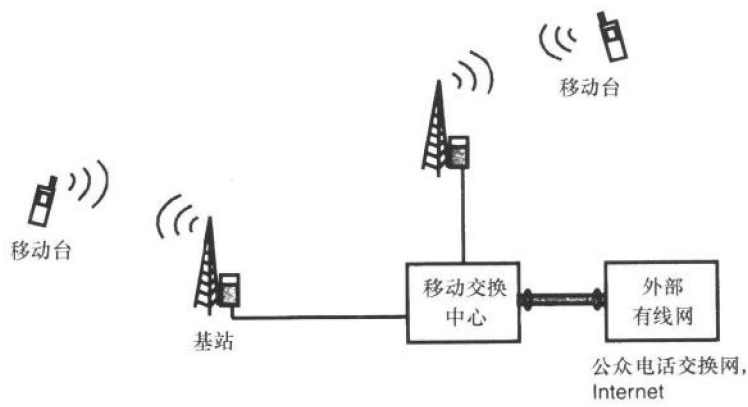


图 1.2 无线网络结构

移动无线台在网络范围内自由运动。它依靠无线电信号构成的空中链路连接到基站，因而需要 RF 收发信机。为了支持现代通信方式，移动台包括了一个微控制单元(MCU)和一个数字信号处理器(DSP)，它们在发射前处理信号并对接收的信号进行解调。现代移动台结构包含一个 RF 收发信机和一个数字系统(图 1.3)。

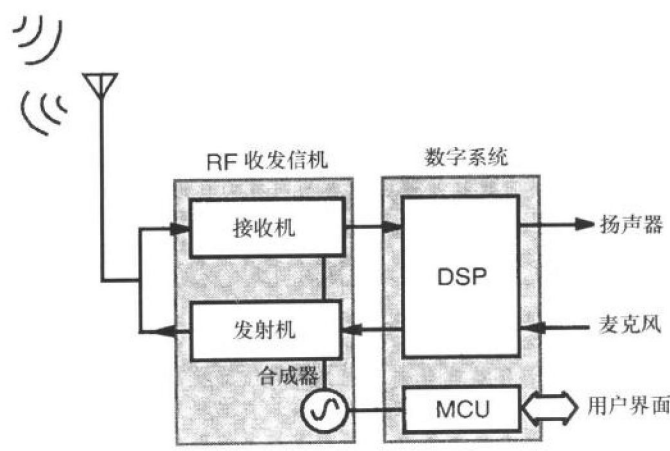


图 1.3 移动台结构

基站将无线电信号转换成有线网络可读的数据分组和信令消息，然后将这些信息传送给移动交换中心。

移动交换中心根据信令消息为数据分组确定路由，通常不产生消息。有时，移动交换中

心可能需要发送询问来寻找无线用户或者本地便携号码(800 - 与 888 - 号码)。

外部网络提供连接移动交换中心的通信干线。它为数据分组确定路由, 为认证掩蔽消息, 确认路由的完整性, 并转换协议。外部网络也可以作为通向不同网络的网关。

移动交换中心和外部网络是信号传送点, 具有指示网络故障和监管话费清单的测量能力。网络具有冗余度, 允许绕过故障节点再选路由。

网络还包括与计算机接口和提供数据库接入的业务控制点。例如, 移动交换中心利用业务控制点接入归属位置寄存器(HLR)、访问位置寄存器(VLR)和操作维护中心(OMC)。这些数据库列出归属业务区域内的用户, 跟踪覆盖区域内任意漫游(即访问)用户, 并保存相应的数据文件。

有关网络结构的更多信息可在[2—4]中找到。

1.2 数据通信技术

现代有线和无线网络依靠数字技术实现高效率通信。这些技术将消息信号格式化数据分组, 从而允许多个用户在较高的网络层被“捆绑”在一起。这点是很重要的, 原因是这样将减少为连接一组用户所需要的物理连接的数量。捆绑在信号传送点实现, 一般采用时间复用方式[2]。

基本有线电话信道对于单个用户可支持的数据速率为 64kbit/s; 数字和光纤数据干线可承载更高的数据速率, 如表 1.1 所列。

表 1.1 数字和光纤网的数据率[2]

载体名称	类型	带宽	信道数
DS0	数字	64kbit/s	1
T-1	数字	1.544Mbit/s	24
T-3	数字	44.736Mbit/s	672
STM-1	数字	51.84Mbit/s	810
STM-3	数字	155.52Mbit/s	2430
STM-16	数字	2488.32Mbit/s	38880

数据分组由电路交换或分组交换的连接通过网络传送。在电路交换网中, 用户与目的节点之间的路径在连接建立时刻即被设置, 所需要的资源被保留直至连接中断。在分组交换网中, 路径不固定, 是根据网络负载状况动态选择, 并且目的地址被添加在每一个分组上。

电路交换网提供低时延的专用连接, 而分组交换网支持高效率的灵活性。分组交换网较为复杂, 其数据分组可以取不同的路径且可以不按次序地接收; 因而, 数据分组必须先重新组装再送给用户。

1.3 无线通信协议

通信网的多个用户被路由和流量控制过程组织在一起，这些控制过程称谓协议。协议是通信网中管理数据传输和恢复的一组规则。这些规则确保数据能可靠无损地传输，并且提供网络管理功能。

协议通常按一个通信“栈”中的分层来组建。在某一时刻，数据或上或下通过栈中的某一层，在每一层中完成特定的功能。

多数通信网遵循开放系统互连(OSI)模型[5]。图 1.4 (a)表示有线网典型的 OSI 协议栈，它包括 7 层协议栈，即物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。无线通信网中，使用 OSI 模型的一种变形(7 号信令系统(SS7)模型[2-3])。图 1.4 (b)是无线网络遵循的 SS7 协议栈，这四层协议栈影射了 OSI 模型的低三层，并将高层组合成单一的应用层。

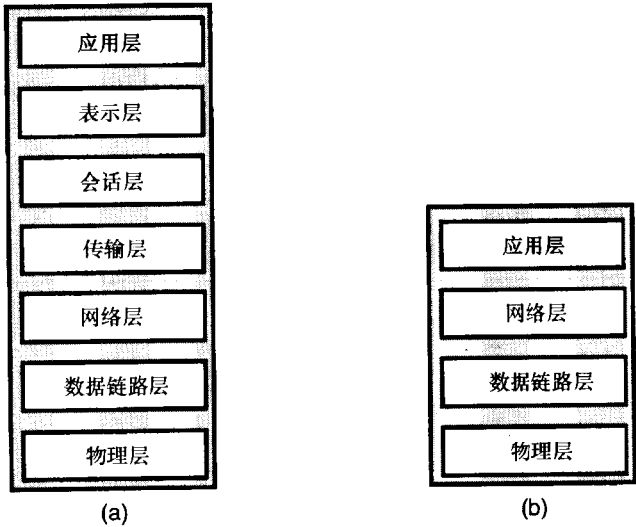


图 1.4 网络协议模型

协议栈定义了网络中每个信号传送点或节点的结构。物理层用来连接这些节点并提供通过网路的路径，和数据链路层及网络层一起实现控制信号的转换和数据格式的变换来与不同网路通信。数据总是从协议栈的一层流向下一层以保证通信的稳固性，移动通信中数据流通过协议栈的流向如图 1.5 所示。

协议栈中的每一层执行由通信网络拓扑所确定的基本操作。下面概述这些操作。

物理层是两个通信节点之间的接口。在无线网络中，物理层是移动终端与基站之间的空中接口。对于一个典型的有线网络，该层是数字或光纤干线。物理层对协议栈中的高层提供传递业务。这些传递业务使用物理信道，又称为传输信道，由规定的速率，调制方式，