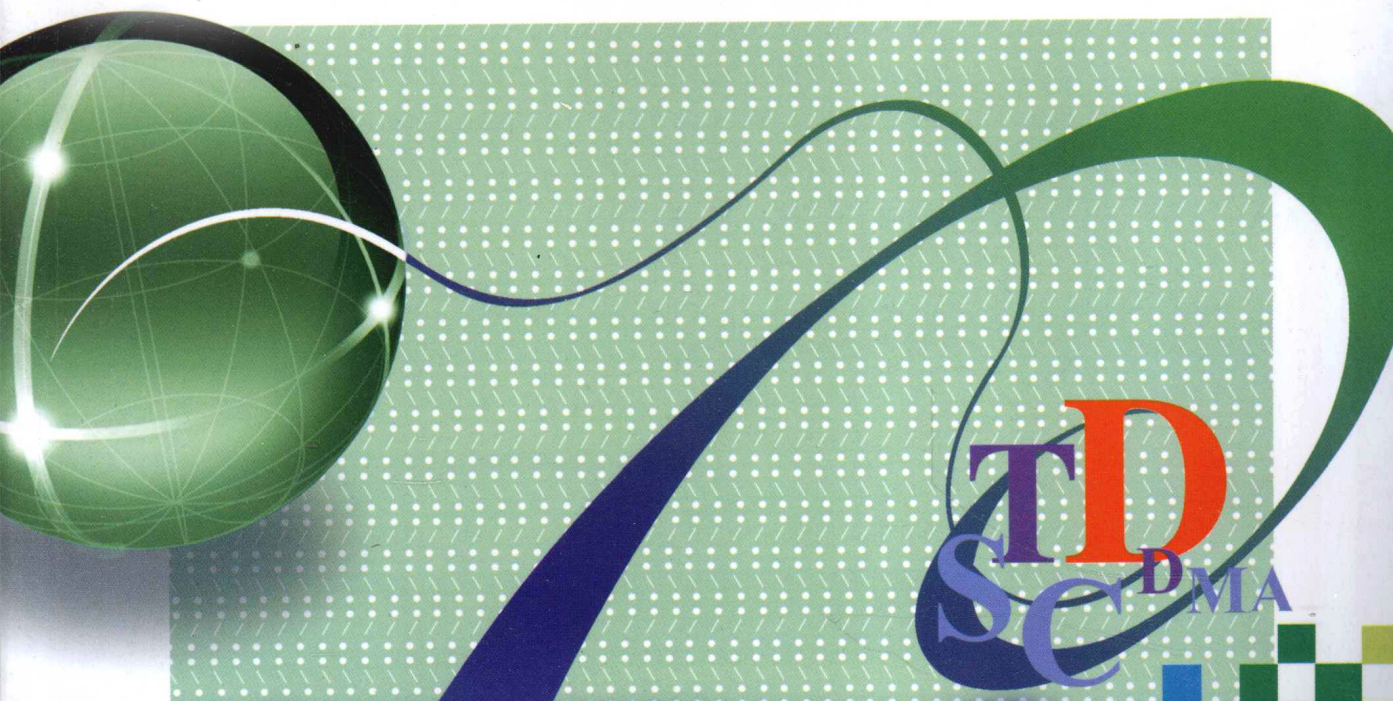


► 21世纪通信网络技术丛书



无线通信链路中的 现代通信技术

孙志国 申丽然 郭佩 窦峥 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪通信网络技术丛书
——移动通信前沿技术系列

无线通信链路中的现代通信技术

孙志国 申丽然 郭佩 窦峰 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以现代通信系统/网络为背景,从物理层的技术层面,系统地介绍现代通信系统的关键技术。其内容包括3个方面:物理信道、基本的物理层适应技术和高级的物理层适应技术。基本的物理层适应技术主要介绍较为成熟的现代通信技术,包括信道编码技术、数字调制技术、扩频通信技术、分集接收和均衡技术。高级的物理层适应技术主要介绍高速率、宽频带多媒体业务和未来移动通信系统中的物理层适应技术,包括OFDM及其关键技术、MIMO及其关键技术。

本书可作为通信与信息系统及其相关专业高年级本科生和研究生的教材,也可供在相关领域内的科研人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

无线通信链路中的现代通信技术/孙志国等编著. —北京:电子工业出版社,2010.11

(21世纪通信网络技术丛书·移动通信前沿技术系列)

ISBN 978-7-121-12128-9

I. ①无… II. ①孙… III. ①无线电通信—通信技术 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第209078号

策划编辑:田宏峰

责任编辑:窦昊 文字编辑:杨博

印刷:北京天宇星印刷厂

装订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:18 字数:458千字

印次:2010年11月第1次印刷

印数:4000册 定价:49.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zits@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

出版说明

通信网络技术是当今发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。通信技术发展到今天,已经不再是传统意义上充满神秘色彩的深奥技术了,它已经与日常的应用密不可分。可以说,网络的出现,使通信技术得以有了广阔的用武之地。正是由于有了固定电话网、移动通信网和 Internet,使通信技术的应用在这些平台上有了用武之地,渗透到我们日常生活的方方面面。

为了促进和推动我国通信产业的发展,电子工业出版社通信分社特策划了一套《21世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的层面,又细分为三个系列:《移动通信前沿技术系列》、《3GPP LTE 无线通信新技术系列》和《网络通信与工程应用系列》。

《移动通信前沿技术系列》是从移动通信技术(3G技术)的应用现状与发展情况出发,全面介绍当今移动通信领域涉及的关键技术与热点技术,例如,软件无线电;移动IP技术;移动数据通信;WCDMA;TD-SCDMA;cdma2000;移动通信系统网络规划与优化;智能天线技术;认知无线电技术;WiMAX、WiFi、ZigBee 宽带无线接入技术;UWB技术;UMTS技术;Ad Hoc技术等。

《3GPP LTE 无线通信新技术系列》是以3GPP中LTE标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源中的有效管理和利用,以及在B3G/4G无线通信领域中的应用为主。LTE作为3G技术的一个重要的长期演进计划,代表了国际无线通信领域的最新发展需求和解决方案,例如,基于OFDM的上、下行(HSxPA)的多址接入技术、随机接入技术、多天线MIMO技术、多链路自适应技术、多播技术、功率控制技术、宽带无线网络的安全性、可移动性、可管理性、高效信源与信道编码和调制MQAM技术等。

《网络通信与工程应用系列》是以技术为先导,以构建网络的体系结构、标准、协议为目标所开展的现代无线、移动、宽带通信网络的规划与优化,以及结合工程应用的方向所提出来的。例如,无线网状网、WLAN、无线传感器网络、3G/B3G/4G通信网工程设计与优化、卫星移动通信网、三网融合技术、网络安全新技术与新策略、RFID应用网络、下一代基于SIP的统一通信、光网络与光通信等。

本套丛书依托各高等院校在通信领域从事科研、教学、工程、管理的具有丰富的理论与实践经验的专家、教授;各科研院所的研究员;国内有一定规模和研发实力的科技公司的研发人员,以及国外知名研究实验室的专家、学者等组成编写和翻译队伍,力求实现内容的先进性、实用性和系统性;力求内容组织循序渐进、深入浅出、理论阐述概念清晰、层次分明;力求很强的可读性和可操作性。

本套丛书的主要读者对象是广大从事通信网络技术工作的各科研院所和公司的广大工程技术人员;各高等院校的专业教师和研究生;刚走上工作岗位的大学毕业生;以及与此相关的其他学科的技术人员。

本套丛书从2008年上半年开始将陆续推出,希望广大读者能关注它,多对本套丛书提出宝贵意见与建议,欢迎通过电子邮箱 wchn@phei.com.cn 进行探讨、交流和指正,以便今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术类图书。

电子工业出版社
通信出版分社

前 言

无线通信和移动通信是通信领域中最为核心的分支和组成部分。随着电磁频谱资源日益紧张和通信需求日益激增，对于现代无线通信系统的信道适应能力和频谱利用率的需求越发迫切。

电磁波的空间开放式传输模式、用户终端和承载业务类型的随机性，导致无线和移动通信信道具有信道、用户和业务的三维动态特征；同时，通信容量需求和电磁频谱资源间存在供需矛盾，这使得无线通信链路必须采用先进的通信理论和信号处理技术来提高三维动态信道的适应能力和频率资源的利用率，这也是无线通信技术领域研究的核心问题。

无线通信技术方面的研究成果丰富，相关著作和教材较多。本书以典型的无线通信链路为叙述要点，介绍各项通信技术的基本原理和物理实质，侧重于无线通信技术发展路线的总结和技术改进方法的归纳，试图为读者理顺通信技术的演进方法和技术思路，明晰各项通信技术间的内在关联和资源-增益的分配及权衡。

全书共分为 9 章，以典型无线通信链路的通信过程为主线，分别叙述了数字无线通信链路、信道编译码技术、直接序列扩频技术、数字基带调制解调技术、数字单载波带通调制解调技术、变换域通信技术、正交频分复用调制技术、衰落信道适应技术、多输入多输出技术。

本书适合作为高等院校电子信息类专业教师、博士研究生、硕士研究生和高年级本科生的教材，以及通信新技术培训参考书，也可作为从事无线通信领域研究的科研人员与工程技术人员的技术参考用书。

本书的编写人员有：孙志国（第 1、2、3、5 章和第 4 章部分）、申丽然（第 8、9 章）、郭佩（第 6、7 章）、窦峥（第 4 章部分）。全书由孙志国和申丽然通稿。

在本书的编写过程中，郭黎利教授修订了全书的撰写提纲，并对全书内容提出了宝贵的修改意见；韩晓艳、李立金和陈晶参与了资料的收集和整理工作。在此向他们表示衷心的感谢。

在本书的编写过程中，参考了大量的国内外相关著作和学术文章，均列于参考文献中，在此谨向有关作者表示诚挚的谢意。

现代通信技术在不断发展，加之作者学识有限、编写时间较为仓促，书中难免存在不当和错误之处，恳请读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 数字无线通信链路	1
1.1 通信网络和通信链路.....	1
1.1.1 未来的通信网络.....	1
1.1.2 移动通信网络.....	1
1.1.3 通信网络和通信链路.....	1
1.1.4 本书的叙述主线.....	3
1.2 数字移动通信链路的功能需求.....	3
1.2.1 信道传输特征的动态性.....	3
1.2.2 信道传输特征的适应.....	4
1.2.3 数字移动通信链路的功能.....	5
1.3 数字无线通信链路.....	6
1.3.1 无线数字通信链路模型.....	6
1.3.2 映射过程和归类过程.....	12
1.4 数字通信链路的性能评价指标.....	15
1.4.1 数字信号的功率密度谱和带宽.....	15
1.4.2 数字通信可靠性的评价.....	17
1.4.3 数字通信有效性的评价.....	17
1.5 移动通信技术的概述和展望.....	18
1.5.1 蜂窝移动通信系统概述.....	18
1.5.2 通信技术的发展目标及趋势.....	21
1.6 本章小结.....	21
第 2 章 信道编译码技术	22
2.1 信道编译码技术概述.....	22
2.1.1 数字通信链路的编码技术.....	22
2.1.2 数字通信系统的差错控制技术.....	22
2.1.3 信道编译码技术的提出.....	24
2.1.4 信道编译码技术的性能度量.....	25
2.1.5 信道编译码技术的改进.....	27
2.2 卷积编译码技术.....	30
2.2.1 卷积编码技术.....	30
2.2.2 卷积编码的维特比译码算法.....	33
2.2.3 卷积编译码的技术性能.....	37
2.3 Turbo 编译码技术.....	38

2.3.1	Turbo 码的提出	38
2.3.2	Turbo 编码原理	39
2.3.3	Turbo 译码原理	41
2.3.4	Turbo 编译码的技术性能	45
2.4	LDPC 编译码技术	45
2.4.1	LDPC 编码原理	46
2.4.2	LDPC 译码原理	48
2.5	本章小结	50
第 3 章	直接序列扩频技术	51
3.1	直接序列扩频技术	51
3.1.1	扩频通信技术概述	51
3.1.2	直扩通信技术及其特性分析	52
3.2	高效直扩体制	56
3.2.1	高效直扩体制的提出	56
3.2.2	软扩频通信技术	57
3.2.3	并行组合扩频通信技术	58
3.2.4	并行多用户扩频通信技术	64
3.2.5	高效扩频通信体制的对比	64
3.3	伪随机序列	65
3.3.1	伪随机序列概述	65
3.3.2	互补序列	66
3.3.3	复合序列	69
3.3.4	正交可变扩频因子码	71
3.4	多址干扰抑制技术	73
3.4.1	多址干扰及其抑制思路	73
3.4.2	多用户检测概述	75
3.4.3	线性多用户检测	76
3.4.4	干扰抵消检测	79
3.5	多径干扰抑制技术	80
3.5.1	直扩通信系统中的多径干扰	80
3.5.2	多径干扰抑制的技术思路	81
3.6	窄带干扰抑制技术	82
3.6.1	基于时域预测的窄带干扰抑制	82
3.6.2	基于变换域限波的窄带干扰抑制	87
3.7	宽带干扰抑制技术	89
3.7.1	线性扫频干扰	89
3.7.2	分数傅里叶变换技术	90
3.7.3	基于分数傅里叶变换的线性调频干扰抑制	91
3.8	直扩信号检测技术	91

3.8.1	直扩信号检测的必要性	91
3.8.2	循环平稳信号和循环平稳特征	92
3.8.3	直扩信号的循环相关特征	94
3.9	本章小结	95
第 4 章	数字基带调制解调技术	96
4.1	数字调制解调技术概述	96
4.2	高斯白噪声条件下的最佳数字基带通信链路	97
4.2.1	数字基带通信链路	97
4.2.2	最佳接收滤波	97
4.2.3	最大似然检测	98
4.2.4	最佳差错性能	101
4.3	码间干扰条件下的最佳数字通信链路	102
4.3.1	码间干扰的生成机理	102
4.3.2	码间干扰对差错性能的影响	104
4.3.3	无码间干扰的数字基带链路传输特征	105
4.3.4	无码间干扰的脉冲成型技术	106
4.3.5	无码间干扰的数字基带通信链路模型	108
4.4	脉冲超宽带通信系统的波形成型技术	109
4.4.1	超宽带通信技术概述	109
4.4.2	超宽带脉冲成型技术	111
4.5	本章小结	115
第 5 章	数字单载波带通调制解调技术	116
5.1	数字带通调制解调技术概述	116
5.1.1	数字带通调制的定义和分类	116
5.1.2	单频已调信号的表示方式	117
5.1.3	带通解调的欧氏空间模型	119
5.1.4	高斯白噪声条件下的最佳解调模型	120
5.1.5	带通调制技术的频带利用率	121
5.2	多进制键控技术	122
5.2.1	2FSK 与 MFSK	122
5.2.2	2ASK 与 MASK	122
5.2.3	2PSK 和 MPSK	123
5.2.4	MASK 和 MPSK	124
5.2.5	二进制键控和多进制键控	124
5.3	联合键控技术	125
5.3.1	联合键控技术的提出	125
5.3.2	QAM 的基本原理	125
5.3.3	QAM 调制的最小欧氏距离	127

5.3.4	QAM 的星座调制模式	127
5.3.5	QAM 调制的抗噪性能	129
5.4	相移键控技术	129
5.4.1	相移键控技术的改进思路	129
5.4.2	OQPSK 调制技术	130
5.4.3	$\pi/4$ -DQPSK 调制技术	131
5.4.4	$3\pi/8$ -8PSK 调制技术	132
5.5	移频键控技术	133
5.5.1	快速频率键控	134
5.5.2	连续相位频率键控	136
5.5.3	最小移频键控	137
5.5.4	高斯最小移频键控	140
5.5.5	正弦移频键控	143
5.5.6	平滑调频技术	144
5.6	本章小结	146
第 6 章	变换域通信技术	147
6.1	变换域通信技术的提出	147
6.2	变换域通信的基本原理	148
6.3	变换域通信的关键技术	149
6.3.1	信道估计	149
6.3.2	幅度谱估计	150
6.3.3	随机相位生成	151
6.3.4	基函数生成	152
6.3.5	数据调制	154
6.3.6	解调技术	156
6.3.7	捕获与检测技术	156
6.4	变换域通信的技术性能	157
6.4.1	抑制高斯白噪声性能分析	157
6.4.2	抗干扰性能分析	158
6.5	TDCS 需解决的问题及解决方案	160
6.5.1	收发端电磁频谱不一致性及其抑制方案	160
6.5.2	TDCS 的峰平比抑制技术	164
6.6	本章小结	165
第 7 章	正交频分复用调制技术	166
7.1	OFDM 的提出	167
7.1.1	数字通信系统中的码间干扰	167
7.1.2	MC 的提出	169
7.1.3	OFDM 的提出	170

7.2	基于 IFFT/FFT 的 OFDM 原理	171
7.2.1	基本原理	171
7.2.2	各项关键技术	175
7.2.3	OFDM 技术性能分析	183
7.2.4	技术特点	185
7.3	PAPR 抑制技术	185
7.3.1	信号失真技术	186
7.3.2	加扰技术	188
7.3.3	编码技术	189
7.3.4	基于信号空间扩展的方法	190
7.4	OFDM 与现有技术的融合	190
7.4.1	OFDM+CDMA	190
7.4.2	OFDM+TDCS	194
7.5	本章小结	197
第 8 章	衰落信道适应技术	198
8.1	衰落信道对通信的影响	198
8.1.1	慢衰落及其对通信的影响	199
8.1.2	快衰落及其对通信的影响	200
8.2	分集技术	201
8.2.1	宏分集	202
8.2.2	微分集	202
8.2.3	分集合并技术	204
8.2.4	分集合并技术性能比较	209
8.2.5	分集合并对数字传输误码率的影响	210
8.3	多径信号的时域分离与合并	211
8.3.1	RAKE 接收机基本原理	211
8.3.2	相干 RAKE 接收	214
8.3.3	非相干 RAKE 接收	215
8.3.4	二维分集接收技术	217
8.4	均衡技术	221
8.4.1	信道畸变和码间干扰	221
8.4.2	码间干扰的数学模型	221
8.4.3	均衡器的分类	222
8.4.4	均衡器的结构	223
8.4.5	自适应算法	225
8.5	本章小结	229
第 9 章	多输入多输出技术	230
9.1	概述	230

9.1.1	多天线通信系统发展	230
9.1.2	多天线系统的特征	231
9.2	MIMO 系统原理及模型	232
9.2.1	MIMO 系统原理	232
9.2.2	MIMO 系统的信号模型	233
9.2.3	MIMO 系统中的信道容量	236
9.2.4	MIMO 系统的信道估计	237
9.3	空时编码技术	243
9.3.1	空时编码技术的背景	243
9.3.2	空时编码的基本原理	244
9.3.3	空时编码	244
9.3.4	Rayleigh 衰落信道下的空时编码设计准则	245
9.4	空时编码的主要类型和结构	245
9.4.1	分层空时码	245
9.4.2	空时网格码	247
9.4.3	空时分组码	248
9.4.4	三种空时编码的性能比较	252
9.5	MIMO-OFDM 系统	252
9.5.1	MIMO 与 OFDM 的结合	252
9.5.2	MIMO-OFDM 系统原理	253
9.5.3	MIMO-OFDM 信号模型	254
9.5.4	MIMO-OFDM 关键技术	257
9.6	本章小结	261
参考文献		262

第1章 数字无线通信链路

1.1 通信网络和通信链路

1.1.1 未来的通信网络

随着用户对于通信的覆盖范围、接入灵活性、通信容量、多类型业务载荷能力和服务质量等方面需求的不断提高，链路式通信模式和单一网络通信模式已无法满足要求。现代通信网络已由链路级通信演变（进化）（过渡）成网络级通信，网络连接形式则从单一网络（发展成）多种网络联合通信。

由于移动通信和光纤通信具有较强的技术优势，以光纤通信网络作为骨干传输网、移动通信网络作为接入网的网络构架成为未来陆地共用通信网络的主体形式。其中，光纤通信具有容量大和通信质量高的技术优势，适于作为现代通信网络的骨干传输网。而移动通信在无线通信的基础上发展起来的，作为现代通信网络接入网的主要实现方式，移动通信继承了无线通信的技术优势，且可支持用户在移动过程中接入网络并进行信息传输。另外，在众多通信方式中，以电磁波作为载体的无线通信方式具有区域覆盖能力和灵活接入的特点。

1.1.2 移动通信网络

光纤通信采用人造的、传输特征优良的光导纤维为传输介质进行封闭式的信息传输，通信质量和容量可满足传输需求，其技术瓶颈主要在于网络交换方式和网络结构的优化设计。

无线通信以电磁波开放式传输的方式实现信息传输，其通信方式从有线通信的静态通信模式演进为准动态模式，开放式的传输方式导致其信道传输特征具有动态性。

移动通信是在无线通信的基础上发展起来的一种全动态通信模式，在通信终端移动的同时实现信息传输。移动通信既继承了无线通信的信道动态性，又具有由通信终端随机移动和随机接入引入的用户动态性。当移动通信网络作为多媒体通信的接入网络时，用户对多媒体业务载荷能力和服务质量需求的差异性将导致移动通信的业务动态性。

移动通信中的信道、用户和业务的三维动态性限制了通信容量和通信质量，是提高移动通信性能的主要障碍。因此，以克服三重动态性为目的的移动通信技术成为现代通信领域研究的热点问题。

1.1.3 通信网络和通信链路

通信网络由网络节点、链路、用户端点和信令（协议）组成，我们把网络节点看做交换局，链路看做节点间的信息传输通道，用户端点看做用户终端。

通信网络可从网络构架、通信协议、多址方式、双工方式和信息载体形式等多层面进行

描述。例如以 GSM 为代表的公用陆地移动通信网络，采用基于蜂窝小区和越区切换的网络构架实现区域覆盖，支持用户移动通信和随机接入，采用 TDMA 结合 FDMA 的多址接入方式实现多用户通信，采用 FDD 的上下行信道频分机制实现用户间双工通信，并以数字信号载荷语音、数据等多媒体信息。

从物理层面，通信网络中的众多节点（包括用户节点和网络节点）按照某种拓扑结构组成通信网络，节点间的通信链路将节点连接起来，并按照某种双工通信方式实现节点间信息的双向传输和交换，这使得通信网络的各节点间具有信息交互能力。当用户按照某种接入方式通过用户节点接入网络后，通信网络通过路由机制和多址通信方式选取若干网络节点并分配通信资源，进而将选中的网络节点连接起来，构成用户端之间的通信链路。

可见，节点间的通信链路（简称为点对点通信链路）是通信网络最基本的组成单元。

从逻辑层面来看，用户端-用户端通信链路的信息处理功能可分层描述，如图 1-1 所示。上层（上四层）解决用户与网络接口、用户通道的建立/维持/拆除、路径选取等问题，下层（下三层）主要功能是在满足用户对通信质量需求的前提下实现点对点信息的传输。

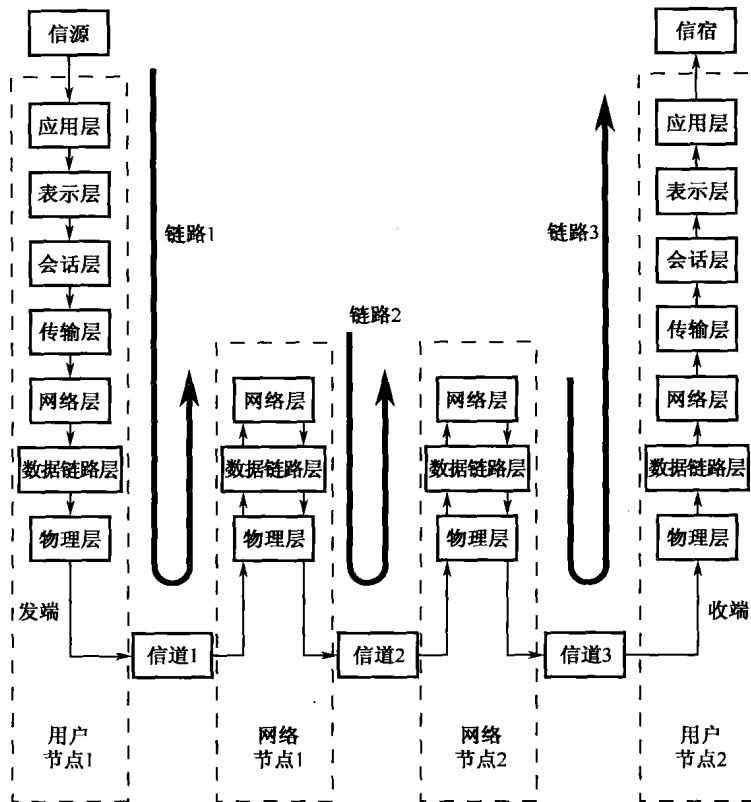


图 1-1 用户间通信链路的 ISO 模型表述

通信网络物理层的主要功能是负责通信链路上比特流的传输问题。物理层传输技术主要涉及发送电平、码元宽度、码型和波形设计等问题。数据链路层主要负责通信链路上数据帧的传输问题。数据链路层传输技术主要涉及帧格式和类型、数据链路建立和终止、流量和差错控制等问题，从而确保节点间数据帧正确、有序的传输。网络层主要负责通信链路上分组的传输问题。网络层传输技术主要涉及路由选择、数据交换、网络建立和终止等

问题。传输层主要负责用户端到用户端的传输问题。传输层传输技术主要涉及端到端通信的次序和信息流控制等方面的问题。

物理层、数据链路层和网络层被统称为网络底层，一般由网络节点交换机和传输链路组成，主要完成数据交换和传输，即通信子网。通信网络一般均具有物理层、数据链路层和网络层的功能。

在通信网络中，网络节点间信息传输的基本单元是单向点对点的数据通信链路，进而通过特定的双工通信方式实现网络节点间的双向信息传输。通信网络的主要功能就是确保网络节点间信息可靠、高效地传输。

从物理模块构成和信号处理流程层面上看，单向点对点通信链路由信源、发送设备、信道、接收设备和信宿五部分组成，如图 1-2 所示。



图 1-2 单向点对点通信链路的简易结构

由图 1-2 可见，通信链路的发送设备和接收设备的功能和参数设置均受控于信道特征及对通信性能的要求。

在移动通信网络中，信道动态性、用户动态性和业务动态性的适应在不同层面实现。其中，信道动态性是制约通信系统性能最为重要的技术因素，信道动态性的适应由物理层和数据链路层（主要是物理层）完成，即对通信信号进行相应的处理，借以降低不理想的信道传输特征对于通信性能的影响，实现可靠、高效的点对点通信。

1.1.4 本书的叙述主线

数字通信是未来通信的主体形式，点对点通信链路是通信网络的核心，三维动态特征的抑制是通信链路最为重要的任务。

因此，本书以单向点对点数字通信链路的三维动态特征适应技术为叙述对象，侧重信道动态性适应技术兼顾用户动态性适应技术，重点叙述单向点对点数字移动通信链路中各项关键通信技术的物理实质、工作原理、技术特征和演进思路。

1.2 数字移动通信链路的功能需求

1.2.1 信道传输特征的动态性

数字移动通信链路的信道传输特征是指由无线传输的信道动态性和移动通信的用户动态性而导致的二维动态过程，即通信信号通过移动信道时所受到随机的、选择性的衰落影响。

1.2.1.1 信道动态特征

信道动态特征是指由电磁波空间开放式传输所引起的信道传输特征的随机时变性和选

择性衰落，其对无线数字通信链路性能的影响最终体现为接收端对信息的误判，即造成随机误码。无线通信链路需主要解决的问题如下：

① 无线信道中的加性随机噪声和脉冲型干扰叠加到通信信号上，导致数字通信链路的信息误判，造成离散型或连续型的随机误码。

② 无线信道不理想的幅频和相频衰落特征将引起通信信号幅度和相位的畸变，从而引起误码，且幅频和相频衰落均时变、随机。

③ 多径传输使得多路信号时域叠加，造成接收信号的时域波形畸变和频率弥散。多径时延扩展导致频率选择性衰落；多径传输的带通传输特性可使通信信号的时域波形生成拖尾效应，导致码间干扰；多径传输引起电磁波波束角度的扩散和接收天线入射角度分布的变化，导致空间选择性衰落。更为严重的是，多径路数、各径幅度衰落和相位衰落、多径时延/扩展、波束角度和天线入射角度均为随机变量，这使得多径传输引起的频率选择性和空间选择性衰落均具有随机时变性。

④ 通信终端与基站间通信距离的差异导致路径传输损耗和接收信号强弱的差异，强信号将对弱信号的通信产生遮蔽效应，这种效应被称为远近效应。远近效应将影响弱信号的通信质量，甚至导致弱信号通信链路中断。

1.2.1.2 用户动态特征

用户动态特征是指由用户随机接入和随机移动引起的信道传输特征的随机时变性，是移动信道有别于无线信道的主要技术特征，它对移动数字通信链路性能的影响最终体现为信道和用户的二维动态传输特征。用户动态性和信道动态性是移动通信链路需解决的问题。

① 用户随机移动：用户移动引起收发端间的相对径向运动生成多普勒频移，这将导致收端锁相环失锁、邻道干扰和时间选择性衰落。更为严重的是，用户移动的随机性将导致信道传输特征的信道/用户二重随机性。

② 用户随机接入：多址通信系统中，通信资源（如时间、频率、码字、波束）非正交分配将导致用户间的互干扰，即多址干扰。若用户接入（如时间和地点）具有随机性，其所引起的多址干扰也将具有随机性，导致软容量通信系统（如 CDMA 系统）的通信容量和通信质量具有随机性。

1.2.2 信道传输特征的适应

为了实现节点间可靠、高效的链路通信，数字移动通信链路需具有较强的动态信道传输特征适应能力，即可有效降低由信道动态性和用户动态性引起的不理想传输特征对通信链路性能的影响。

设信道满足线性时变特性，可给出各种类型信道特征和与之对应的信道特征适应技术，如图 1-3 所示。图中， c_i 为信道特征， c_i^{-1} 为（ c_i 的逆变换）人为设计的与 c_i 统计匹配的信道特征适应技术， c_i^{-1} 可表示为

$$c_i^{-1} = T_i^{-1} \cdot R_i^{-1} \quad (1-1)$$

式中， T_i^{-1} 为发端对 c_i 的信号设计（如调制、编码、发送分集、扩频、预均衡）； R_i^{-1} 为与 T_i^{-1} 相对应的收端信号处理（如解调、译码、分集接收、解扩、均衡）。

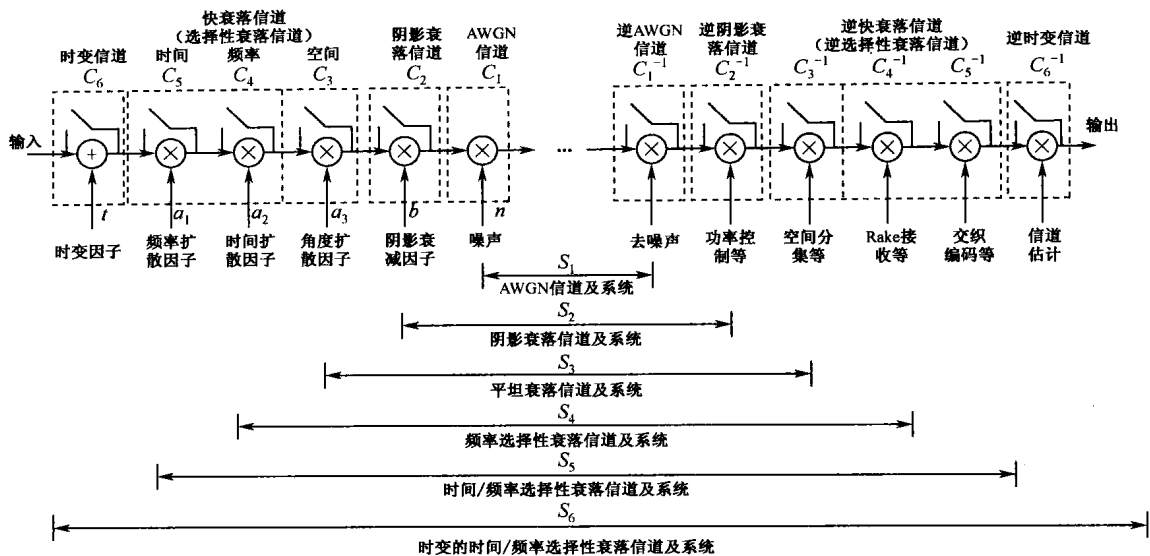


图 1-3 无线/移动信道传输特征及相应的适应技术

1.2.3 数字移动通信链路的功能

除需具有较强的信道传输特征适应能力，可实现节点间可靠的信息传输以外，数字移动通信链路还需具备如下的功能。

1.2.3.1 多址通信和移动通信能力

(1) 多址通信能力

数字移动通信链路需要具有频域资源（通信带宽）、时域资源（时隙）、码域资源（码字）和空域资源（波束）等通信资源的正交分配功能以实现多址通信功能，且需对各类用户通信资源非正交性引起的多址干扰具有良好的抑制能力。

(2) 移动通信能力

用户灵活的移动能力要求移动通信终端（尤其是天线）的物理尺寸和发射功率不能过大。为了确保天线的高效率电磁辐射，通信信号的波长应与天线电磁尺寸匹配，因此通信的频率需要满足天线尺寸的需求。

1.2.3.2 通信资源的高效利用

除从网络层面和系统构建层面对通信网络进行改进外，还需采用先进的通信方法和信号处理方法以提高通信链路的功率利用率和频带利用率。同时，通信链路还需具有时、空、频、码多维通信资源的高效利用能力。

1.2.3.3 多类型的业务载荷能力

业务动态特征是指不同类型业务的服务质量（如传输时延、误码率、通信速率）需求不

同，这要求通信链路需具有根据服务质量需求而动态调整资源配置、信号处理方式的能力，以提供满足需求的服务。

业务动态性是多媒体通信链路有别于单业务通信链路的主要技术特点。

1.3 数字无线通信链路

信源信号一般不适合在传输特征不理想的信道中直接传输；同时，用户和业务也对通信链路有不同服务质量和通信功能的需求。如图 1-2 所示，通信链路的发送设备对信源信号进行相应的处理，选取适合信道传输、满足功能和服务质量需求的信息载体（通信信号）。接收设备配合发射设备完成三种动态性的适应，并恢复信源信号，完成通信功能。发射设备、（狭义）信道和接收设备共同组成一个具有理想传输特征、满足功能和服务质量需求的广义信道。因此，通信链路的信号处理实质是以通信资源和设备复杂度为代价获取性能增益的过程，是实现通信信号与信道传输特征、用户需求和业务需求之间相互匹配的过程。

按照逻辑划分，通信链路的功能可由如图 1-1 所示的多层结构表示。通信链路的物理层和数据链路层主要实现信道动态性和用户动态性的适应，即降低信道不理想的传输特征对通信性能的影响，实现可靠的点对点信息传输。同时，降低用户随机接入、移动通信和多址通信对通信性能的影响，实现多址的移动通信。

1.3.1 无线数字通信链路模型

图 1-4 所示的无线数字通信链路涵盖了经典的信号处理模块，各信号处理模块均以通信信号为处理对象，分别实现通信信号逻辑属性和物理属性的调整，生成载荷信息且适合信道传输的物理传输波形，满足用户和业务的需求，降低信道传输特征对通信性能的影响，并恢复载荷的信息，实现点对点可靠、高效的信息传输。

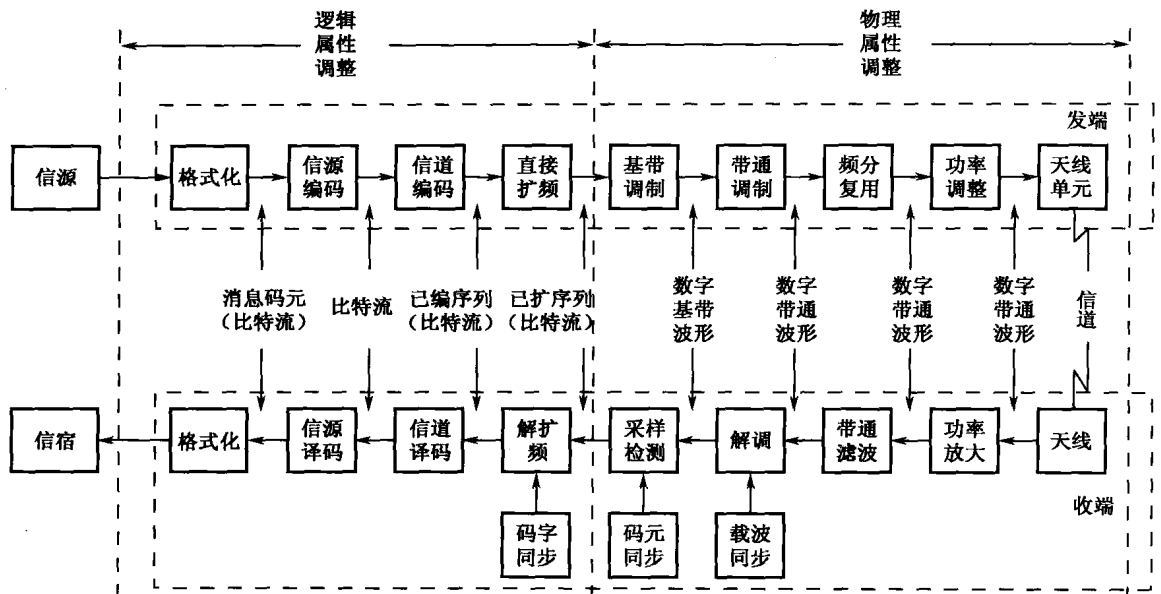


图 1-4 无线数字通信链路