

高等院校信息与通信工程系列教材

接入网技术

雷维礼 马立香 等编著
毛玉明 审

清华大学出版社



高等院校信息与通信工程系列教材

接入网技术

雷维礼 马立香 等编著
毛玉明 审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

接入网是通信网络(包括电信网络与 IP 网络)的重要组成部分。接入网技术,特别是 IP 接入网技术的蓬勃发展与普遍应用是当前通信网络发展与建设的重点,在全球广受重视。

本书以 IP 接入网为重点全面介绍了接入网技术。全书内容由四部分组成:接入网的背景与体系结构,包括总体标准 ITU-T G. 902 与 ITU-T Y. 1231; 宽带有线接入技术,包括以太网接入、光纤接入、电话铜线接入、HFC 接入等技术; 宽带无线接入技术,包括 WLAN、WMAN、WWAN 等多种无线接入技术; 用户接入管理系统,包括管理体系、管理协议、管理应用。

本书力求比较全面地反映主流技术与最新技术,注重基本概念、系统结构、技术与标准发展、应用特色等。

本书可作为通信工程、网络工程及相关专业的高年级学生或研究生的专业课教材,也可供网络通信领域的高校教师、科研人员和技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

接入网技术/雷维礼等编著. —北京:清华大学出版社,2006.9

(高等院校信息与通信工程系列教材)

ISBN 7-302-13555-X

I. 接… II. 雷… III. 接入网—高等学校—教材 IV. TN915.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 088199 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

组稿编辑: 陈国新

特邀文稿编辑: 曾德斌

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185 × 260 印 张: 18.5 字 数: 388 千字

版 次: 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-13555-X/TN · 345

印 数: 1 ~ 3000

定 价: 28.00 元

高等院校信息与通信工程系列教材编委会

主 编：陈俊亮

副 主 编：李乐民 张乃通 邬江兴

编 委 （排名不分先后）：

王 京 韦 岗 朱近康 朱世华

邬江兴 李乐民 李建东 张乃通

张中兆 张思东 严国萍 刘兴钊

陈俊亮 郑宝玉 范平志 孟洛明

袁东风 程时昕 雷维礼 谢希仁

责任编辑：陈国新

出版说明

信息与通信工程学科是信息科学与技术的重要组成部分。改革开放以来,我国在发展通信系统与信息系统方面取得了长足的进步,形成了巨大的产业与市场,如我国的电话网络规模已位居世界首位,同时该领域的一些分支学科出现了为国际认可的技术创新,得到了迅猛的发展。为满足国家对高层次人才的迫切需求,当前国内大量高等学校设有信息与通信工程学科的院系或专业,培养大量的本科生与研究生。为适应学科知识不断更新的发展态势,他们迫切需要内容新颖又符合教改要求的教材和教学参考书。此外,大量的科研人员与工程技术人员也迫切需要学习、了解、掌握信息与通信工程学科领域的基础理论与较为系统的前沿专业知识。为了满足这些读者对高质量图书的渴求,清华大学出版社组织国内信息与通信工程国家级重点学科的教学与科研骨干以及本领域的一些知名学者、学术带头人编写了这套高等院校信息与通信工程系列教材。

该套教材以本科电子信息工程、通信工程专业的专业必修课程教材为主,同时包含一些反映学科发展前沿的本科选修课程教材和研究生教学用书。为了保证教材的出版质量,清华大学出版社不仅约请国内一流专家参与了丛书的选题规划,而且每本书在出版前都组织全国重点高校的骨干教师对作者的编写大纲和书稿进行了认真审核。

祝愿《高等院校信息与通信工程系列教材》为我国培养与造就信息与通信工程领域的高素质科技人才,推动信息科学的发展与进步做出贡献。

北京邮电大学

陈俊亮

2004年9月

前 言

写作目标

本书主要讨论接入网特别是 IP 接入网领域的技术,包括接入网的基本概念、系统结构、多种有线和无线宽带接入技术、用户接入管理等方面,内容具有一定的深度和广度,并尽可能反映最新技术。

编写本书的源动力:

- 在新一代广义通信网络(包括电信网络与 IP 网络)的体系结构中,接入网已经成为一个重要的独立领域,并与核心网并列成为电信网络的两大构成之一。为了培养市场急需的接入网专业技术人才,接入网教材和课程建设的需求已十分迫切。
- 接入网在电信网络中已经有 30 多年的历史,关于电信接入网的专著已相当多,进入 21 世纪以来,通信网络的 IP 化愈来愈成为共识,核心网 IP 化与接入网 IP 化已是大势所趋,但以 IP 接入网为重点的课程和教材并不多见。编写一本重点讲述 IP 接入网书籍的时机已经来临。
- 多种宽带 IP 接入技术正在兴起并激烈竞争,介绍这些技术的专著和综合论著也不断问世。由于接入网已经成为一个相对独立完整的系统,因此编写一本涵盖 IP 接入网络的系统结构、用户总体标准、各种接入技术及其对运营商竞争力的支持、接入网的用户接入管理支撑技术的全面性的专门教材十分必要。
- IP 接入网与传统电信接入网的一个重大差别是电信接入网通常只关注物理层的比特传输,而 IP 接入网必须提供 IP 分组的传递。因此,分析 IP 接入网必须包括协议互联模型以及协议栈,还必须包括物理层、MAC 层、IP 层的封装与承载,而这些内容在很多书籍中均涉及不多。
- 在电信运营业的开放与竞争的大环境中,接入网特别是 IP 接入网的竞争显得尤为激烈。法律法规、监管部门、市场竞争对接入网发展的影响十分深刻。应该适当讨论这些内容以便加深对技术发展趋势的了解。

目前接入网技术发展和演变很快,全面反映接入网技术的教材十分匮乏,所以我们编写本书并尽力在书中加强对上述各方面内容的论述。

本书特色

本书的特色是:

- 以 IP 接入网为中心组织全书内容。
- 强调整体性。以接入网的总体标准和总体结构为基础,完整地讲述接入网的结构、技术和系统。

- 加强用户接入管理的内容。接入网中的用户管理有别于传统的网络管理,强化用户管理正在成为可管理、可运营网络的重要支撑,因此本书适当加强了这部分内容。
- 介绍多种有线宽带接入技术。内容包括基本概念、关键技术及技术标准、技术对物理传输介质的依赖、在运营商竞争中的地位、对市场竞争的影响等。
- 介绍宽带无线接入(BWA)技术。这是近年来迅速兴起并将会高速发展的技术。本书适当介绍了多种 BWA 技术,希望有助于读者面对正在兴起的令人眼花缭乱的 BWA 技术。

内容安排

本书的内容可以分为四个部分:

第一部分——背景与体系结构。介绍了接入网概念、接入网发展简史与面临的发展机遇,分析接入网的两个总体标准:电信接入网的总体标准 G. 902 与 IP 接入网的总体标准 Y. 1231。

第二部分——宽带有线接入技术。讨论以太网接入技术、光纤接入技术、电话铜线上的 DSL 接入技术和有线电视网络中的 cable modem 接入技术。介绍这些技术的基本原理和关键技术、技术发展和技术标准、应用特点及对运营商的市场竞争力的支持。

第三部分——宽带无线接入技术。介绍近年来受到广泛欢迎的宽带无线接入技术,包括局域、城域、广域等多种 BWA 技术,重点讨论 WLAN、WMAN、WWAN 接入技术。简要介绍卫星接入等很有希望的新兴 BWA 技术。

第四部分——用户接入管理。从接入管理体系、接入管理协议、接入管理应用等方面讨论接入网中对用户接入的管理。这些讨论有助于理解接入网作为一个具有独立运营能力的基础设施所应有的支撑系统。

本书作为教材使用时,建议课程为 48 学时,也可简化部分内容适合 32 学时的教学。

编写与致谢

本书涉及的内容广泛,资料更新快,编写工作量大。在多次研讨确定编写大纲的基础上由多人分工合作编写而成。本书由雷维礼教授主编,其中雷维礼编写第 1、2、3、7、11 章,彭美娥编写第 4 章,刘强编写第 5 章,吴凡编写第 6 章,段景山编写第 8 章,马立香编写第 9、10 章,杨宁编写第 12、13 章。彭美娥对全部书稿进行通校,雷维礼教授与马立香副教授完成最终定稿,毛玉明教授审阅了全书。

本书曾以讲义的形式在电子科技大学多次讲授并不断修改更新,讲授过程中多位教师和学生提出了十分有价值的建议,特此一并致谢。

本书疏漏和不当之处,诚恳希望各位读者不吝指正。

编 者

2006 年 5 月于成都电子科技大学

wlei@uestc.edu.cn, lixiangma@uestc.edu.cn

目 录

第 1 章 网络演进与法规制约	1
1.1 什么是接入网	1
1.2 竞争激烈的接入网	2
1.3 接入网发展简史	3
1.4 迎接接入网的大发展	4
思考题.....	5
第 2 章 接入网体系结构	6
2.1 引言	6
2.2 电信接入网总体标准——G. 902	6
2.2.1 G. 902 概述.....	6
2.2.2 接入网的基本定义.....	7
2.2.3 接入网的结构与定界.....	8
2.2.4 接入网的接口.....	9
2.2.5 管理、控制和操作.....	10
2.2.6 G. 902 小结	10
2.3 IP 接入网总体标准——Y. 1231	10
2.3.1 ITU-Y 系列建议与 GII	10
2.3.2 IP 接入网概述	11
2.3.3 IP 接入网定义	12
2.3.4 IP 接入网的地位	13
2.3.5 IP 接入网参考模型	13
2.3.6 IP 接入网的接入类型	14
2.3.7 IP 接入网中的典型模型	15
2.3.8 驻地网	16
2.3.9 Y. 1231 与 G. 902 的比较	17
2.4 接入网的功能模型.....	17
2.5 宽带接入技术.....	18
2.5.1 什么是宽带接入技术	18
2.5.2 宽带接入技术概览	19
2.5.3 运营商对宽带技术的偏爱	20

2.6	用户接入管理	20
2.7	小结和参考资料	20
2.7.1	小结	20
2.7.2	推荐资料	21
	思考题	21
第3章	以太网接入技术	22
3.1	概述	22
3.2	以太网的技术发展	22
3.2.1	以太网的诞生	22
3.2.2	以太网标准的演变	22
3.2.3	物理层的发展	23
3.2.4	帧结构的改进	24
3.2.5	交换式以太网	24
3.3	以太网的标准	24
3.3.1	已经合并的物理层标准	25
3.3.2	已经合并的其他标准	25
3.3.3	现行标准	26
3.4	以太网的物理层	26
3.4.1	物理层模型	26
3.4.2	铜缆接口	27
3.4.3	以太接入网	27
3.5	以太网的 MAC 层	32
3.5.1	共享信道上的 MAC 协议	32
3.5.2	CSMA/CD 协议概要	32
3.5.3	全双工以太网与 MAC 协议	33
3.5.4	以太帧格式	33
3.5.5	应用中的协议栈	34
3.5.6	几点结论	35
3.6	以太网接入的相关技术	35
3.6.1	以太网远端馈电	35
3.6.2	接入控制	35
3.6.3	用户间的隔离	36
3.7	典型应用	36
3.8	小结和推荐资料	37
3.8.1	小结	37
3.8.2	推荐资料	37
	思考题	37

第 4 章 光纤接入技术	38
4.1 引言	38
4.2 光纤在接入网中的延伸——FTT _x	38
4.3 光接入网基础知识	40
4.3.1 光纤的传输性能	40
4.3.2 光接入网的基本结构	40
4.3.3 光接入网的分类	42
4.3.4 光接入网的传输技术	42
4.4 无源光网络——PON	44
4.4.1 无源光网络的背景及发展	44
4.4.2 无源光网络的基本概念	45
4.4.3 无源光网络的系统结构	45
4.4.4 无源光网络的拓扑结构	46
4.5 基于 ATM 的无源光网络——APON	47
4.5.1 APON 简介	47
4.5.2 APON 的系统结构	48
4.5.3 APON 的协议模型	50
4.5.4 APON 的技术要点	51
4.5.5 APON 的应用	53
4.5.6 APON 的延续——GPON	54
4.6 基于 Ethernet 的无源光网络——EPON	55
4.6.1 EPON 的发展背景	55
4.6.2 EPON 的系统结构	55
4.6.3 EPON 的协议模型	58
4.6.4 EPON 的技术难点	59
4.6.5 EPON 的特点	60
4.7 小结和推荐资料	61
4.7.1 小结	61
4.7.2 推荐资料	61
思考题	62
第 5 章 电话铜线接入技术	63
5.1 引言	63
5.2 电话铜线的传输性能	63
5.2.1 什么是电话铜线	63
5.2.2 用户接入段上技术的演进	63
5.2.3 电话铜线的传输性能	65

5.3	拨号接入技术	67
5.3.1	话带 modem 拨号接入	67
5.3.2	ISDN 拨号接入	69
5.4	xDSL 的体系结构	70
5.4.1	xDSL 的类型	70
5.4.2	接入结构	71
5.4.3	调制技术	71
5.4.4	转移模式	72
5.5	ADSL	73
5.5.1	ADSL 的技术标准与发展	73
5.5.2	ADSL 的系统参考模型	74
5.5.3	ADSL 的技术要点	74
5.5.4	ADSL Lite	81
5.5.5	ADSL 的应用	82
5.6	新一代的 DSL	85
5.6.1	ADSL2 和 ADSL2+	86
5.6.2	VDSL	89
5.7	xDSL 的转移模式	92
5.7.1	STM 模式	92
5.7.2	ATM 模式	93
5.7.3	PTM 模式	93
5.8	小结和推荐资料	95
5.8.1	小结	95
5.8.2	推荐资料	95
	思考题	95
第 6 章	HFC 接入技术	97
6.1	引言	97
6.2	CATV 网络	97
6.3	HFC 网络	99
6.3.1	HFC 网络系统结构	99
6.3.2	HFC 频谱划分	100
6.3.3	HFC 面临的技术难点和问题	101
6.4	CM 系统原理	102
6.4.1	CM 系统组成	102
6.4.2	CM 操作要点	103
6.4.3	CM 协议模型	105
6.5	CM 技术要点	107

6.5.1 物理层技术要点	107
6.5.2 MAC层技术要点	109
6.6 CM标准的演进	111
6.6.1 CM的标准化	111
6.6.2 IEEE 802.14标准	112
6.6.3 DOCSIS标准	112
6.7 小结和推荐资料	118
6.7.1 小结	118
6.7.2 推荐资料	118
思考题	119
第7章 宽带无线接入概论	120
7.1 概述	120
7.2 无线数据网络的发展史	121
7.3 WLAN接入技术	122
7.4 WMAN接入技术	123
7.5 WWAN接入技术	123
7.6 卫星接入技术	124
7.7 WPAN接入技术	125
7.8 无线接入技术的竞争与共存	126
思考题	126
第8章 无线局域接入技术	127
8.1 无线局域网的发展	127
8.2 WLAN概述	129
8.2.1 无线数据传输的环境	129
8.2.2 IEEE 802.11标准概要	131
8.2.3 WLAN组网方式	132
8.2.4 802.11的层次模型	134
8.2.5 MAC层帧格式及类型	138
8.2.6 移动与关联	140
8.3 CSMA/CA协议	141
8.3.1 基本原理	141
8.3.2 冲突避免(CA)——RTS/CTS机制	143
8.3.3 单帧等待应答	144
8.3.4 分段重装与帧猝发	146
8.3.5 信道占用预测	147
8.4 WLAN物理层及扩展协议	149

8.4.1	802.11 物理层	149
8.4.2	802.11b	150
8.4.3	802.11a	150
8.4.4	802.11g	151
8.5	WLAN 安全技术	151
8.5.1	开放式系统认证	152
8.5.2	共享密钥认证与 WEP	152
8.5.3	WPA 与 TKIP	154
8.5.4	802.11i、WPA2 与 AES	156
8.5.5	WAPI	157
8.5.6	小结	158
8.6	无线局域网的应用	159
8.6.1	Wi-Fi 802.11 产品的兼容性认证	159
8.6.2	典型应用	160
8.6.3	无线局域网的接入应用	161
8.7	小结和推荐资料	165
8.7.1	小结	165
8.7.2	推荐资料	165
	思考题	165
第 9 章	无线城域接入技术	166
9.1	引言	166
9.2	固定无线接入网概述	166
9.2.1	固定无线接入的概念	166
9.2.2	固定无线接入的基本结构	167
9.3	早期技术 LMDS	168
9.3.1	LMDS 的系统结构	168
9.3.2	LMDS 技术的特点与业务	169
9.3.3	LMDS 的应用	170
9.4	IEEE 802.16 标准总体概要	171
9.4.1	标准及其演进	172
9.4.2	系统结构	173
9.4.3	业务及 QoS	175
9.4.4	协议模型	175
9.5	IEEE 802.16 的 MAC 层	177
9.5.1	MAC 层的主要技术特征	177
9.5.2	CS	178
9.5.3	MAC CPS	182
9.5.4	MAC 安全子层	191

9.6	IEEE 802.16 的物理层	192
9.6.1	物理层技术要点	193
9.6.2	2GHz~11GHz 频段的增强技术	196
9.7	小结和推荐资料	199
9.7.1	小结	199
9.7.2	推荐资料	200
	思考题	200
第 10 章	无线广域接入技术	201
10.1	引言	201
10.2	无线广域接入体系	201
10.2.1	无线广域接入的概念	201
10.2.2	无线广域接入的类型	202
10.2.3	无线广域数据业务	202
10.3	陆地广域无线数据通信系统	203
10.3.1	移动通信网的发展概况	203
10.3.2	陆地无线广域数据通信系统的组成	204
10.4	陆地无线广域接入技术	206
10.4.1	CDPD 技术	206
10.4.2	GPRS 技术	208
10.4.3	CDMA2000-1X	217
10.4.4	3G 技术	221
10.5	小结和推荐资料	223
10.5.1	小结	223
10.5.2	推荐资料	223
	思考题	223
第 11 章	用户接入管理体系	225
11.1	概述	225
11.2	接入管理功能	225
11.2.1	AAA 管理功能	226
11.2.2	QoS 管理	226
11.2.3	安全管理	226
11.2.4	AAA 功能的发展	226
11.3	接入管理系统的发展	227
11.3.1	电信运营商的接入管理系统	227
11.3.2	宽带运营商的接入管理系统	228
11.4	接入管理系统结构	229
11.5	接入管理基本协议	230

11.6	小结	230
	思考题	231
第 12 章	用户接入管理协议	232
12.1	引言	232
12.2	接入链路协议	232
	12.2.1 PPP 协议	233
	12.2.2 PPPoE 协议	238
12.3	接入认证/控制协议	242
	12.3.1 PAP 协议	242
	12.3.2 CHAP 协议	242
	12.3.3 EAP 协议	243
	12.3.4 802.1X 协议	245
12.4	接入管理协议	251
	12.4.1 接入管理协议的发展	251
	12.4.2 RADIUS 协议模型	252
	12.4.3 RADIUS 报文格式	253
	12.4.4 RADIUS 报文类型	255
	12.4.5 RADIUS 协议操作	256
	12.4.6 管理属性	260
	12.4.7 Diameter 协议概述	261
12.5	小结和推荐资料	266
	12.5.1 小结	266
	12.5.2 推荐资料	266
	思考题	266
第 13 章	用户接入管理应用	268
13.1	引言	268
13.2	拨号用户的接入管理	269
13.3	ADSL 用户的接入管理	269
13.4	以太网用户的接入管理	270
13.5	WLAN 用户的接入管理	271
13.6	小结和推荐资料	271
	13.6.1 小结	271
	13.6.2 推荐资料	272
	思考题	272
附录	缩略语	273

第 1 章 网络演进与法规制约

在电信网络接入用户的“最后一公里”(last mile)处,目前正是硝烟四起、竞争惨烈。各网络运营商都在“跑马圈地”,竭尽全力争夺更多的用户;各种新兴的“宽带”接入技术在“最后一公里”处纷纷登场,显示各自优良的性能和适应性。电信网络的“最后一公里”已经有了一个全新的名字——接入网(access network, AN)。目前,全球都在针对接入网进行电信网历史上最昂贵的升级,有人甚至把这次升级称为第二次电信革命。

1.1 什么是接入网

相对于传统的传输网络、交换网络而言,接入网是一个相对较新的概念。长期以来,电信网络的接入部分经常被简单地称为“接入段”,接入段仅仅是交换网络的最后延伸,是某些具体接入设备的附属设施,并不是一个独立完整的网络部件。从 20 世纪 90 年代中期,特别是进入 21 世纪以来,接入网已经开始发展成为一个相对独立、完整的网络,成为现代通信网络的两大基本部件(核心网与接入网)之一,并且是当前技术发展最快、竞争最激烈、建设最昂贵的网络。

那么究竟什么是接入网呢?虽然接入网的严格定义和描述相当复杂(我们将在接入网的总体标准部分详细地予以说明),但接入网的基本概念和直观描述却是十分容易理解的。

图 1-1 直观地描述了接入网所处的位置。接入网是将用户设备连接到核心网的网络,使用户设备可以使用通过核心网提供的各种业务。接入网可以只连接一台具体的用户设备,也可以将多台用户设备组成的用户驻地网(customer premises network, CPN)连入核心网。接入网传送用户设备和核心网之间的往返数据,数据承载了各种各样的业务。除了传送业务数据之外,接入网还可以具有用户接入管理的功能,以满足网络运营或网络安全等需要。

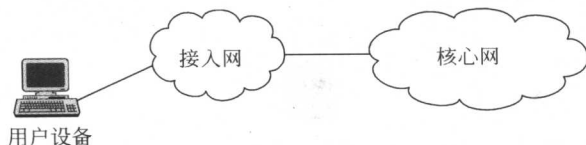


图 1-1 接入网示意图

接入网已经发展成为一个相对完整、相对独立的网络。接入段曾经只有一些简单的电线电缆和接线设施,只是网络接入设备的一些附件,例如电话程控交换机的“用户环

路”。一旦离开程控交换机,用户环路就成为一盘散沙,只是一些电线电缆、一些线缆连接设施和接插件。交换机改变型号甚至可能引起用户环路的重大改变,引起线缆设施的大量更换。当今的接入网已经具有一定的独立性和完整性。接入网具有完整的功能:传送数据流以承载多种业务,进行接入认证和授权,可以独立计费。接入网已经可以不依附于网络接入设备而独立存在,甚至可以选择接入不同运营商的网络。接入网正愈来愈成熟。

1.2 竞争激烈的接入网

接入网领域近年来市场硝烟四起,网络运营商跑马圈地、短兵相接。各个运营商筹集巨资升级接入网络:新的技术、新的性能、新的覆盖;动员了铺天盖地的市场销售手段:眼花缭乱的广告、诱人心动的价格、花样翻新的新业务、日趋完善的服务;过度激烈的竞争也伴生了若干不良甚至是违规的行为,例如:含义模糊的承诺、隐而不宣的加价、用意不善的诋毁,违规地甚至不合法地损毁竞争对手的基础设施。接入网的市场竞争已经到了白热化的程度。

这场竞争的本质是争夺用户。网络经济是典型的规模经济,在通信网络激烈的市场竞争中,网络运营商必须进行快速的规模扩张才可能赢得这场竞争。网络规模的基本指标是用户数和市场份额,接入网正是运营商争夺用户的第一线战场,当然也是激烈竞争的第一战场。

接入网开始具有的相对独立性为用户提供了选择,同时也加剧了网络运营商为争夺用户而展开的竞争。当接入网还是网络接入设备的附属设施时,用户接入基本上被连接于相应的某一网络设备,这也就意味着用户被限制于特定的网络运营商,这种用户对网络的相对稳定性降低了接入市场竞争的激烈程度。具有相对独立性的接入网正在改变用户全然受限于运营商的局面。图 1-2 所示为一个具有接入独立性的接入网,接入网可以根据用户的申请静态接入不同的运营商网络,甚至可以根据用户的协议指令动态地接入相应的运营商网络。接入网的这种动态接入能力称为接入网的交换能力。用户可以根据对网络运营商服务的满意程度,包括网络质量、价格水平、业务的丰富实用性、客户服务质量等,随时改变接入,这大大增加了接入竞争的强度。

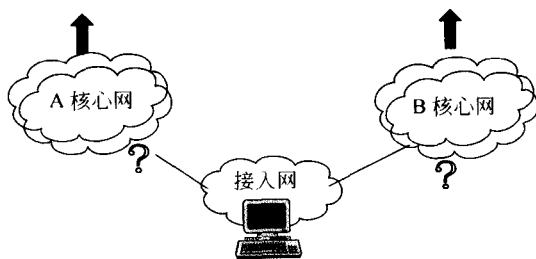


图 1-2 接入网的多接入能力

激烈的竞争需要投入巨大的资金和人力,需要不断的技术更新来增强竞争的有效能力。面对资金、人力、技术的大投入,接入网领域面临强烈的挑战,同时也孕育着巨大的机遇。