

现代 IP 技术丛书

路由器原理与应用

魏 亮 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

路由器原理与应用 / 魏亮编著 . —北京 : 人民邮电出版社 , 2005.10
(现代 IP 技术丛书)

ISBN 7-115-13988-1

. 路... . 魏... . 计算机网络 - 路由选择 . TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 095151 号

内 容 提 要

本书对因特网的核心设备——路由器的原理、技术以及实现要求作了较全面的描述。概要介绍了路由器设备在因特网中的定位和功能要求,重点介绍了包括 RIP、OSPF、ISIS、BGP、MPLS 协议、多播在内的相关协议,以及包括路由器工作原理、结构发展、功能模块、软件、服务质量在内的路由器技术;路由器通用实现要求;IPv4 和 IPv6 实现要求;管理、安全、测试组网;路由器现状和进展。

本书取材新颖、内容丰富、实践性强,反映了路由器设备当前技术现状、进展和发展趋势,既适合于从事通信、网络、计算机技术的广大工程技术人员阅读,又适合于大专院校网络通信、计算机专业的师生作为教材或教学参考书,并可作为相关培训班教材使用。

现代 IP 技术丛书

路由器原理与应用

-
- ◆ 编 著 魏 亮
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>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本 : 787×1092 1/16
印张 : 20.25
字数 : 477 千字 2005 年 10 月第 1 版
印数 : 1 - 4 000 册 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13988-1/TN · 2601

定价 : 39.00 元

读者服务热线 : (010)67129258 印装质量热线 : (010)67129223

前 言

在我国因特网已经从教育科研网络发展成为国家重要信息基础设施。路由器设备作为因特网中的核心设备，其重要性不可低估。然而路由器技术，特别是高端核心路由器技术长期以来一直掌握在国外厂家手中。“九五”“863”计划路由器项目以及其他国家项目实施以来，我国骨干路由器得到跨越式的发展。随着“十五”“863”项目的开展，我国已基本全面掌握核心路由器设计生产技术。

为推动国内 IP 技术和路由器技术的发展，满足广大工程技术人员、科研人员的需求，作者在多年从事国家通信行业包括路由器在内的设备的标准制定、路由器设备测试实践以及研究的基础上编著本书。书中比较全面地介绍了因特网的核心设备——路由器的原理、技术以及实现要求。全文共分 11 章。第 1 章路由器概述，包括网络互联设备的分类、路由器的定义、路由器的分类、路由器功能要求、网络通信流程以及路由器网络应用。第 2 章简要介绍包括 RIP、OSPF、ISIS、BGP 在内的路由器相关的协议；当前应用广泛的 MPLS 协议；包括 IGMP、PIM 在内的多播协议。第 3 章概述路由器工作原理、路由器结构发展，以及包括交换、转发、接口、操作系统、报文缓存在内的功能模块、路由器软件和路由器服务质量支持。第 4 章描述路由器的通用实现要求，基本覆盖路由器电信行业入网要求。第 5、6 章分别描述路由器实现 IPv4 协议栈和 IPv6 协议栈的具体要求。第 7 章介绍路由器管理技术，包括定义、管理规则、相关管理内容和协议。第 8 章介绍路由器安全功能，包括网络与信息安全、因特网安全威胁、路由器安全的重要性以及安全要求。第 9 章描述路由器测试，第 10 章介绍路由器的组网，第 11 章描述路由器发展的现状和进展。

在承担“九五”“863”计划 300 项目——高性能路由器课题以及“十五”“863”计划高性能宽带信息网重大专项——太比特路由器专题——3T Net IP 网组网、测试与试验课题的过程中，得到了科技部高新司、信息产业部电信研究院等方面的大力支持，在此深表谢意。本书参考了大量网络资料、学术论文，还有很多信息来自论坛、国内外网络公司的网站、国际国内标准组织的公开文档，在这里表示谢意。特别感谢华为公司、中兴公司、港湾公司、解放军信息工程大学、国防科大、清华大学、北京交大，在与这些单位的交流中获得了大量的素材。感谢邬江兴院士、郭云飞教授、汪斌强教授、卢泽新教授、张宏科教授、徐明伟教授、李红滨教授、王进林研究员、赵慧玲高工、唐健博士、赵友健博士、刘斌教授、高兰高工、兰巨龙博士、刘亚社博士、田畅教授、王文东教授、王立伟高工、张云龙高工等同志在相关“863”项目中给予我的指导、帮助和支持。感谢养育我的父母，感谢支持我的妻子。

由于网络技术发展飞速，路由器技术仍在不断进展，相关技术仍也在不断革新和变化中。此外编写时间有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

第 1 章 路由器概述	1
1.1 互联设备分类	1
1.1.1 互联设备分类概述	1
1.1.2 中继器 (Repeater)	1
1.1.3 集线器 (Hub)	2
1.1.4 网桥 (Bridge)	2
1.1.5 局域网交换机 (LAN Switch)	3
1.1.6 路由器 (Router)	3
1.1.7 三层交换机 (Layer 3 Switch)	4
1.1.8 网关 (Gateway)	5
1.1.9 四层交换机	6
1.1.10 七层交换机	6
1.2 路由器定义	6
1.3 路由器分类	7
1.3.1 路由器分类概述	7
1.3.2 按照能力划分	7
1.3.3 按照系统结构划分	7
1.3.4 按照在网络中的位置划分	7
1.3.5 按照功能划分	8
1.3.6 按照接口性能划分	8
1.3.7 本文应用的划分	8
1.4 路由器功能要求	8
1.5 网络通信流程	9
1.6 路由器网络应用	10
1.6.1 在物理层连接不同网络	11
1.6.2 在链路层连接不同网络	11
1.6.3 在网络层连接不同网络	12
第 2 章 路由相关协议简介	14
2.1 路由协议概述	14
2.2 RIP	14

2.2.1	RIP 概述	14
2.2.2	RIPv1 消息格式	15
2.2.3	RIP 工作原理	16
2.2.4	RIP 路由更新	16
2.2.5	路由更新的传播	17
2.2.6	收敛的问题	17
2.2.7	防范措施	17
2.2.8	RIPv2 的提出	18
2.2.9	RIPv2 消息格式	19
2.2.10	RIPv2 新特性	19
2.2.11	小结	20
2.3	OSPF 协议	20
2.3.1	OSPF 协议概述	20
2.3.2	OSPF 工作原理	21
2.3.3	OSPF 协议分组	25
2.3.4	OSPF 小结	32
2.4	ISIS 协议	32
2.4.1	ISIS 名称来源	32
2.4.2	ISIS 协议概述	33
2.4.3	ISIS 区域划分	33
2.4.4	ISIS 功能组织	34
2.4.5	ISIS 度量	37
2.4.6	ISIS 小结	38
2.5	BGP	39
2.5.1	BGP 概述	39
2.5.2	BGP 术语介绍	40
2.5.3	BGP 消息	40
2.5.4	BGP 路径属性	43
2.5.5	BGP 中消息的应用	45
2.5.6	BGP 有限状态机 (FSM)	45
2.5.7	BGP 小结	47
2.6	MPLS 协议	48
2.6.1	MPLS 协议概述	48
2.6.2	MPLS 协议发展历史	49
2.6.3	MPLS 基本概念	49
2.6.4	MPLS 网络的结构	51
2.6.5	MPLS 基本操作	52
2.6.6	MPLS 标记交换路由器的结构	53
2.6.7	标记封装	53

2.6.8	标记分发协议 (LDP)	55
2.6.9	MPLS 的两种路由机制	58
2.6.10	MPLS 隧道与层次化路由	60
2.6.11	标记合并 (Merge)	61
2.6.12	MPLS 体系结构中的其他问题	64
2.6.13	标记交换路径 (LSP) LSP 入口、LSP 出口	65
2.6.14	倒数第二跳弹出	66
2.6.15	LSP 下一跳	66
2.6.16	无效输入标记	66
2.6.17	输出标记丢失	66
2.6.18	LSP 控制	67
2.6.19	聚合	67
2.6.20	生存时间 (TTL)	68
2.6.21	MPLS 小结	69
2.7	多播技术及协议	69
2.7.1	IP 多播技术的概念	69
2.7.2	IP 多播地址和多播组	70
2.7.3	多播分布树	70
2.7.4	逆向路径转发	70
2.7.5	Internet 多播主干 (MBONE) 网络	71
2.7.6	IP 多播路由协议基本类型	71
2.7.7	密集模式协议	71
2.7.8	稀疏模式多播路由协议	72
2.7.9	IP 多播路由中的隧道传输机制	73
2.7.10	利用 IP 多播实现视频传输	73
2.7.11	IP 多播技术在多点视频数据传输方面的优势	74
第 3 章	路由器技术	76
3.1	路由器工作原理	76
3.2	路由器结构发展	77
3.2.1	路由器结构概述	77
3.2.2	软件转发路由器	77
3.2.3	硬件转发路由器	78
3.3	路由器功能模块	81
3.3.1	交换子系统	81
3.3.2	转发子系统	86
3.3.3	接口子系统	89
3.3.4	路由器操作系统	92
3.3.5	报文缓存	98

3.4	路由器软件	102
3.4.1	路由器软件概述	102
3.4.2	主控相关软件	103
3.4.3	线卡相关软件	104
3.4.4	操作系统内核	105
3.4.5	操作系统封装	105
3.4.6	单播路由协议模块	107
3.4.7	多播路由协议模块	113
3.4.8	MPLS 信令协议模块	115
3.4.9	主控基本协议模块	123
3.4.10	线卡基本协议模块	129
3.4.11	路由表管理模块 (用于 RP/LP)	131
3.4.12	网络管理/代理模块 (用于 RP/LP)	132
3.5	路由器服务质量支持	136
3.5.1	服务质量概述	136
3.5.2	服务质量定义	136
3.5.3	RSVP 协议介绍	137
3.5.4	服务质量保证机制	141
第 4 章	路由器通用实现要求	150
4.1	路由器接口实现要求	150
4.1.1	10/100BaseT 接口	150
4.1.2	吉比特以太网接口	150
4.1.3	FDDI 接口	153
4.1.4	E3 接口	153
4.1.5	SDH 接口	156
4.1.6	ATM 接口	157
4.1.7	WDM 接口	157
4.2	路由器链路层实现要求	157
4.2.1	链路层/Internet 层接口	157
4.2.2	地址解析协议——ARP	158
4.2.3	Ethernet 与 802.3 共存	158
4.2.4	最大传输单元——MTU	159
4.2.5	点到点协议——PPP	159
4.2.6	接口测试	160
4.2.7	串行线上的链路层协议	160
4.2.8	帧中继端口的链路层协议	160
4.2.9	X.25 端口的链路层协议	160
4.2.10	ISDN 接口上链路层协议	161

4.3	路由器运行与维护要求	161
4.3.1	定义	161
4.3.2	路由器初始化	162
4.3.3	运行和维护具体规定	162
4.3.4	安全性考虑	164
4.4	定时和同步要求	165
4.4.1	同步方式	165
4.4.2	外定时方式	165
4.4.3	线路定时	165
4.4.4	路由器内部时钟要求	166
4.4.5	频率基准的保护倒换	167
4.4.6	同步性能的监测、告警和控制	167
4.5	硬件要求	168
4.5.1	硬件系统基本要求	168
4.5.2	对处理机的要求	168
4.5.3	对输入、输出设备的基本要求	168
4.6	软件要求	168
4.6.1	基本要求	168
4.6.2	软件功能要求	169
4.6.3	软件维护管理功能要求	169
4.7	机械结构和工艺要求	170
4.7.1	概述	170
4.7.2	机架要求	170
4.7.3	接插件	170
4.7.4	布线及连接	170
4.7.5	机械加工工艺	171
4.7.6	表面涂复处理	171
4.7.7	印刷电路板	171
4.7.8	可闻噪声及振动	171
4.7.9	冷却、通风	171
4.8	过流过压保护要求	171
4.8.1	安全	171
4.8.2	过压自动恢复和过压告警	172
4.8.3	防电涌破坏	172
4.8.4	绝缘电阻	172
4.9	路由器环境要求	172
4.9.1	温湿度防尘要求	172
4.9.2	防电磁干扰要求	172
4.9.3	路由器抗电磁干扰的能力	173

4.9.4	路由器防雷击能力	173
4.10	路由器电源及接地要求	173
4.10.1	路由器电源要求	173
4.10.2	路由器接地要求	174
第 5 章	路由器 IPv4 实现要求	175
5.1	网络层协议实现要求	175
5.1.1	Internet 协议——IP 实现要求	175
5.1.2	因特网控制消息协议——ICMP 实现要求	180
5.1.3	因特网组管理协议 (IGMP) 实现要求	184
5.2	转发功能实现要求	184
5.2.1	转发算法	184
5.2.2	IP 头确认	185
5.2.3	本地分发决定	185
5.2.4	决定下一跳地址	186
5.2.5	未使用的 IP 头比特	189
5.2.6	分段及重组	189
5.2.7	因特网控制消息协议——ICMP	190
5.2.8	生存时间 (TTL)	190
5.2.9	IP 优先级	191
5.2.10	转发因特网层广播	192
5.2.11	拥塞控制	193
5.2.12	地址过滤	194
5.2.13	源地址确认	194
5.2.14	包过滤以及访问列表	194
5.2.15	多播路由	195
5.2.16	转发控制	195
5.2.17	状态改变	195
5.2.18	IP 选项	196
5.3	传输层协议实现要求	197
5.3.1	用户数据报协议	197
5.3.2	传输控制协议——TCP	197
5.4	路由协议实现要求	197
5.4.1	路由协议概述	197
5.4.2	内部网关协议	198
5.4.3	外部网关协议	199
5.4.4	静态路由	200
5.4.5	路由信息的过滤	200
5.4.6	路由协议间信息交换	201

5.5 网管协议实现要求	201
5.5.1 SNMP 协议元素	201
5.5.2 团体表格	202
5.5.3 标准 MIBS	202
5.5.4 Rmon MIBS	203
5.5.5 厂商指定的 MIBS	203
5.5.6 保存改变	203
第 6 章 路由器 IPv6 实现要求	204
6.1 IPv6 路由器功能划分	204
6.2 IPv6 路由器实现基本要求	204
6.3 IPv6 路由器 IP 层协议要求	205
6.3.1 IPv6 协议实现要求	205
6.3.2 邻居发现协议	208
6.3.3 路径 MTU 发现协议	210
6.3.4 因特网控制消息协议——ICMPv6	210
6.3.5 IPv6 寻址	213
6.4 IPv6 路由器传输层协议要求	213
6.4.1 用户数据报协议——UDP	214
6.4.2 UDP 超长包 (jumbogram) 的处理	214
6.4.3 传输控制协议——TCP	214
6.4.4 TCP 超长包 (jumbogram) 的处理	214
6.5 IPv6 路由协议	214
6.5.1 定义	214
6.5.2 路由安全性考虑	215
6.5.3 优先级及消息检验	215
6.5.4 内部网关协议	215
6.5.5 外部网关协议	216
6.5.6 策略路由	217
6.5.7 路由信息的过滤	217
6.5.8 多播路由协议	218
6.6 IPv6 上的 MPLS 协议	219
6.7 排队策略和拥塞控制	219
6.7.1 排队策略	219
6.7.2 拥塞控制	219
6.8 IPv6 的安全	220
6.9 对移动 IP 的支持	220
6.10 双协议栈路由器	220
6.10.1 双协议栈路由器要求	220

6.10.2	双协议栈功能结构	221
6.10.3	双 IP 协议栈工作方式	222
6.10.4	IPv4 到 IPv6 协议的变化	223
6.10.5	IPv6 路由查找	224
6.10.6	IPv6 地址范围索引	225
6.10.7	IPv6 即插即用 (Plug and Play) 的实现	225
6.10.8	ICMPv6 模块	225
6.10.9	IPSec 协议模块的实现	227
6.10.10	高效的报文缓冲区机制	227
6.10.11	高效的地址匹配机制	228
6.10.12	防止隧道的无限循环	229
第 7 章	路由器管理	230
7.1	路由器管理相关定义	230
7.2	管理规则与程序	231
7.2.1	规则和程序定义	231
7.2.2	服务等级协议	231
7.2.3	变更管理	232
7.2.4	延伸程序	233
7.2.5	更新规则	233
7.3	简单网络管理协议	233
7.4	远程监视	235
7.5	日志管理	236
7.6	网络时间协议	237
7.7	记账管理	238
7.8	配置管理	238
7.9	故障管理	239
7.10	性能管理	241
7.11	安全管理	241
7.11.1	口令类型和加密	241
7.11.2	控制交互式访问	242
7.11.3	减少拒绝服务攻击的危险	242
7.11.4	安全的命令解释器	243
7.12	RADIUS 协议和通信流程	244
7.12.1	RADIUS 协议	244
7.12.2	RADIUS 协议特点	244
7.12.3	RADIUS 包结构	244
7.13	TACACS+	248
7.14	设计支持管理程序的服务器	250

7.15 网络健壮性	250
7.15.1 网络层健壮性概述	250
7.15.2 VRRP	251
7.15.3 HSRP	253
第 8 章 路由器安全	255
8.1 网络与信息安全	255
8.1.1 网络与信息安全概念界定	255
8.1.2 网络与信息安全的重要性	256
8.1.3 网络与信息安全分层	257
8.2 因特网安全威胁及分析	258
8.2.1 因特网面临的安全威胁	258
8.2.2 因特网安全威胁分析	259
8.3 路由器安全重要性	259
8.3.1 路由器安全重要性概述	259
8.3.2 路由器安全对网络自身安全的支撑	259
8.3.3 路由器安全对网络业务提供安全的支撑	260
8.3.4 路由器安全对网络上信息安全的支撑	260
8.3.5 路由器安全对防止有害信息传播的支撑	261
8.4 路由器安全要求	261
8.4.1 路由器设备安全概述	261
8.4.2 路由器设备管理层安全	261
8.4.3 路由器设备控制层安全	262
8.4.4 路由器设备数据/用户层安全	263
8.4.5 路由器设备可靠性要求	263
8.4.6 路由器设备支撑系统安全要求	264
第 9 章 路由器测试	265
9.1 测试的必要性	265
9.2 路由器测试内容	265
9.2.1 测试需了解的内容	265
9.2.2 测试包括的内容	266
9.3 路由器测试方法	266
9.4 路由器测试分类	267
9.4.1 功能测试	268
9.4.2 性能测试	268
9.4.3 一致性测试	270
9.4.4 互操作测试	270
9.4.5 稳定性可靠性测试	271

9.4.6	网管测试	271
9.5	路由器典型性能指标	271
9.5.1	全双工线速转发能力	271
9.5.2	设备吞吐量	271
9.5.3	端口吞吐量	272
9.5.4	背靠背帧数	272
9.5.5	路由表能力	272
9.5.6	转发表能力	272
9.5.7	背板能力	272
9.5.8	丢包率	273
9.5.9	时延	273
9.5.10	时延抖动	274
9.5.11	VPN 支持能力	275
9.5.12	无故障工作时间	275
9.5.13	内部时钟精度	275
9.5.14	端口缓存能力	275
9.5.15	超长包能力	276
9.5.16	协议性能	276
9.5.17	限制条件下的性能	276
9.6	路由器测试仪表	278
9.6.1	测试仪表概述	278
9.6.2	安捷伦公司的 RouterTester (N2X)	278
9.6.3	思伯伦公司的 SmartBit	278
9.6.4	思伯伦公司的 AS4000	279
9.6.5	诺德公司的 InterWatch	279
9.6.6	IXIA 公司的仪表 IXIA	279
9.7	测试中遇到的一些问题	280
9.8	路由器测试小结	280
第 10 章	路由器组网	281
10.1	网络设计一般原则	281
10.2	行业应用分析	282
10.3	IP 网分级考虑	283
10.3.1	一级网络结构	283
10.3.2	二级网络结构	284
10.3.3	三级网络结构	284
10.4	路由协议的选择	285
10.5	网络互联	287

第 11 章 路由器现状与进展	288
11.1 发展现状概述	288
11.2 高端 IPv4 路由器现状	288
11.2.1 国外主要产品	288
11.2.2 国内产品	289
11.2.3 高端路由器技术路线分析	290
11.3 高低端 IPv6 路由器现状	290
11.3.1 国外 IPv6 网络设备现状	290
11.3.2 国内 IPv6 网络设备现状	291
11.3.3 IPv6 路由器测试仪表现状	292
11.3.4 IPv6 产品现状小结	292
11.4 高端路由器技术新进展	293
11.4.1 Chiaro 公司	293
11.4.2 Corvis 公司	294
11.4.3 Caspian 公司	295
11.5 高端路由器发展趋势	296
11.5.1 接口趋向高速化	296
11.5.2 交换能力趋向海量	296
11.5.3 越来越关注业务开展	297
11.5.4 逐渐重视安全问题	297
11.5.5 关于服务质量保障	298
参考文献	299

第 1 章 路由器概述

1.1 互联设备分类

1.1.1 互联设备分类概述

通常网络协议是分层描述和实现的。按照 ISO 的 OSI 七层模型，网络协议从下至上分为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层七层。网络可以在不同层面上互联，在不同层面上的互联需要不同的互联设备。

在物理层实现互联的设备称为中继器 (Repeater)，在链路层实现互联的设备称为桥接器 (Bridge，网桥)，在网络层实现互联的设备称为路由器 (Router)。在更高层面上实现互联的设备通常称为业务网关，可以是邮件网关、Web 代理、FTP 代理、四层交换机和七层交换机等设备。OSI 分层模型以及设备主要工作层面如图 1-1 所示。

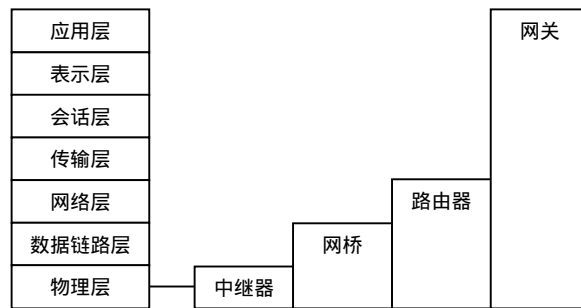


图 1-1 OSI 七层模型与设备工作层面

下面我们讨论几种典型的互联设备，必要时通过与路由器设备对比来说明。

下面我们讨论几种典型的互联设备，必要时通过与路由器设备对比来说明。

1.1.2 中继器 (Repeater)

中继器 (Repeater) 是连接网络线路的一种装置，常用于两个网络节点之间物理信号的双向转发工作。中继器是最简单的网络互联设备，主要完成物理层的功能，负责在两个节点的物理层上按比特传递信息，完成信号的复制、调整和放大功能，以此来延长网络的跨度。中继器在 OSI 参考模型中的位置如图 1-2 所示。

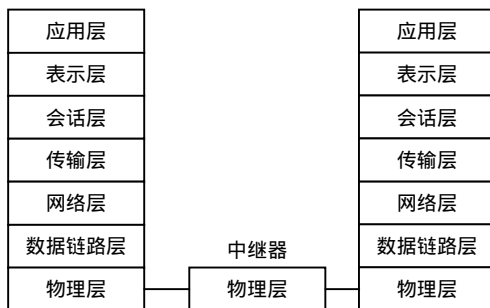


图 1-2 中继器在 OSI 参考模型中的位置

由于存在损耗，在线路上传输的信号功率会逐渐衰减，衰减到一定程度时将造成信号失真，因此会导致接收错误。中继器就是为了解决这一问题而设计的。中继器完成物理线路的连接，对衰减的信号进行放大，保持

与原数据相同。

一般情况下，中继器的两端连接的是相同的媒体，但有的中继器也可以完成不同媒体的转接工作。从理论上讲中继器的使用是无限的，网络也因此可以无限延长。事实上这是不可能的，因为网络标准中都对信号的延迟范围作了具体的规定，中继器只能在此规定范围内进行有效的工作，否则会引起网络故障。以太网标准中就规定了一个以太网上只允许出现 5 个网段，最多使用 4 个中继器，而且其中只有 3 个网段可以挂接计算机终端。

1.1.3 集线器 (Hub)

传统的集线器就其本质而言也是一种中继器。与中继器的区别在于集线器通常是一种多端口中继器。作为网络传输介质间的中央节点，集线器克服了介质单一通道的缺陷。以集线器为中心的优点是：当网络系统中某条线路或某节点出现故障时，不会影响网上其他节点的正常工作。集线器可分为无源 (Passive) 集线器、有源 (Active) 集线器和智能 (Intelligent) 集线器。

- 无源集线器只负责把多段介质连接在一起，不对信号作任何处理，每一种介质段只允许扩展到最大有效距离的一半。
- 有源集线器类似于无源集线器，但它具有对传输信号进行再生和放大从而扩展介质长度的功能。
- 智能集线器除具有有源集线器的功能外，还可将网络的部分功能集成到集线器中，如网络管理、选择网络传输线路等。

集线器技术发展迅速，已出现交换技术（在集线器上增加了线路交换功能）和网络分段方式，提高了传输带宽。传统集线器在 OSI 参考模型中的位置与中继器相同。

集线器虽然本质上是多端口中继器，但是在局域网发展历史上占有重要地位。因为集线器的出现，总线形的局域网可以成为以集线器为中心的星形网络。星形网络的维护成本远远低于总线形网络。所以集线器的出现，曾经极大地推动了局域网的发展。

1.1.4 网桥 (Bridge)

网桥 (Bridge) 也称桥接器，是连接两个局域网的存储转发设备，用它可以完成具有相同或相似体系结构网络系统的连接。一般情况下，被连接的网络系统都具有相同的逻辑链路控制 (LLC) 规程，但媒体访问控制 (MAC) 协议可以不同 (数据链路层分逻辑链路控制子层和媒体访问控制子层)。

网桥是数据链路层的连接设备，准确地说它工作在 MAC 子层上。网桥在两个局域网的数据链路层 (DLL) 间传送信息，在 OSI 参考模型中的位置如图 1-3 所示。

网桥是为各种局域网存储转发数据而设计的，它对末端节点用户是透明的，末端节点在其报文通过网桥时，并不知道网桥的存在。

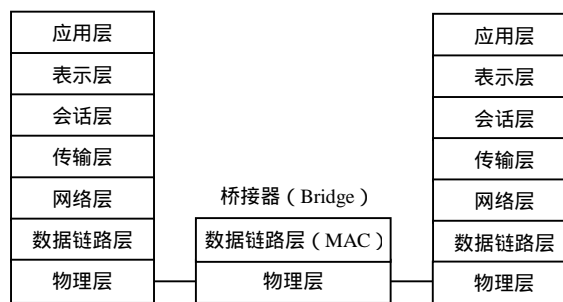


图 1-3 桥接器在 OSI 参考模型中的位置

由于网桥是工作在数据链路层中 MAC 子层上的设备，所以网桥可以根据数据帧中链路

层地址以及保存的链路层转发表作智能转发：根据目的链路层地址决定数据帧转发与否。网桥中链路层地址表可以来自静态配置或者自动学习。对于目的地链路层地址不在链路层地址表中的数据帧，网桥将在除接收端口外所有端口作广播。

由于网桥工作在数据链路层，与物理层无关，所以网桥的端口可以是不同类型。即网桥可以将相同或不相同类型的局域网连在一起，组成一个扩展的局域网络。如果数据帧的目的地在不同类型网络上，例如从以太网端口上收到的帧需要发送到 FDDI 网络端口上，网桥负责作链路层封装以及必要的分段或者重组功能。

此外工作在数据链路层上的网桥还能运行一些链路层协议。网桥上实现生成树协议可以保证由网桥组成的二层网络逻辑拓扑无环。

与中继器只需要恢复信号相比，网桥实现的工作相对复杂：包括链路层地址的提取、查表、可能出现的链路层重封装、可能出现的分段和重组、生成树协议等内容。所以最初的网桥功能通常是软件实现的，转发速度有限。由于网桥有分网段和选择性转发功能，因此与用集线器或者中继器连接成的网络相比，用网桥可以建立起相对较大的网络，通常是校园网规模。所以使用网桥组网在最初成为校园网组网的主流方式。但是由于网桥二层组网的本质缺陷，例如可能出现广播风暴等原因，随着技术的发展以及网络规模的扩大，组网方式逐渐走向使用路由器的三层组网。

1.1.5 局域网交换机 (LAN Switch)

局域网交换机是高速多端口网桥，在本质上与网桥没有区别。局域网交换机在 OSI 七层模型中的位置与网桥相同，工作在数据链路层。

虽然在实质上网桥与局域网交换机相同，但是两者还是有一定的细微区别：

- 传统的网桥功能由软件实现，通常在通用计算机上安装多个网卡，再运行一些桥接软件来完成。所有的转发、过滤、查表、封装等工作都由通用计算机的 CPU 芯片完成。而一般局域网交换机所有工作都是由硬件完成，例如 FPGA 或者 ASIC 芯片等，近年来通常使用网络处理器实现。

- 网桥通常支持桥接不同类型的网络，例如桥接以太网与 FDDI 等。局域网交换机通常只支持一种网络类型。在以太网已成为工业标准的今天，局域网交换机通常特指以太网交换机。

- 网桥由于是由软件实现，通常转发效率较低：一般时延在毫秒级，不支持最小帧线速。局域网交换机由于使用硬件转发，一般时延在微秒级，支持最小帧线速。

尽管存在上述差别，局域网交换机与网桥在本质上还是相同的。之所以采用局域网交换机而不是沿用网桥这个名称，其说法多种多样。其中下面的说法比较有趣。在使用网桥大量建网以后，人们发现种种问题，例如效率低下、可能出现广播风暴、网络规模受限制等。局域网交换机采用了多种手段加以改善，例如采用硬件转发代替软件转发、通过划分虚拟网限制广播风暴、采用广播风暴抑制机制等。上述手段虽然不能完全解决上述问题，但是有了很大的改善。为了避免网桥给人们的恶劣印象，人们采用局域网交换机这个更体现技术特点的名称，而不是采用诸如新一代网桥等名称。