

路由器新技术丛书

高端路由器 测试技术

◆王乐春 龚正虎 等 编著
白建军 夏建东

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

路由器新技术丛书

高端路由器测试技术

王乐春 龚正虎
白建军 夏建东
等编著

人民邮电出版社

s for
:
: 清
果误

图书在版编目(CIP)数据

高端路由器测试技术/王乐春等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2002.12
(路由器新技术丛书)

ISBN 7-115-10834-X

I. 高... II. 王... III. 计算机网络—路由选择—测试技术 IV. TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 089358 号

内 容 提 要

本书详细介绍了高端路由器的测试方法和测试内容, 给出了关于高端路由器测试的最新研究成果以及部分成熟的测试案例, 包括测试标准、测试方法、测试规范和测试评价。核心内容是路由协议一致性测试和路由器基准测试。

本书叙述清晰, 结构明了, 可用作计算机网络专业的本科生、研究生的参考教材, 也可供测试技术人员和网络工程师参考。

路由器新技术丛书 高端路由器测试技术

-
- ◆ 编 著 王乐春 龚正虎 白建军 夏建东 等
责任编辑 梁 凝

 - ◆ 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 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京鸿佳印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销

 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 13
字数: 314 千字 2002 年 12 月第 1 版
印数: 1-4 500 册 2002 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-10834-X/TN · 1967

定价: 24.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

丛书前言

伴随着世界经济格局在世纪之交的大调整和新技术革命带来的更大的挑战，网络经济，特别是与 Internet 相关的经济，已经成为知识经济时代的主要模式。互联网络成为加快和改变人类信息与知识流通的巨大推动力，信息高速公路的出现更是消除了地域和时间上的差异，成为各种经济行为的基础。同时，随着 Internet 网络技术的飞速发展，各种形式的网络应用深入到千家万户的日常生活中，人们对主要的网络互连设备的性能、网络安全性以及稳定性的期望越来越高。

作为 IP 网络的核心，路由器技术，特别是高性能路由器技术已经成为当前网络领域研究的热点和重点，越来越多的研究机构和商业团体开始重视路由器技术的发展。

在我国，虽然路由器技术起步较晚，但是也已经取得了可喜的成绩。具有自主知识产权的高端路由器于 2001 年初的问世，不仅标志着我们的网络领域已经赶上了国际上的最高水平（某些指标甚至已经是国际领先水平），也极大地激起了网络科研工作者和业界的自豪感与使命感，业界人士已经开始广泛关注路由器技术。为了满足广大网络工作者以及在校学生的需求，受同仁委托，我们组织编写了这套“路由器新技术丛书”。

本丛书以路由器技术为主线，涉及到 Internet 路由方方面面的知识和技能，包括路由器的原理与设计、路由器的测试、路由协议和 MPLS 技术等众多领域。丛书共有以下 5 本：

1. 《Internet 路由结构分析》
2. 《路由器原理与设计》
3. 《高端路由器测试技术》
4. 《新型的骨干网路由平台——MPLS》
5. 《组播路由协议设计及应用》

本套丛书的作者大都是在网络领域从事研究与工程实践的技术人员，他们对路由器以及相关技术有深入的研究，广大读者可以从他们的实践中汲取很多其他途径很难获取的经验和知识。

相信本套丛书会为那些想深入学习高级网络技术的广大技术人员、工程人员以及相关专业的在校学生带来难得的惊喜。

2A082/07

前 言

近几年来,网络技术的发展非常迅速,网络带宽也在飞速增加。几个国际上领先的网络公司已经能够在广域的 SDH 上,以 2.5Gbit/s 的速率传输 IP 报文。现已有 10G bit/s 接口的高端路由器也已经从实验室走向商用。

我们有幸参与了国家“863-300”核心路由器的研究工作。在核心路由器的研制过程中,我们发现,所面临的最大问题之一就是测试技术资料的匮乏。在实际设计、开发过程中所需要的各种测试数据,成为推动工程前进的重要动力。但是,国内对高端路由器的研制刚刚开始,所有的工作都要从头做起,而所需要的测试数据更是凤毛麟角。在美国的普通工程中一般测试人员的工作比例占 30%~40%,而对于高技术和高附加值的项目,测试人员的工作量甚至可以占整个工程的 60%以上。而在国内的研究机构,对测试的重视程度还有所欠缺。结合工程实践,我们在信息产业部电信传输研究所测试工程师的帮助下,制定了详细的测试计划,完成了核心路由器项目所需要的各项测试内容。这里我们把所参与和所做过的测试工作总结出来,供大家参考和交流。

本书以高端路由器技术为主,介绍路由器的测试方法,全书共分 7 章。作为引言,第 1 章介绍了路由器的基础知识和一般分类方法,给出了高端路由器的关键技术指标。第 2 章着重介绍测试技术的基础。从第 3 章开始讨论具体的测试细节。第 3 章介绍物理端口测试,包括以太网端口和 SONET/SDH 端口测试。第 4 章介绍网络协议的测试,包括 PPP 协议的测试、以太网协议的测试、ATM 信令的测试及整个 IP 协议栈的测试。第 5 章主要介绍了三种最常用的路由协议(RIP、OSPF 和 BGP)的测试,在本章最后简单涉及了 MPLS 协议测试的一些基本知识。第 6 章从产品的可用性这一角度,着重介绍了网管的测试、QoS 测试和安全测试。第 7 章介绍高端路由器整机测试的主要内容,包括基准测试,可靠性测试以及鲁棒性测试。最后在附录中给出了常用的路由器测试设备以及 AVICI 高端路由器产品的一份测试报告。由于路由器技术,特别是高端路由器技术涉及的领域繁多,所以高端路由器测试技术更是比较复杂,在一本书里不可能给予完整的介绍和阐述。我们只希望本书能够为我国网络技术的发展与普及做出微薄贡献,其他未能涉及的领域请参阅相关书籍和网络资源。

本书参考了大量的网络书籍以及学术论文,还有很多信息来源于论坛、国际上一些网络设备公司的技术支持中心和一些国际性标准化中心组织的公开文档。

在国家“863-300”核心路由器项目的测试和验收期间,与 Agilent 中国公司的梁勇高级工程师、信息产业部电信传输研究所的卢彧、魏亮、袁琦、武静和吴江等同志的讨论,为本书积累了大量的素材,在此对他们的帮助一一表示感谢。

本书由白建军和王乐春组织编写,第 1 章和第 4 章的部分小节由白建军执笔,其余各章由王乐春和夏建东执笔,最后由龚正虎教授审阅和定稿。书中大部分插图和图表都由张锐绘制。

由于水平所限,加上时间仓促,书中欠妥乃至错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作者

2002 年 3 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 路由器基础	1
1.1.1 路由器的组成模块	2
1.1.2 路由器的硬件组成	3
1.1.3 路由器的功能	7
1.1.4 路由器与网桥的比较	7
1.2 路由器分类	8
1.2.1 核心路由器	9
1.2.2 企业级路由器	9
1.2.3 接入路由器	9
1.3 高端路由器关键性能指标	10
1.3.1 吞吐量	11
1.3.2 背板能力	11
1.3.3 丢包率	11
1.3.4 时延以及时延抖动	11
1.3.5 突发量能力	12
1.3.6 路由表容量	12
1.3.7 服务质量	12
1.3.8 网管能力	12
1.3.9 可靠性和可用性	12
1.4 网络设备测试国内外研究现状	13
1.5 主要的国际标准组织	15
第 2 章 测试技术基础	17
2.1 概述	17
2.2 测试技术研究的主要内容	18
2.3 测试评价技术和指标	18
2.4 概率论与统计的一些基本概念	20
2.5 样本和总体	22
2.6 均值置信区间	23
2.7 零均值检验	24
2.8 双系统比较	25
2.8.1 匹配观测值	25
2.8.2 非匹配观测值	26

2.9	置信水平的选择	27
2.10	假设检验和置信区间	27
2.11	单侧置信区间	28
2.12	比例值置信区间	28
2.13	确定样本空间大小	29
2.13.1	确定均值所需样本大小	29
2.13.2	确定比例值所需样本大小	30
2.13.3	比较两个系统所需的样本大小	30
2.14	小结	30
第3章	物理端口测试	32
3.1	概述	32
3.2	以太网端口测试	33
3.2.1	10/100M 以太网端口测试	34
3.2.2	1000M 以太网端口	36
3.3	SONET/SDH 端口测试	50
3.3.1	STM-1 端口	51
3.3.2	STM-16 端口	54
第4章	网络协议测试	56
4.1	PPP 测试	56
4.1.1	PPP 概述	56
4.1.2	PPP 封装	57
4.1.3	PPP 链路操作	58
4.1.4	PPP 测试	60
4.2	以太网测试	63
4.2.1	载波监听多址/冲突检测的访问方式 (CSMA/CD)	64
4.2.2	以太网协议测试	64
4.3	ATM 测试	65
4.3.1	ATM 测试的标准	66
4.3.2	ATM 信令的一致性和互操作性测试	67
4.4	IP 协议栈测试	69
4.4.1	ICMP	69
4.4.2	IGMP	73
4.4.3	IP 及数据报的转发	74
4.4.4	IP 地址	74
4.4.5	数据报的分段与重组	76
4.4.6	IP 数据报的包头	76
4.4.7	路径 MTU 发现	80
4.4.8	子网	80
4.4.9	转发算法	80

4.4.10	本地交付的判定	82
4.4.11	下一跳地址的决定	83
4.4.12	包过滤	86
4.4.13	转发控制	86
4.4.14	状态变化	86
4.5	传输层测试	87
4.5.1	UDP 协议	87
4.5.2	传输控制协议	87
4.6	小结	88
第 5 章	路由协议测试	90
5.1	概述	90
5.2	RIP 协议测试	93
5.2.1	RIP 协议概述	93
5.2.2	RIP 协议一致性测试	99
5.3	OSPF 协议测试	105
5.3.1	OSPF 协议概述	105
5.3.2	OSPF 协议一致性测试	111
5.4	BGP 协议测试	115
5.4.1	BGP 协议概述	116
5.4.2	BGP 协议操作机制	121
5.4.3	BGP 协议一致性测试	123
5.5	MPLS 协议测试	128
5.5.1	MPLS 基本概念	129
5.5.2	MPLS 基本工作过程	131
5.5.3	MPLS 性能测试	131
第 6 章	高层应用测试	135
6.1	网络管理测试	135
6.1.1	网络管理的发展历程	135
6.1.2	网络管理的现状	136
6.1.3	网络管理的功能	136
6.1.4	网络管理系统的组成	138
6.1.5	SNMP 网络管理模型	138
6.1.6	SNMPv1 协议	140
6.1.7	SNMPv2 协议	143
6.1.8	路由器网络管理测试	144
6.2	服务质量测试	152
6.2.1	IP QoS 需求	153
6.2.2	IP QoS 的定义	153
6.2.3	QoS 测试	154

6.3	安全测试	156
6.3.1	审查和查账跟踪	156
6.3.2	配置控制	157
6.3.3	安全功能测试	157
6.4	小结	158
第7章	整机测试	159
7.1	概述	159
7.2	基准性能测试	160
7.2.1	吞吐率	161
7.2.2	延迟	164
7.2.3	丢失率	170
7.2.4	突发量	172
7.2.5	系统恢复	173
7.2.6	系统重启	176
7.3	可靠性测试	178
7.4	鲁棒性测试	179
7.5	小结	181
附录 A	常用路由器测试设备	182
附录 B	高端路由器产品测试报告实例	191
附录 C	缩略语和术语	198

第1章 概述

1.1 路由器基础

在当今信息化社会中，人们对数据通信的需求日益增加。路由器作为 IP 网的核心设备，其技术已成为当前信息产业的关键技术。

如前所述，路由器工作在 OSI7 层参考模型的网络层（如图 1-1 所示），完成不同网络之间的数据存储、分组和转发功能。它可以根据报文来传输数据，完成网络层路由和存储转发任务。由于在两个不同网络的网络层之间按报文传输数据时，需要改变两个不同类型网络报文中的第二层地址，即决定在网络之间数据传输时的路由去向，因此它是实现网间网互连必须使用的设备。

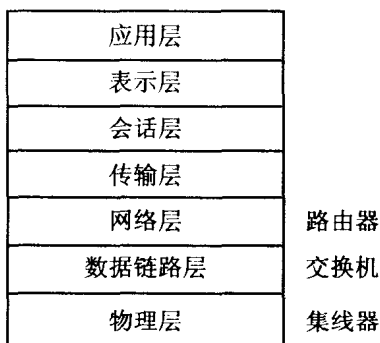


图 1-1 路由器在 OSI7 层参考模型的位置

路由器的基本用途是连接多个逻辑上分开的网络，必须具有判断网络地址和选择路径的功能，能够在多个网络互联环境中建立灵活的连接，并可用完全不同的数据分组和介质访问方法连接各种子网。路由器只接收源站或其他路由器的路由信息，属于网络层的一种互联设备，它不关心各子网使用的硬件设备，但要求运行与网络层协议相一致的软件。

虽然路由器可以支持多种协议（例如 TCP/IP、IPX/SPX 和 AppleTalk 等协议），但是在我国绝大多数路由器运行 TCP/IP。本书假定路由器主要运行 TCP/IP 协议簇（实际情况也是如此）。网络层协议为 Ipv4，因为这是最流行的网络层协议，它所涉及的概念与其他网络层协议是类似的。

1.1.1 路由器的组成模块

路由器通常连接两个或多个由 IP 子网或点到点协议标识的逻辑端口，至少拥有 1 个物理端口。路由器根据收到数据包中的网络层地址和路由器内部维护的路由表决定输出端口以及下一跳地址，并且重写链路层数据帧头实现转发数据包。路由器通常动态维护路由表来反映当前的网络拓扑，通过与网络上其他路由器交换路由和链路信息来维护路由表。

我们以一个路由器模型为基础介绍路由器的一般组成，后面还会有更详细的描述。如图 1-2 所示，一个典型的路由器主要由 4 部分组成：输入端口、输出端口、交换网络和路由处理器。

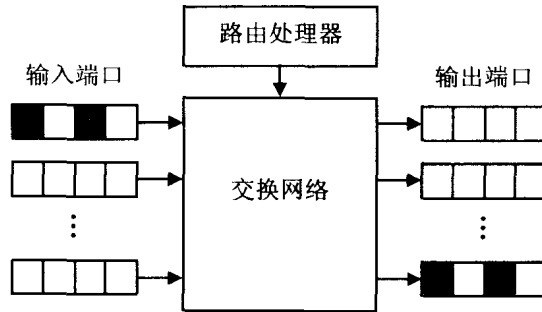


图 1-2 路由器典型组成

1. 输入端口

输入端口在线卡上，是物理链路的连接点也是报文的接收点。输入端口的设计遵守物理链路设计标准，主要完成以下功能。

(1) 数据链路层帧的拆封。

(2) 在一些路由器的设计中，输入端口拥有一个转发表（是主处理器路由表的一个简单映射），它可以直接在转发表中执行路由查找并把数据报送往输出端口，从而减轻主处理器的交换负担。早期的路由器都是简单地把所有接收到的数据报由输入接口送给主处理器进行处理，以至于主处理器的处理能力成为整个路由器性能的瓶颈。

(3) 为了提供 QoS，输入端口也可能根据预先指定的策略把接收的报文进行分类。

(4) 有时，输入端口还要运行数据链路层协议（如 SLIP、PPP 等）或者网络层的协议（如 PPTP）。

(5) 把一些特定的控制数据报（利用 RIP、OSPF、BGP 等路由信息数据报）送给路由处理器，由主处理器更新路由表。

2. 输出端口

输出端口的主要功能是队列和缓冲管理，当交换网络传送数据速率比接口速率传送数据报速率还快时，该功能显得尤其重要。输出端口使用复杂的调度算法（例如 RED 算法和 WFQ 算法等）实现 QoS 功能，另外还要执行与输入端口类似的功能，如数据报的封装和支持物理链路协议等。

3. 交换网络

交换网络完成输入端口和输出端口之间的互连功能。交换网络有许多实现方法：从简单

的 Crossbar 交换到复杂的 Perfect shuffle、Clos 交换等。现在常用的主要有 3 种：总线型交换、共享存储型交换和互连网络型交换。如图 1-3 所示。

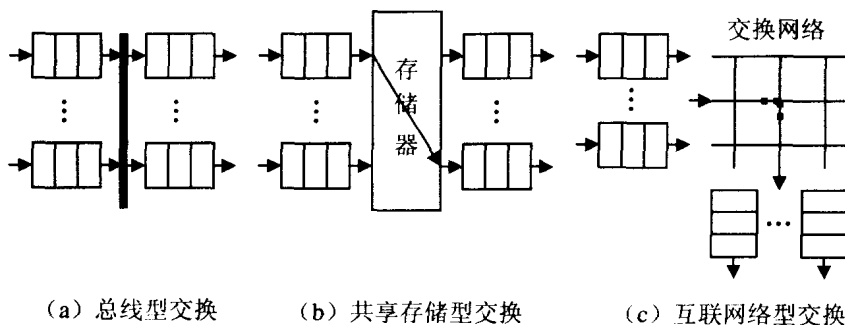


图 1-3 典型交换网络

最简单的交换方式是总线型交换：当一个数据报到达输入端口时，通过一个共享总线直接被送往输出端口而不用路由处理器的干预，一旦发现总线忙，数据报就会在输入端口排队。这种方式的不足在于因为总线是共享的，路由器的交换能力受限于共享总线的带宽。

共享存储型交换使用一个共享的存储器完成报文的交换，它没有独立的路由处理器，路由器的主 CPU 本身完成路由转发。当输入端口接收到数据报时，它首先中断主 CPU，将接收到的数据报从输入端口缓冲拷贝到共享存储器，处理器经过路由表的查找为该数据报选择合适的输出端口，最后将该数据报拷贝给输出端口。Cisco 8500 系列路由器使用的就是这种共享存储的交换方式。这种方法的不足是交换速度受限于访问速度。

互连网络型交换把输入端口和输出端口用多条可用的交换路径连接起来，从而消除了共享总线带宽所带来的限制。一种典型的互连网络型交换是 Crossbar。如图 1-3 (c) 所示，Crossbar 通过交换网络把 N 个输入接口和 N 个输出接口连接起来，Crossbar 可以被看作一个由 $N \times N$ 个交叉点连接成的 $2N$ 条总线，当一个交叉点处于“可用”状态时，它所连接的两条总线之间就可以进行数据传输。Cisco 12000 系列路由器就属于互连网络型交换，达到 60Gbit/s 的交换能力。

4. 路由处理器

路由处理器运行系统软件和各种路由协议，实现维护路由表和计算转发表等功能。其功能既可以用软件实现，也可以用硬件实现。对路由处理器的软件与硬件分工的优化也是影响路由器性能的主要因素。

可见，只要具有了以上 4 个基本要素，就可以实现路由器的基本功能。如何把这 4 个基本要素合理地结合起来，使路由器具有高性能的同时具有低的价格是路由器体系结构一直关心的问题。随着新硬件的不断上市，硬件成本也不断下降，新的体系结构技术不断被实现；同时由于网络的作用越来越受到重视，用户也愿意支付较高的投资来购买高性能的路由器，从而大幅度提高整个网络的性能。

1.1.2 路由器的硬件组成

目前市场上已有多种类型的路由器产品。虽然这些产品在处理能力和所支持的接口数上有所不同，但它们都使用一些核心的硬件。图 1-4 所示为路由器的硬件组成，其中 CPU（或微处理器）的类型、ROM 与 RAM 的大小、I/O 端口的数目和介质转换器对不同路由器稍有

不同，但它们都包含图中所示硬件。下面通过分析各部件的功能来说明路由器整体上的工作方式及其所提供的功能。

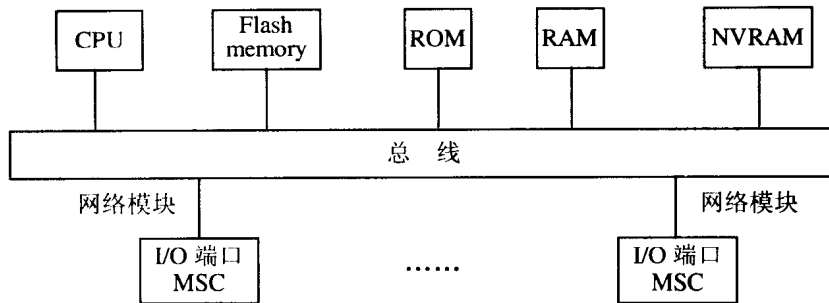


图 1-4 路由器的硬件组成

1. 中央处理单元

中央处理单元 (CPU)，也称为微处理器，负责运行路由器操作系统 (OS) 以及负责执行通过控制台 (Console) 和 Telnet 连接输入的命令。因此，CPU 的处理能力与路由器的处理能力直接相关。

2. 闪存

闪存 (Flash Memory) 是一种可擦写、可编程的 ROM。闪存是一种可选性的硬件，负责保存操作系统的映像 (Image) 和路由器的微代码 (Micro Code)。因为修改闪存无需更换和移动芯片，在需要定期修改存储内容的情况下，其费用较低，且使用方便。只要空间允许，用户可以在闪存中存储多个操作系统的映像。这项功能对于测试新的映像十分有用。路由器的闪存还能通过普通文件传输协议 (TFTP, Trivial File Transfer Protocol) 将操作系统的映像加载到另一个路由器上。

3. 只读存储器

只读存储器 (ROM, Read Only Memory) 中的代码执行加电检测，这一点与微机所执行的加电自检 (POST, Power On Self-Test) 相同。ROM 中的启动程序还负责加载操作系统软件。有的路由器在软件升级时只能通过更换 ROM 才能做到，有的却可以通过使用不同类型的存储方式来保存新的操作系统。

4. 随机存取存储器

随机存取存储器 (RAM, Random Access Memory) 用来保存路由表并进行报文缓存等。在许多数据流流向一个通用接口时，报文可能不能直接传送到该接口，此时由 RAM 提供报文排队所需的空間。另外在路由器工作时，RAM 还用来保存路由器配置文件。当 RAM 为缓存 ARP 信息提供空间时，它能减少 ARP 的数量，并增强多个网络连接到路由器时的传输能力。路由器断电时，RAM 中的内容会被清除。

5. 非易失随机存取存储器

非易失随机存取存储器 (NVRAM, Nonvolatile RAM) 在路由器断电时仍能保持其内容。通过在 NVRAM 中保存配置文件的副本，路由器在电源故障时可以快速地恢复。使用 NVRAM 后，路由器就不再需要硬盘或软盘来保存其配置文件。因此，路由器中没有移动部件，可以延长各部件的使用寿命。

因为路由器没有硬盘和软盘，所以通常的方法是将配置文件存储在一台微机上，这样，用户可以方便地使用文本编辑器进行修改。配置文件可以通过网络使用 TFTP 直接加载到 NVRAM 中。当通过路由器来加载配置时，路由器相当于一个客户机，而文件所在的 PC 相当于一台服务器。这意味着用户要在 PC 上安装 TFTP 服务器软件来操作 PC，以便将文件在计算机上进行移入或移出。

6. 输入/输出端口和特定介质转换器

输入/输出端口（I/O 端口，Input/Output Port）是报文进出路由器的连接装置。每一个 I/O 端口都连到一个特定介质转换器（MSC，Media-Specific Converter）上，MSC 提供物理接口到特定类型的物理介质物理特性要求的转换，如以太网、令牌环网、RS-232 连接或 POS（Packet Over SONET）接口等。

当路由器从网络上接收到数据后，报文的第 2 层报文头被丢掉，并进入 RAM 中。此时，CPU 检查路由表，以决定报文的输出端口及报文的封装方式。这种处理过程称为进程式交换模式（Process Switching Mode）。在进程式交换模式中，每个报文都必须被 CPU 处理，CPU 要查询路由表并决定往何处发送报文。

Cisco 路由器还有一种交换模式称为快速交换（Fast Switching）。在快速交换模式中，路由器维护着一个内存缓冲区，其中包含目的 IP 地址与下一跳的接口信息。路由器通过存储以前从路由表中获取的信息而创建这样的缓存。去往特定目标的第一个报文需要 CPU 查询路由表。一旦得到路由信息，在决定去往特定目标的下一跳时，该信息就已经存储在快速交换缓存中。当新的发往该目标的报文到达时，就不再需要查询路由表。这种机制使得路由器交换报文的速度提高，并且路由器 CPU 的负载也会相应降低。

快速交换的变种存在于特殊的硬件结构中——它只在高端路由器模型中才存在。快速交换的变种与快速交换两者的原理在本质上是一样的，对于所有的交换模式都需要一个包含从目的地址到接口映射的缓存。

还有一种交换模式称为网络流交换（Net-flow Switching），这种方式不仅缓存目的 IP 地址，还缓存源 IP 地址和上层的 TCP 或 UDP 端口等。

对于快速交换还有一些要点需要指出。首先，对路由表或 ARP 缓存的任何修改都会强制清除快速交换缓存中的内容。该动作一般发生在拓扑结构发生改变时，此时快速交换缓存要重建。而且，快速交换缓存中的路由项会随着路由表中内容的改变而改变，快速交换缓存中的路由项与路由表中的相应项要能够匹配。

例如，如果路由器有一个到网络 10.1.1.0/24 的路由，路由器将会缓存目的地址 10.1.1.0/24。如果路由器只有一个到网络 10.1.1.0/16 的路由，路由器将会缓存目的地址 10.1.0.0/16。如果路由表中没有网络或子网的路由项，路由器就使用缺省路由，并使用缺省主网络屏蔽码，同时将缓存目的地址 10.0.0.0/8。这种方式工作在对特定目的地址只有一个路由的情况下。如果有多个费用相同的路径，且无缺省路径，路由器就会缓存整个 32 位的目的地址。

假如目的 IP 地址为 10.1.1.1，而路由器中有两条到 10.1.1.0/24 网络的路由，则系统将缓存 10.1.1.1/32，并将其匹配成第一跳。下一个去往 10.1.1.0/24 网络的路由，如 10.1.1.2/32，将会缓存并匹配成第二跳。如果还有第三条费用相同的路径，则 10.1.1.0/24 网络上的下一个目的地址将成为第三跳，等等。注意，上述的情形只有在没有缺省路由的情况下才会发生。如果路由器要使用缺省路由来发送报文，则将缓存主网络号，而不是整个 32 位地址。

路由器使用一种称为轮询（round-robin）的方法缓冲每一个目的地址的下一跳地址，这意味着路由器的负载基于每一个目的站点进行了平衡。也就是说，正是由于快速缓存中包含了目的结点与接口的映射，一旦缓存中缓冲了某个表项，去往相同目的地的其他报文才可以使用缓存中的表项内容。路由器不会在快速交换缓存中缓冲到同一目的结点的多个接口。

在进程交换模式下，路由器基于每个报文进行负载平衡。由于没有快速交换缓存，每一个报文都要经过查询才能发送到后续的接口。如果有多条路径，这种方式就能使得网络的负载更加平衡，但路由器的 CPU 负载却增加了，从而降低了路由器传递报文的速度。

7. 路由器初始化过程

打开路由器的电源，路由器就会执行一系列预定义的操作。路由器所执行的附加操作还依赖于具体设备以及对该设备进行的配置。要了解路由器的初始化过程，首先要分析设备加电时所发生的主要事件。

图 1-5 以流图方式说明路由器初始化过程所执行的主要功能。路由器加电时，首先执行一系列诊断性测试，以验证处理器、存储器和接口电路能否正常工作。由于该过程是在加电时进行的，所以通常称之为加电自检（POST, Power-On Self-Test）。

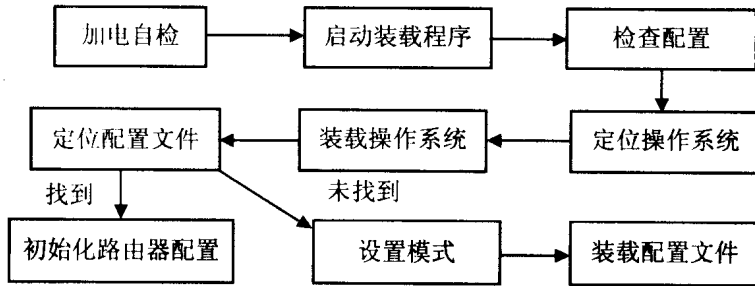


图 1-5 路由器的初始化过程

完成 POST 之后，路由器执行启动装载程序。装载程序的主要功能是初始化，并将操作系统映像的一个拷贝拷入主存中。在加载映像以前，装载程序必须首先判断操作系统映像的位置。操作系统映像可能位于闪存中或者 ROM 中，甚至可以在网络上。为了决定操作系统映像的位置，启动装载程序要检查路由器的配置寄存器。配置寄存器的值可以通过硬件跳线或软件来设置，这依赖于路由器的模型。寄存器的设置指示操作系统的位置，并定义其他设备的功能，如路由器对来自控制台的 break 键如何响应，以及在控制台终端上是否显示诊断消息等。

在大多数情况下，引导寄存器将设置成 2，即路由器将查看配置文件，以决定引导命令。如果什么也没找到，路由器将引导闪存中的第一个映像。如果在闪存中找不到有效的操作系统映像，或者找不到闪存，那么路由器使用广播地址发送一个用于请求操作系统映像的 TFTP 请求，以装载 TFTP 服务器上的映像。

一旦配置寄存器检测完成，启动装载程序就知道从何处可以找到操作系统的映像，并将其加入路由器的 RAM 中。操作系统装载完成之后，启动装载程序从 NVRAM 中寻找以前创建和存储的配置文件。

如果找到了配置文件，则配置文件将会被加载到内存中逐行执行，这样路由器就变成可操作的了，且工作是按照以前定义的网络环境进行的。如果以前创建的 NVRAM 文件并不存在，则操作系统将执行一个预定义的、以问题驱动方式进行的配置过程，称为设置对话（Setup

Dialog)。一旦操作员完成设置对话，配置信息将存储在 NVRAM 中，以便下一次初始化过程中进行缺省装载。可以通过设置配置寄存器来让路由器忽略 NVRAM 中的内容。该特征用于路由器的密码恢复，此时管理员可以忽略配置文件中的内容。

1.1.3 路由器的功能

根据 RFC 1812，路由器要涉及到数据链路层（包括 PPP 和 ARP 等）、网络层（包括 IP、ICMP 和 IGMP 等）、传输层（包括 TCP 和 UDP，主要是实现一些其他应用协议时需要的功能）以及应用层（包括各种路由协议、BOOTP、SNMP 和 DVMRP 等）。所有的路由器必须完成两个基本功能：路由处理和包转发处理。

路由处理的主要任务是收集网络拓扑信息并形成路由转发表。包转发处理根据转发表将报文从输入端口转发到适当的输出端口。

总的来说，路由器通常实现下列基本功能：

- 实现 RFC 规定的各种基本协议，如 IP、TCP、UDP 和 ICMP 等互联网协议。
- 连接到两个或多个数据包交换的网络，对每个连接到的网络，实现该网络所要求的功能。比如，把 IP 数据包封装成链路层帧或从链路层帧中取出 IP 数据包，按照该网络所支持的最大数据包大小发送或接收 IP 数据报，该大小是网络最大传输单元（MTU，Maximum Transmission Unit）。
- 将 IP 地址与相应网络的数据链路层地址相互转换，例如将 IP 地址转换成以太网 MAC 地址。
- 接收及转发数据包，必要时将数据包分段。在收发过程中实现缓冲区管理、拥塞控制以及公平性处理。出现差错时，辨认差错并产生 ICMP 差错及必要的差错消息。丢弃生存时间（TTL）域为 0 的数据包。按照路由表信息，为每个 IP 数据包选择下一跳目的地。
- 支持至少一种内部网关协议（IGP，Interior Gateway Protocol），与同一自治域中的其他路由器交换路由信息及可达性信息，支持外部网关协议（EGP，Exterior Gateway Protocol），与其他自治域交换拓扑信息，当前主要是边界网关协议 BGP-4（Border Gateway Protocol）。动态维护网络路由信息以符合网络的当前拓扑结构，从而能根据路由数据信息为每一个 IP 数据包选择路由。
- 提供网络管理和系统支持机制，包括存储/上载配置、诊断、升级、状态报告、异常情况报告及控制等。
- 实现网络支持的流量控制和差错指示。支持网管功能，包括网络调测、异常报告以及状态报告等。

1.1.4 路由器与网桥的比较

典型情况下，路由器用于将地理上分散的网络连接在一起，这使得将大量计算机连接到一起成为可能。在路由器流行之前，通常使用网桥来达到同样的目的。网桥在小规模网络中表现出色，但当网络规模扩大时，就出现了问题。网桥要记住网络上所有独立的计算机。用网桥不能将大量计算机连接在一起的原因，就在于网桥不能理解网络号，因此在网络上任何地方发出的广播都要发送到网上的每一个地方。

1.2 路由器分类

当前路由器分类方法各异，各种分类方法有一定的关联，但是并不完全一致。

从能力上分，路由器可分高端路由器、中端路由器和低端路由器。各厂家的划分方法并不完全一致。通常将背板交换能力大于 40Gbit/s 的路由器称为高端路由器，背板交换能力在 40Gbit/s 以下的路由器称为中低端路由器。以市场占有率最大的 Cisco 公司为例，Cisco 12000 系列为高端路由器，Cisco 7500 以下系列路由器为中低端路由器。

从结构上分，路由器可分为模块化结构与非模块化结构。通常中高端路由器为模块化结构，低端路由器为非模块化结构。

从功能上分，路由器可分为通用路由器与专用路由器。一般所说的路由器为通用路由器。专用路由器通常为实现某种特定功能对路由器接口、硬件等作专门优化。例如接入服务器用于接入拨号用户，增强 PSTN 接口以及信令能力，VPN 路由器用来增强隧道处理能力以及硬件加密，宽带接入路由器强调宽带接口数量及种类。

从性能上分，路由器可分为线速路由器以及非线速路由器。通常线速路由器是高端路由器，能以介质速率转发数据包；中低端路由器是非线速路由器。但是一些新的宽带接入路由器也有线速转发能力。

从网络位置上划分，路由器可分为核心路由器、企业级路由器和接入路由器。

路由器分类方法还有很多，并且随着路由器技术的发展，可能会出现越来越多的分类方法。这里我们主要从网络设备的位置这一角度详细介绍各种路由器。

如图 1-6 所示，从网络位置以及网络层次的角度，路由器可分为位于核心层的核心路由器、位于分发层的企业级路由器与位于访问层的接入路由器。尽管这种三个不同层次的结构非常有道理，但它并不意味着企业级路由器不能用作接入路由器或核心路由器。同样，在一些情况中，接入路由器平台也可用作核心路由器或分发层路由器。

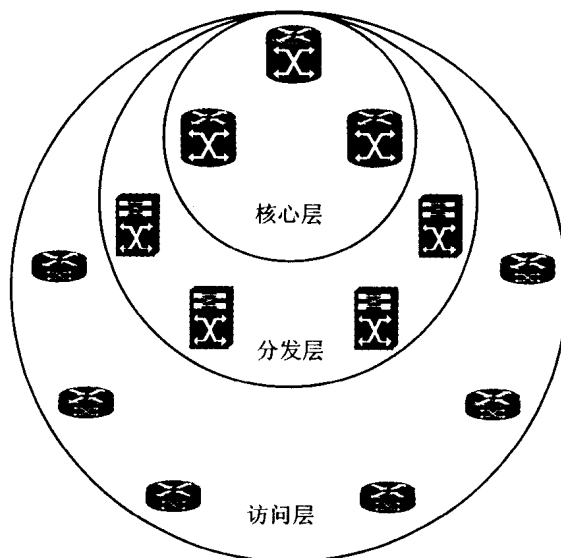


图 1-6 路由器分层网络