



转发与控制分离(ForCES) 技术及应用

Forwarding and Control Element Separation
Technology and Application

■ 王伟明 等著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

转发与控制分离(ForCES)技术及应用

王伟明 等 著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

内 容 简 介

本书紧密结合作者长期参与国际互联网工程任务组织 IETF 中转发与控制分离 (ForCES) 工作组的相关协议标准的研究制定工作,从 ForCES 技术和其应用两大方面详细地阐述了 ForCES 关键技术、相关协议标准以及相关研究开发工作。本书的 ForCES 技术部分主要对 ForCES 技术及相关协议进行了详细论述和分析,包括:ForCES 技术相关的基本概念,开放架构和 ForCES 技术的研究现状,ForCES 协议的运行机制、消息封装及协议消息的格式定义和语义,传输映射层的分析与设计,ForCES 转发件建模技术,ForCES 网络管理及 MIB 定义。本书的 ForCES 应用部分通过对作者所在课题组已研发完成的三个实例具体介绍了 ForCES 的应用开发技术,包括:基于中间件的 ForCES 架构研发,基于 ForCES 架构的路由器研发,基于 ForCES 架构的安全网关研发。本书通过对 ForCES 技术和相关应用的研究分析,让读者对 ForCES 技术有全面深入的理解,对基于 ForCES 技术的网络设备研发有具体的认识。本书为 ForCES 技术的专业著作,也可作为从事通信网络设备技术研究及技术开发人员的参考书,以及电子、通信、计算机及网络专业研究生及高年级本科生及高年级本科生学习 ForCES 技术的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

转发与控制分离 (ForCES) 技术及应用 / 王伟明等著.
—杭州:浙江大学出版社, 2010.12
ISBN 978-7-308-08296-9

I .①转… II .①王… III .①计算机网络—通信协议
IV .①TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 255545 号

转发与控制分离 (ForCES) 技术及应用

王伟明 等著

责任编辑	王 波
封面设计	俞亚彤
出版发行	浙江大学出版社 (杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007) (网址: http://www.zjupress.com)
排 版	杭州中大图文制作有限公司
印 刷	杭州丰源印刷有限公司
开 本	710mm×1000mm 1/16
印 张	16.25
字 数	301 千
版 次	2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-308-08296-9
定 价	35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换
浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571)88925591



前 言

当今通信与网络业务日新月异,包含语音、视频、数据等多业务融合应用大规模发展,从单业务多网体制向多业务单网体制的多网融合已是必然趋势,为适应这种变化,一种资源开放的、可编程的、可方便重构配置的网络设备成为网络运营商所高度期望的新一代网络设备,以满足其快速布置新业务、低成本实现运营网络切换的目的。

转发与控制分离(ForCES)技术无疑是实现开放架构网络的重要手段,IETF 在 2002 年专门成立 ForCES 工作组开始有关 ForCES 技术研究和相关协议标准的研究制定工作。本书作者所在课题组从 2001 年开始进行有关开放可编程路由器的研究,2003 年开始深入参与 IETF ForCES 工作组的研究和相关协议标准制定工作中。近 10 年来,在国家 863 计划项目及国家自然科学基金等项目的支持下,课题组在 ForCES 技术的研究和相关协议标准的制定方面取得了许多重要成果,在该领域的研究与国际保持同步,先后向 IETF 提交协议草案 9 项,其中 5 项被接受成为工作组文件。目前与国际上其他单位公司联合制定的有关 ForCES 技术的核心协议《ForCES 协议规范》已正式成为标准类 RFC(RFC 5810),并在 ForCES 技术方面已获得多项发明专利。具体技术实现方面,我们在 2004 年开始研发开放可编程网络件的试验床系统,为 ForCES 协议制定工作提供测试环境;2005 年开始,课题组基于网络处理器开发了 ForCES 路由器原型实验系统,被 ForCES 工作组认为是 ForCES 协议公开实现的一个重要实例,为 ForCES 协议被 IETF 通过提供了实现例的支持。2006 年以来,我们围绕 ForCES 架构、协议和模型各方面的全面实现开展

深入研究,研发完成了称为 ForCES 中间件的 ForCES 协议栈软件,它可为 ForCES 协议应用提供方便的软件和设计支持。基于这些实现,2009 年,在 IETF ForCES 工作组主导下,我们与国际其他研究单位及公司一起进行了 ForCES 协议的互操作性测试。

本书紧密结合作者的研究工作,从 ForCES 技术和应用两方面详细地论述了 ForCES 技术及相关研究实现工作,通过对 ForCES 技术和相关应用的研究分析,让读者对 ForCES 技术有较全面深入的理解,对基于 ForCES 技术的网络设备研发有具体认识。本书可作为从事通信网络设备技术研究及技术开发人员的参考书,也可作为电子、通信、计算机及网络专业研究生的教材。

本书作者依次为王伟明、董黎刚、诸葛斌、李传煌、高明、金蓉、周静静,参与本书内容研究工作的还有贾凤根、俞谨、吴晓春以及历届的研究生,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误以及不当之处,请读者批评指正。

作 者

2010 年 9 月于杭州

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 背景与意义	1
1.2 ForCES 网络件	4
1.2.1 ForCES 网络件总体结构	4
1.2.2 转发件及逻辑功能块	5
1.2.3 ForCES 控制接口	6
1.3 本书的结构	7
第 2 章 研究现状	8
2.1 开放架构网络技术研究	8
2.1.1 组成结构	8
2.1.2 交互接口	10
2.2 ForCES 技术研究	11
2.2.1 IETF ForCES 工作组	11
2.2.2 ForCES 系统实现	13
第 3 章 ForCES 协议	16
3.1 ForCES 协议的运行机制	16
3.1.1 协议阶段	16
3.1.2 协议机制	20
3.2 ForCES 协议消息封装	23
3.2.1 消息头部	23
3.2.2 消息体的基本结构单元	27

3.2.3	消息体的组成	29
3.2.4	协议封装实例	38
3.3	ForCES 协议消息	42
3.3.1	链接(Association)消息	43
3.3.2	配置(Configuration)消息	43
3.3.3	查询(Query)消息	44
3.3.4	事件通告(Event Notification)消息	44
3.3.5	重定向(Packet Redirect)消息	44
3.3.6	心跳(Heartbeat)消息	46
3.4	FE 协议 LFB	46
3.4.1	能力	47
3.4.2	属性	47
3.4.3	事件	48
3.5	高可用性考虑	49
3.5.1	心跳与可用性	49
3.5.2	控制件的可用性	49
3.5.3	转发件的可用性	50
第 4 章	ForCES 传输映射层	52
4.1	概 述	52
4.1.1	传输映射层需求	52
4.1.2	传输映射层特性	54
4.1.3	传输映射层服务原语	60
4.1.4	传输映射层参数配置	65
4.2	支持 TCP/UDP 的传输映射层定义	66
4.2.1	用 TCP 和 UDP 的逻辑依据	66
4.2.2	支持 TCP/UDP 的传输映射层的实现机制	69
4.3	支持 SCTP 的传输映射层定义	72
4.3.1	TML 用 SCTP 的逻辑依据	73
4.3.2	支持 SCTP 的传输映射层的实现机制	75
4.4	安全性考虑	78
4.4.1	PL 层提供的安全性	78
4.4.2	TML 层提供的安全性	78

第 5 章 ForCES 转发件建模技术	80
5.1 FE 能力模型和状态模型	82
5.1.1 FE 能力模型	82
5.1.2 FE 状态模型	83
5.2 LFB 建模内容	83
5.2.1 LFB 输出	84
5.2.2 LFB 输入	85
5.2.3 数据包类型	85
5.2.4 元数据	85
5.2.5 LFB 事件	86
5.2.6 LFB 版本和继承	87
5.2.7 LFB 内实体的寻址	88
5.2.8 LFB 间数据通道	88
5.3 LFB 类描述方法	90
5.3.1 〈LFBLibrary〉元素	90
5.3.2 〈frameDefs〉元素	91
5.3.3 〈dataTypeDefs〉元素	91
5.3.4 〈metadataDefs〉元素	98
5.3.5 〈LFBClassDefs〉元素	98
5.3.6 元素中的属性	107
5.4 FE 对象 LFB 类	112
5.4.1 LFB 类能力	112
5.4.2 LFB 类属性	113
5.5 LFB 例子	114
第 6 章 ForCES 网络管理及 MIB	123
6.1 ForCES 网络管理	123
6.2 ForCES MIB	126
6.2.1 MIB 定义	126
6.2.2 MIB 中保留的连接	128
6.2.3 支持多 CEs 和多 FEs	128
6.2.4 安全考虑因素	128
6.2.5 IANA 的考虑	129

第 7 章 基于中间件的 ForCES 架构研发	130
7.1 ForCES 中间件产品简介	131
7.2 ForCES 中间件应用开发包	133
7.2.1 SDK 组织结构	133
7.2.2 SDK 开发应用情境及接口调用要求	135
7.3 系统设计及中间件设计	137
7.3.1 传输映射层实现原理	139
7.3.2 协议层实现原理	141
7.3.3 应用功能层实现原理	143
7.3.4 资源功能层实现原理	144
第 8 章 基于 ForCES 架构的路由器研发	146
8.1 ForCES 路由器系统处理流程	147
8.2 ForCES 路由器中控制件的研制	150
8.2.1 ForCES 用户操作管理系统	152
8.2.2 Zebra 路由模块	157
8.2.3 SNMP 网管模块	161
8.3 ForCES 路由器中转发件的研制	165
8.3.1 基于 Intel 网络处理器的 LFB 实现	165
8.3.2 路由器的 LFB 拓扑结构	170
8.3.3 LFB 的动态加载	171
8.4 ForCES 路由器测试	172
8.4.1 协议功能测试	174
8.4.2 用户管理功能及接口测试	193
第 9 章 基于 ForCES 架构的安全网关研发	198
9.1 ForCES 安全网关实现原理	198
9.1.1 运行环境	200
9.1.2 系统结构	200
9.1.3 系统处理流程	202
9.1.4 微模块的设计	204
9.2 ForCES 安全网关测试	213
9.2.1 测试表单	213

9.2.2 测试方法简介	213
9.2.3 安全网关 VPN 功能配置	216
9.2.4 安全网关的 LFB 树及拓扑查询	219
9.2.5 安全网关和 Linux 安全网关互通测试	221
附 录	224
附录 A ForCES FE 协议 LFB(FE Protocol LFB , FEP LFB)定义	224
1 FE 协议 LFB 定义	224
2 FE 对象 LFB 定义	229
附录 B ForCES MIB 定义.....	236
参考文献	245



第 1 章 概 述

1.1 背景与意义

众所周知,路由器是构成互联网的核心设备。随着互联网的巨大成功,基于 IP 的网络传输也正被电信网络大量采用(IP-NGN 思想),核心路由交换节点因而也成为电信网络骨干网的关键设备。因此,路由器的研究对未来互联网和电信网技术的发展和應用都具有极其重要的意义。

一般认为,对一种网络设备而言,其技术的发展都是围绕提高设备“性能”和扩展“功能”两个方面展开的。过去十几年来,路由器技术发展的线路以“性能”提高为主,即以提高路由器报文转发速度、扩充信息交换容量等为关键技术研究内容。全球主要路由器提供商如 Cisco、Juniper 以及国内的华为等都将研究重点放在各种快速交换技术、高速转发处理手段和高速包处理芯片等上面,转发性能成为企业间竞争的焦点,并一度达到白热化程度。在这个思路下,路由设备的交换能力迅速从 Mbit 级提高到 Gbit 级、直到目前已经商用的几十 Tbit 级,端口线速也已提高到几十 Gbit/s(如 OC-768 端口)。路由器的性能甚至一度被描述成国家间竞争力指标之一。路由交换性能的快速提高和带宽容量的扩展对互联网和基于 IP 其他网络的广泛布置和业务应用产生了巨大的推动作用。

目前,随着路由器 Tbit 级交换和 Gbit 带宽端口在骨干网络中的常规化布置,使得带宽供需矛盾得到有效缓解,基于 IP 协议的网络在规模上的发展进入一个相对平稳期。在这种情况下,人们开始更多地关注起路由器本身在“功能”方面的扩展问题,因为,包括新型网络研究者、网络运营商、服务/内容提供商、最终用户以及网络设备企业自身都深深体会到了目前路由器在“功能”方面有许多不尽如人意,主要表现为:

- 用户不能根据业务需要基于底端资源灵活构建定义新的应用层,这使得目前设备对各种新业务的适应能力非常弱,不能从功能角度对各种设备商设计范围外的业务提供支持,一个普通的新业务更新都可能需要依赖于厂家的升级软件、更换设备或刀片来完成,这使得网络运营商和服务/内容提供商部署一个新业务时速度慢,而且投入大、风险也大,限制了运营商对新业务应用的追求。这极其不适应于当今网络应用新技术新业务日新月异的时代。
- 从用户角度看,包含语音、视频、数据等多业务融合的应用无疑是重大需求方向,从单一应用多网体制向多应用单网体制(多网融合)发展是必然趋势。这方面的实现虽然在技术上仍有许多需要解决的问题,但目前阶段的产品在体系结构上并未提供灵活柔性的可以想象的解决空间。例如,新一代多网融合需要解决的端到端 QoS,可能需要整个网络范围内的资源可互操作管理来完成,然而,由于目前各厂家设备底端资源的封闭,对网络设备的控制方式不一,使得网络在体系架构上难以实现这种资源级组网应用。
- 从新型网络研究角度看,目前对后 IP 时代的新型网络架构研究在国际上方兴未艾,例如美国 NSF 资助的 GENI(Global Environment for Network Innovation)计划^{[1][2]}、FIND(Future Internet Network Design)计划^[3]、ITU-T 的 NGN 计划^[4]、韩国的下一代网络 BcN(Broadband Convergence Network)计划^[5]、中国科技部“863”计划“新一代高可信网络”^[6]、“973”计划“一体化网络与普适服务体系基础研究”等。新型网络架构的核心思想都是探索一种能够支持多种业务融合的一体化网络架构,以解决网络用户业务多样性和网络服务质量的急迫需求。新型网络试验需要充分考虑非 IP 环境以及各种超越 IP 协议框架的网络架构,同时需要基于已有网络进行规模化而非实验室小网的演进试验,而目前架构的路由设备将应用紧紧限制在 IP 范围,同时设备的底端资源层对用户封闭,因而很难构造起一种具有试验性质的 IP 外新型网络实验平台,这阻碍了各种新型网络技术的试验探索研究。
- 从运营商角度看,目前一般路由器等设备都是在整机级封闭的,即从软件硬件到机箱都只能由同一个厂家提供,设备商间的兼容性极低,导致了厂商垄断的可能。目前高端路由器其实已经具有较高垄断性,一般中小企业很难进入该市场。封闭和垄断一方面导致设备价格奇高,另一方面也阻碍了技术进步,使得开发技术只能在企业内部得到共享,新技术模块在网络业界的可重用性极低,各企业都在花费大量人力物力进行重复开发,同时也使得新设备从研发到市场的时间大大加长。

- 对我国而言,由于我国目前仍需要大量采用国外高端设备,传统封闭式系统导致的另一个特殊重要问题是它使得国家在确保核心设备的战略层面安全性方面具有障碍。

我们认为解决上述问题的关键是“开放性”。综合各文献中的叙述,我们把“开放性”定义为:网络设备中各个模块及相互接口的定义和通信协议对外公开化、统一化乃至标准化。目前,网络设备的开放性研究成为国际上新一代网络设备研究的关注点之一。

开放架构网络设备克服了封闭架构的不足,表现出如下显著优点:

- 开放架构网络设备的模块化设计促进了网络设备的制造分工。这一方面排除了业界垄断,降低了网络设备业进入门槛,中小企业将可以通过模块产品参与到中高端网络设备市场中去。另一方面也增强了良性竞争,专一化生产使产品进步加快、价格降低。这些在 PC 业的发展中都已得到充分验证,中小企业已经构成了 PC 机大部分部件的核心供应商。
- 标准支持下的模块化积木式设计大大缩短了新产品的上市时间,使得技术模块可以在全业界范围内得到重用,大量模块成为了通用模块,避免了各企业间的重复开发。
- 网络设备中的功能模块能够灵活地重构而产生新的业务,相当多的业务功能在开放架构网络设备上的实现工作将可以简单地变成一个添加软硬件积木模块的过程,使得运营商部署新技术和新业务的成本、难度、时间明显缩短,大大加快和方便网络升级及新业务的展开,降低运营成本和风险。而反过来,网络新技术和新业务的及时推广试用无疑将有力促进网络领域的研发,改变目前“技术过剩但杀手铜应用匮乏”的局面。
- 借助于标准接口,开放架构网络设备使网络资源的综合统一管理成为可能,这为解决 QoS 等问题提供资源条件,因为 IP 网络的 QoS 问题实质是资源的动态分配问题。标准接口的存在也为新一代网络中构建多网合一和多业务合一提供了体系结构和技术基础。

在众多有关开放架构的体系结构中,由于得到 IETF、ITU、NPF 等多家标准制定组织的推动,以及 Intel、IBM、朗讯多家网络大公司的认可,ForCES 结构已经成为目前国际上备受关注的实现开放架构设计目标的新一代网络设备体系架构,ForCES 技术的研究代表了当前开放架构网络研究的前沿水平。

本书中,我们遵循 ForCES 技术研究中的术语,用网络件(Network Element, NE)来指代用于构成网络的一般网络节点设备,或称为网元设备。具体地说,网络件可以是在 IP 层进行 IP 数据包转发的设备,如路由器,也可以是链路层节点设备如交换机,或者是其他复合层的节点设备如多层交换机、防火

墙、多层 VPN (Virtual Private Network)、各种网关等。我们首先通过对网络件介绍来引入 ForCES 体系结构。

1.2 ForCES 网络件

以下分总体结构、转发件及逻辑功能块、协议传输通道三方面介绍 ForCES 网络件。

1.2.1 ForCES 网络件总体结构

一个满足 ForCES 规范的网络件——ForCES 网络设备,其基本结构如图 1-1 所示,RFC 3654(ForCES 需求分析)和 RFC 3746 (ForCES 框架)对其作了基本定义。

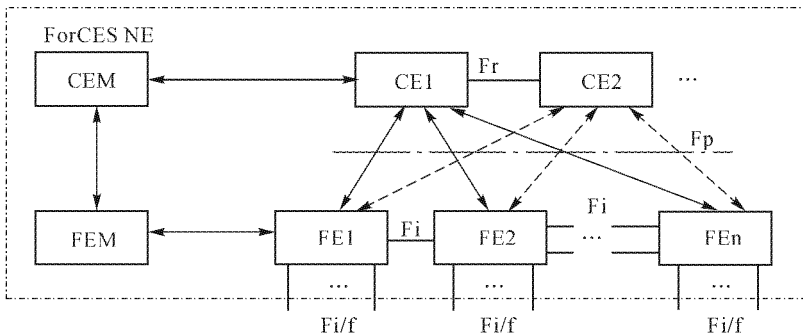


图 1-1 ForCES 网络件基本结构

如图 1-1 所示,一个满足 ForCES 标准的网络设备内有至少一个(或多个,用于冗余备份)控制件(Control Element, CE)和多达几百个的转发件(Forwarding Element, FE)。CE 和 FE 间的通信通过称为“ForCES 协议”的标准协议来完成,这个连接面称为 Fp 参考点(ForCES 控制接口),Fp 参考点可以经由一跳(Single hop)也可以经由多跳(Multi-hops)网络实现。2010 年 3 月,在经过 7 年多的努力后,IETF 完成了对 ForCES 协议的制定工作,成为 RFC 5810(ForCES 协议规范)。

ForCES 协议规定了 Fp 参考点上传递的两种消息的格式。这两种消息是控制消息和重定向消息。控制消息是包含 CE 对 FE 控制管理内容的消息,例如属性的配置和查询消息,能力和事件的上报消息。重定向消息是包含 CE 上所处理重定向数据包的消息。从字面上理解,“重定向”数据包指不是 FE 产生的数据包,而是从外部到达 FE,需要由 FE“重新定向”到 CE 进行处理的数据

包;或者是 CE 产生的,需要经 FE“重新定向”到网络设备外部的数据包。可能需要 CE 处理的数据包主要有路由协议数据包和网络管理数据包等。

F_i/f 为各个 FE 的对网络设备外的网络接口参考点,网络数据经由此进出,并被该网络设备转发处理; F_i 为同一网络设备内各个 FE 间相互连接接口协议,多个 FE 可以构成一个分布式的转发件网络以完成复杂的转发功能。

F_r 为同一 ForCES 网络设备内各个 CE 间的连接协议。所有 CE 通过一个 CE 管理器(CE Manager,CEM)来管理,所有 FE 通过 FE 管理器(FE Manager,FEM)来管理,CEM 和 FEM 也互相交换管理信息。但要注意的是,CEM 和 FEM 的管理只是一些最基本的设置管理,如给各个 CE 和 FE 分配 ID 号等,而对 FE 的全面管理是通过 CE 上面的软件经由 ForCES 协议完成的。CEM 和 FEM 可以被理解成 CE 或 FE 管理用的人机接口。虽然图 1-1 显示的 CEM/FEM 实体在 CE/FE 外部,但是在物理上 CEM/FEM 很可能是嵌入到 CE/FE 内部的。

1.2.2 转发件及逻辑功能块

转发件 FE 内的体系结构主要由 ForCES FE 模型协议 RFC 5812 定义,FE 内基本结构如图 1-2 所示。

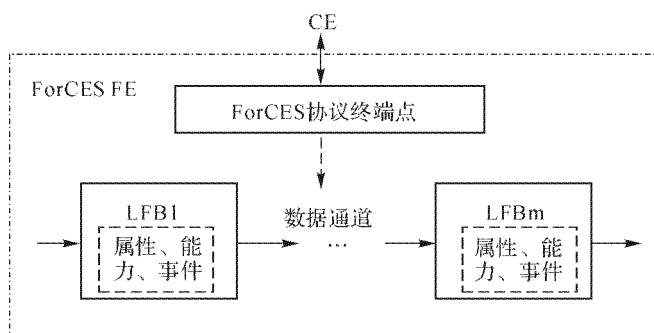


图 1-2 ForCES 转发件基本结构

FE 内的资源被表示成各种不同的逻辑功能块 LFB(Logical Functional Block),LFB 及它的属性都是可以由 CE 通过 ForCES 协议进行控制的,各个 LFB 之间相互连接,该连接关系也是由 CE 经过 ForCES 协议进行控制,以形成不同的 LFB 拓扑结构、进而实现动态资源配置,这提供了对 IP 数据包进行各种不同处理的数据通道。典型的 LFB 如分类器、调度器、最长前缀 IPv4 或 IPv6 转发器等。

ForCES 技术使得网络设备具有很强的模块化积木式特性。例如,主要是

软件的 CE 和主要是硬件的 FE 可以在产品级分离,同一个网络设备内可以有不同厂家生产的 CE 和 FE。更进一步地说,在一个转发件 FE 内,标准化的 LFB 也可以在产品级被分离、由不同厂家生产。同时,CE 具有灵活的配置 FE 内各 LFB 的功能,通过构造不同的 LFB 拓扑结构,使网络设备能完成各种不同的服务业务,例如,当把网络设备从 IPv4 升级到 IPv6 时,只要通过 CE 加载相应的 IPv6 的 LFB 即可完成。

1.2.3 ForCES 控制接口

考虑到连接 CE-FE 链路的多样性和复杂性,传递 ForCES 协议消息的 ForCES 控制接口被进一步分层为协议层 PL(Protocol Layer)和传输映射层 TML(Transport Mapping Layer),其结构如图 1-3 所示。这样做的目的是使 ForCES 协议的设计能独立于其所用的传输层。传输层可以是多样化的,如使用基于 SCTP 协议、基于 TCP/UDP 协议甚至基于 ATM 网络的传输层等。

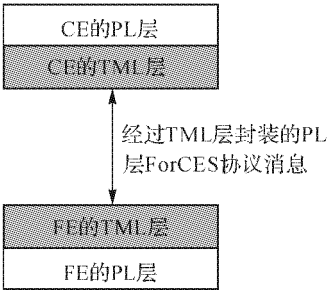


图 1-3 PL-TML 层分离结构

在传输时,协议层将 ForCES 协议消息传给传输映射层。本地的传输映射层再将该消息发送到对方的传输映射层。在接收端,传输映射层将此消息传递给对应的协议层。

控制件通过 CE 协议层发送各种控制命令到转发件,实现对转发件中各 LFB 进行控制、对 LFB 的可操作参数进行配置和查询、订阅 LFB 中各类事件等功能。转发件使用 FE 协议层来传输各种被订阅的事件到控制件,也用它来回应来自控制件中各种协议层的查询和配置请求。传输映射层传送协议层消息,主要解决在传输层面上的可靠性、拥塞控制、组播、排序等问题。

传输映射层的存在不仅使 ForCES 协议软件相对于传输层协议和传输媒介(如 TCP、IP、ATM、以太网等)保持自己的独立性,不会随着传输层协议和传输媒介的改变而发生显著改变,而且保证了协议层的实现可移植到所有的传输映射层。因此,传输映射层对于控制件和转发件上两个协议层的通信是不可或

缺的。不同的传输层协议和传输媒介,就意味着传输映射层应该具备“映射”不同传输层的能力。不管传输层如何变化,传输映射层总是提供(基本)相同的接口给协议层。在通信时,只有支持同样传输映射层的两端才能保证互操作。

1.3 本书的结构

本书可按内容基本分为两大部分:

ForCES 技术原理部分,包括:

第 1 章 概述。介绍 ForCES 技术相关的基本概念。

第 2 章 研究现状。介绍开放架构及 ForCES 技术的研究现状。

第 3 章 ForCES 控制协议。介绍 ForCES 控制协议的运行原理,协议消息的封装机制,以及各消息的格式定义和语义。

第 4 章 ForCES 传输映射层。介绍 ForCES 传输映射层的原理,以及针对 TCP/UDP、SCTP 两种传输协议的传输映射层设计。

第 5 章 ForCES 转发件建模技术。介绍 ForCES 转发件模型,尤其是转发件中作为核心的 LFB 的内容组成和表达方式。

第 6 章 ForCES 网络管理及 MIB。介绍 ForCES 网络件支持 SNMP 网络管理的方案及 ForCES MIB。

ForCES 技术应用部分,主要介绍本书作者所在课题组开展的有关 ForCES 相关技术的研究与开发的内容,包括:

第 7 章 基于中间件的 ForCES 架构研发。

第 8 章 基于 ForCES 架构的路由器研发。

第 9 章 基于 ForCES 架构的安全网关研发。

本书在附录 A 中提供了 ForCES FE 协议 LFB 和 FE 对象 LFB 的 XML 表达。