

清华大学

计算机系列教材

陈震 曹军威 尹浩 编著

内容中心网络体系架构



清华大学出版社



清华大学 计算机系列教材

陈震 曹军威 尹浩 编著

内容中心网络体系架构

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍内容中心网络(CCN)的体系结构和设计以及实际运行与操作内容中心网络,并讲解了网络体系架构设计。

全书共分8章,第1章介绍内容中心网络体系架构要点及基本原理;第2、3章介绍内容中心网络的CCNx实现和实际安装、操作和部署;第4~6章重点介绍CCN的实际应用,如CCN支持流媒体,CCN中隐私保护CPIR机制,以及CCN与CDN的融合发展;第7章通过CCNx的底层实现,构建一个不同于TCP/IP协议的全新的未来互联网;第8章说明CCN的发展展望。本书附录给出了用于内容中心网络模拟的云平台搭建以及CDN与CCN比较的具体操作。

本书适合于计算机体系架构专业的高年级本科生及研究生使用,也适合于对互联网体系架构有兴趣的其他人员参考。希望对当今互联网设计有深入了解的读者,可通过本书学到最新的未来网络设计观点,并能学以致用,推广到新型网络应用前沿。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

内容中心网络体系架构/陈震,曹军威等编著. —北京:清华大学出版社,2014

清华大学计算机系列教材

ISBN 978-7-302-34036-2

I. ①内… II. ①陈… ②曹… III. ①计算机网络—网络结构 IV. ①TP393.02

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第237209号

责任编辑:白立军 顾 冰

封面设计:常雪影

责任校对:时翠兰

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:6.5

字 数:157千字

版 次:2014年1月第1版

印 次:2014年1月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:19.00元

产品编号:055622-01

序

“清华大学计算机系列教材”已经出版发行了 30 余种,包括计算机科学与技术专业的基础数学、专业技术基础和专业等课程的教材,覆盖了计算机科学与技术专业本科生和研究生的主要教学内容。这是一批至今发行数量很大并赢得广大读者赞誉的书籍,是近年来出版的大学计算机专业教材中影响比较大的一批精品。

本系列教材的作者都是我熟悉的教授与同事,他们长期在第一线担任相关课程的教学工作,是一批很受本科生和研究生欢迎的任课教师。编写高质量的计算机专业本科生(和研究生)教材,不仅需要作者具备丰富的教学经验和科研实践,还需要对相关领域科技发展前沿的正确把握和了解。正因为本系列教材的作者们具备了这些条件,才有了这批高质量优秀教材的产生。可以说,教材是他们长期辛勤工作的结晶。本系列教材出版发行以来,从其发行的数量、读者的反映、已经获得的国家级与省部级的奖励,以及在各个高等院校教学中所发挥的作用上,都可以看出本系列教材所产生的社会影响与效益。

计算机学科发展异常迅速,内容更新很快。作为教材,一方面要反映本领域基础性、普遍性的知识,保持内容的相对稳定性;另一方面,又需要紧跟科技的发展,及时地调整和更新内容。本系列教材都能按照自身的需要及时地做到这一点。如王爱英教授等编著的《计算机组成与结构》、戴梅萼教授等编著的《微型计算机技术及应用》都已经出版了第四版,严蔚敏教授的《数据结构》也出版了第三版,使教材既保持了稳定性,又达到了先进性的要求。

本系列教材内容丰富,体系结构严谨,概念清晰,易学易懂,符合学生的认知规律,适合教学与自学,深受广大读者的欢迎。系列教材中多数配有丰富的习题集、习题解答、上机及实验指导和电子教案,便于学生理论联系实际地学习相关课程。

随着我国进一步的开放,我们需要扩大国际交流,加强学习国外的先进经验。在大学教材建设上,我们也应该注意学习和引进国外的先进教材。但是,“清华大学计算机系列教材”的出版发行实践以及它所取得的效果告诉我们,在当前形势下,编写符合国情的具有自主版权的高质量教材仍具有重大意义和价值。它与国外原版教材不仅不矛盾,而且是相辅相成的。本系列教材的出版还表明,针对某一学科培养的要求,在教育部等上级部门的指导下,有计划地组织任课教师编写系列教材,还能促进对该学科科学、合理的教学体系和内容的研究。

我希望今后有更多、更好的我国优秀教材出版。

清华大学计算机系教授,中国科学院院士

张钹

前 言

互联网在当前的信息社会生活中扮演着越来越重要的角色,互联网的使用领域也更加开阔,如工业控制网、物联网、车联网以及星际间联网。而且,这个边界还在不断地随着人类认识而延展。

然而,互联网协议从提出至今,三十余年没有经过大的调整。经过了这三十余年的发展,逐渐暴露出越来越多的问题,如安全、可扩展性、移动、应用僵化和可管理性等问题。随着更广阔的联网需求的出现,互联网协议并不能像先前那样可以不断地推广到新的联网领域。要解决这些联网问题需要互联网协议及技术的进一步发展和创新,以容纳越来越多的联网设备。

处在这个网络领域机遇与挑战并存的时代,任何国家都可能成为未来信息网络技术竞争中领跑者,中国当然也不例外。为此,世界各国都在为如何设计未来网络而绞尽脑汁,以图在未来的信息技术中争取一席之地。美国国家自然科学基金(NSF)在2010年,一次资助了4个未来的互联网研究项目。其中最引人注目的是命名数据网络NDN/CCN,由加州大学洛杉矶分校(UCLA)计算机科学系张丽霞教授领导12所学校联合开发。我国在未来互联网研究中投资巨大,目前,清华大学已经和NDN项目组合作,以期在该领域有所斩获。

本书正是在这个信息网络产业变革时代而出,主要介绍内容中心网络CCN方面的技术,实际运行与如何操作、部署,并辅以流媒体分发应用为实例。同时,给出了CCN的底册实现,构建出一个不同于TCP/IP协议的全新的未来互联网,掌握新型网络体系架构设计,以期能够推广至更广的可联网的疆域。

本书是国内第一本介绍未来网络——内容中心网络体系结构的书籍,几乎涵盖了有关内容中心网络的所有使用环节。尤其能从应用实践方面出发,对内容中心网络应用进行指导与推广。本书作者长时间在网络领域从事研究,精通传统TCP/IP网络、覆盖网、CDN及未来新型网络。作者对该书投入了巨大精力,尽可能让国内读者在较短时间内全面把握内容中心网络,并应用于实际有联网需求的物联网领域。

目 录

第 1 章 CCN 体系架构	1
1.1 当前 Internet 的问题	1
1.2 未来网络体系架构	2
1.3 CCN 概述	2
1.3.1 CCN 体系结构	3
1.3.2 CCN 工作机制	3
参考文献	5
第 2 章 内容中心网络 CCNx 实现	6
2.1 CCNx 框架	6
2.1.1 CCNx 代码库	7
2.1.2 CCN 内容命名	7
2.2 CCNx 组件	8
2.2.1 ccnd	8
2.2.2 ccnr	9
2.2.3 ccndc	11
2.3 CCNx 网络配置	11
2.3.1 CCNx 路由器启动	11
2.3.2 CCNx 路由器链路	12
2.3.3 CCNx 网络示例	12
2.4 CCNx 网包处理	13
2.4.1 兴趣包定义	13
2.4.2 兴趣包处理	14
2.4.3 数据包处理	14
2.5 CCN 代码项目	15
2.6 小结	15
参考文献	15
第 3 章 CCNx 安装指导	16
3.1 CCNx 网络结构	16
3.2 CCNx 代码安装	16
3.2.1 获取代码	16
3.2.2 安装编译	16
3.2.3 CCNx 工具	18
3.3 代码开发	21
3.3.1 起步	21

3.3.2	可能的问题	21
3.4	CCNx 库	22
3.4.1	共同组件	22
3.4.2	Java 库	23
3.4.3	C 库	24
	参考文献	24
第 4 章	内容中心网络流媒体	25
4.1	视频分发需求及 Internet 架构现状	25
4.1.1	互联网视频内容	25
4.1.2	Internet 架构问题	25
4.2	HLS 标准概述	26
4.2.1	HLS 客户端请求流程	26
4.2.2	M3U8 格式	27
4.2.3	TS 文件格式	28
4.3	CCNHLS 系统	29
4.3.1	内容源转码及切分处理	29
4.3.2	内容源转码	29
4.3.3	内容切分	30
4.3.4	M3U8 文件的生成	31
4.3.5	自动化脚本	31
4.4	CCN2HTTP 中间服务器	32
4.5	小结	32
	参考文献	33
第 5 章	CCN 隐私保护	34
5.1	隐私的定义及概念	34
5.1.1	隐私与机密、匿名的关系	34
5.1.2	隐私与信任的关系	34
5.1.3	隐私的基本问题和具体问题	34
5.1.4	隐私问题限定	35
5.2	CCN 中的用户隐私	35
5.2.1	用户的通信隐私	35
5.2.2	用户的内容发布隐私	35
5.2.3	用户的内容检索隐私	35
5.3	CCN 与 IP 体系结构的隐私问题比较	36
5.4	影响用户隐私的 CCN 机制分析	36
5.4.1	命名机制对隐私的影响	36
5.4.2	数据签名机制对隐私的影响	37
5.4.3	缓存机制对隐私的影响	38
5.4.4	消费者驱动对隐私的影响	39

5.5	隐私的攻击和保护代价分析	39
5.6	基于 OT 的用户检索隐私保护方案	40
5.6.1	协议设计目的	40
5.6.2	协议设计假定和原则	40
5.6.3	CCN-CPIR 用户隐私保护机制	40
5.7	结论	44
	参考文献	45
第 6 章	CCN 与 CDN 网络的比较与融合	46
6.1	CDN 网络概念	46
6.1.1	Akamai CDN 网络	46
6.1.2	Akamai HTTP Live Streaming 方案	46
6.1.3	CCN 与 CDN 网络不同之处	46
6.2	CDN 网络配置	48
6.2.1	CDN 网络结构	48
6.2.2	CDN 网络核心组件	49
6.2.3	CDN 网络安装及配置	51
6.2.4	OpenCDN 部署	51
6.3	实验研究与设计	52
6.3.1	CDN 和 CCN 设计原则对比	52
6.3.2	CDN 网络实验环境	52
6.3.3	CDN 实验平台设计	52
6.3.4	CCN 实验平台设计	53
6.3.5	实验设计	54
6.4	实验结果与分析	55
6.4.1	集群部署开销对比	55
6.4.2	性能评估	55
6.4.3	实验总结	58
6.5	CCN 与 CDN 融合	59
6.5.1	CCNHLS 系统架构	59
6.5.2	CCNasCDN 关键问题	60
6.6	小结	63
	参考文献	63
第 7 章	CCN 底层实现	65
7.1	背景技术	65
7.2	实验原理	66
7.2.1	CCN 的底层实现的架构	66
7.2.2	CCN 底层实现关键技术	67
7.2.3	CCN 底层实现实验步骤	68
7.3	实现优势	68

7.4	实验验证	68
7.4.1	实验设置	68
7.4.2	性能评估	69
7.4.3	功能展示	70
7.5	推广讨论	72
	参考文献	72
第 8 章	CCN 总结展望	74
8.1	未来工作	74
8.2	未来展望	74
	参考文献	75
附录 A	云计算平台搭建	76
A.1	引言	76
A.2	云技术综述	76
A.3	VMware/CloudStack 云平台的架构	77
A.4	VMware/CloudStack 云平台构建	80
	参考文献	87
附录 B	CDN/CCN 搭建	88

第 1 章 CCN 体系架构

1.1 当前 Internet 的问题

基于 TCP/IP 协议的 Internet 已经取得了空前的成功,几乎所有的行业部门都受益于 Internet,人们的生活交互方式不断被 Internet 所改变。然而随着 Internet 应用的不断增多以及应用方式的转变,Internet 也暴露出若干问题。新的背景和许多特殊的需求已经不适应当前的 Internet 工作模式,由于 Internet 底层体系结构的限制,使得很多应用无效率可言。这些新的应用背景是目前 Internet 主要面临的挑战。

首先,目前 Internet 上的主要信息流量已经不同于设计之初,根据 Cisco 公司的可视化网络指标 VNI 报告^[11],截止 2010 年,P2P 流量不再是 Internet 中最大的流量,视频流量已占据了 40%的比例。根据 2012 年的调查,网络上占据超过 57%的流量都是视频内容块。图 1.1 表明,面向移动设备的视频内容分发将是未来移动网络流量的主要增长点。

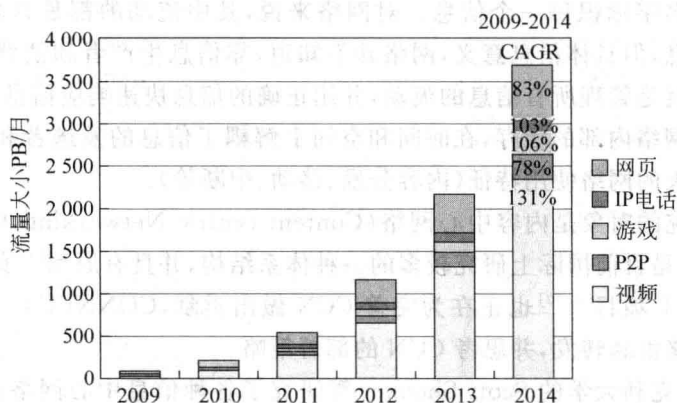


图 1.1 全球移动数据预测

而且,信息内容的产生不仅仅由大机构(如新闻中心、电影公司等)产生,也逐渐地越来越多地由终端用户产生,Internet 成了信息的消费和发布的主要市场。但是当前的 TCP/IP 体系架构不利用这种信息的分发。TCP/IP 是基于当初的假定而设计的 Host-to-Host 模式,这种工作模式使得任何信息的获取都必须定位到某个确定的物理主机,因此在当今 Internet 上实现发布订阅系统,效率非常低。例如,通过全球 Internet 将一个文件送到一个朋友手中相对比较容易,而要在一个部门的局域网内分享同一份文件则相对较为困难。

第二个重要问题是安全性问题,Internet 在设计之初并没有考虑安全问题,所有的安全机制都是后来增加的。因此安全问题一直对当前 Internet 产生着负面影响,制约着很多重要的应用。尤其随着社交网络、商业推荐、云计算和物联网等应用的不断普及,网络用户的隐私问题日益为研究者所重视。

第三个问题是移动支持性问题,因为 IP 地址在 Internet 上具有双重语义,即代表一个确定的主机,又指明了在 IP 网络中的物理位置,所以不利于移动性的支持。

最后还有 IP 地址空间不足的问题,路由表的扩展性问题、网络可靠性等问题,这些都是制约当今 Internet 发展的重大问题。

1.2 未来网络体系架构

为了解决当今 Internet 存在的诸多问题,总体上分为改良和革新两种思路。目前的 Internet 现状其实就是改良的结果,重要的改良技术有 P2P、CDN、IPSec、IP/Locator 分离等。但是,国际上许多研究机构也在探索设计全新的未来网络。例如,美国国家自然科学基金 NSF 在 2010 年就资助了 4 个未来网络的研究项目,这 4 个项目分别是 NDN(Named Data Networking)项目^[2]、MobilityFirst 项目^[6]、NEBULA 项目^[7]、XIA 项目^[8]。这四个项目都宣称能解决当前 Internet 的主要问题,但其侧重点各不相同。

信息中心网络(Information Centric Networking, ICN)^[5]是其中最主要的一种未来网络体系架构。当今信息中心网络体系结构的研究机构和项目主要分布在欧洲(如 PSIRP/PURSUIT、4WARD、SAIL)和美国(如 CCN^[1,3,4]和 DONA^[12])。

所谓信息中心网络,就是网络以信息为中心,而不同于以主机为中心的当前 Internet。ICN 通过信息的名字标识每一个信息。对网络来说,其中流动的都是有名字的信息,网络能区别每一个信息,但具体信息意义,网络并不知道,靠信息生产者和消费者的上层应用解释。网络的作用就是管理所有信息的流动,并用正确的信息快速响应信息的请求者。

ICN 利用了网络内部的缓存,在时间和空间上解耦了信息的发送者和接收者。其目标是更好地适用今天的网络使用特征(内容分发、移动、中断等)。

本书主要研究的对象是内容中心网络(Content centric Networking, CCN)^[1,4],属于信息中心网络范畴,是目前国际上研究较多的一种体系结构,并且有原型^[3]实现的支持。另外欧洲的 CONNECT 项目^[9, 10]也正在为完善 CCN 做出贡献,CONNECT 主要研究 CCN 的流量控制、命名、路由和转发,并思考 CCN 的部署策略。

近来,加州伯克利大学的 Scott Shenker 等研究了各种信息中心网络的共性和区别,发现各种信息中心网络的设计本质很相似,但各自的术语却十分不同,比如在 CCN 中采用的术语 Register、Interest 等,在本质上相当于术语发布和订阅^[3]。

1.3 CCN 概述

CCN 项目的前身是施乐公司的帕洛阿托研究中心(PARC)的 CCN。主要针对当前 TCP/IP 协议的可扩展性和有效的内容分发问题,该问题前几年已经引起了覆盖网(Overlay Network)和内容分发网络(Content Delivery Network)的研究热潮。但经过多年的应用实践发现,P2P 和 CDN 在解决内容分发问题时仍存在一些不足,如网络中立性和大规模部署的问题。因此,现在又提出了 ICN 的解决方案,不同的是,该方案针对的是整个网络体系结构,其目标不只是解决内容分发问题,而是要解决当今 Internet 存在的所有问题。已有研究证明了信息中心网络能够更好地解决当今 Internet 中存在的各种问题^[2]。

CCN 项目的主要思想来源于对当今 Internet 上应用需求和背景改变的观察,并从 UC Berkeley 的 Scott Shenker 教授等提出的 DONA 体系结构^[10]出发,采用名字路由,通过路由器来缓存内容,从而使数据传输更快,并能提高内容的检索效率。CCN 提出六个设计原则:

- (1) 保留沙漏模型。
- (2) 考虑安全性。
- (3) 保留端到端原则。
- (4) 流量自调节。
- (5) 保留了路由和转发平面的分离。
- (6) 保证体系结构的中立。

1.3.1 CCN 体系结构

CCN 体系结构的外形仍然保留了 TCP/IP 的沙漏模型(见图 1.2),不同之处在于“瘦腰”处的协议,CCN 用 Content Chunk 代替了 IP,即用命名数据代替了命名主机。用户所交换的信息与位置无关,其可信性依赖于数据包中必须携带的签名。这样的命名只与信息有关,也自然带来了网络节点移动的便利性。

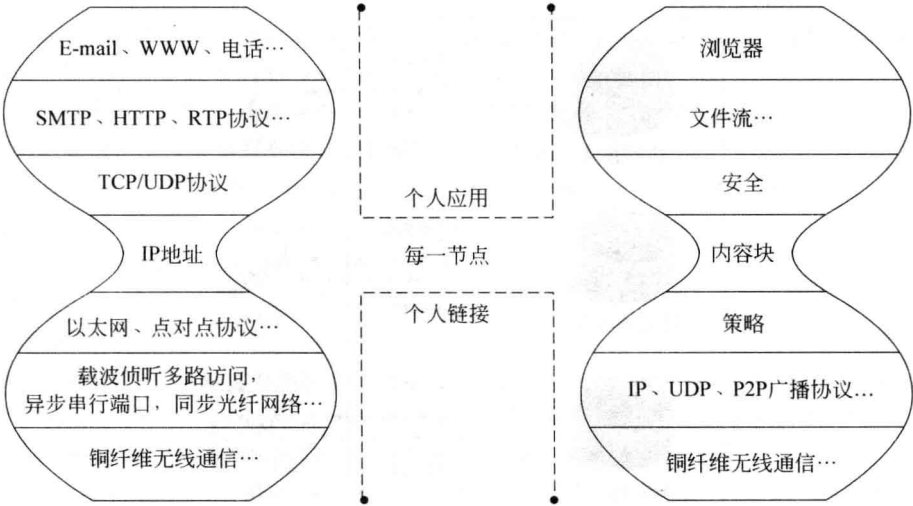


图 1.2 CCN 和 IP 的比较

另外,CCN 内建了存储功能,中间节点可以缓存经过的数据。这样的设计有很多好处,首先可以节省用户访问同一数据的响应时间,尤其是对一些热门信息,进而从整体上减少了整个网络的流量;其次,在时间和空间上解耦了信息的发送者和接收者,同时也增加了网络的鲁棒性;当然还有抵抗对内容源的 DDoS 攻击、抵抗通道攻击等其他好处。

最后,CCN 体系机构中增加了安全设计,专门设计了一个安全层,对核心网络包进行封装保护。

1.3.2 CCN 工作机制

CCN 通信由内容消费者驱动,数据可以进行块级传输。CCN 有两个包类型: Interest

和 Data(见图 1.3)。Interest 包和 Data 包都必须包含要交换信息的名字,并且,Data 包还需含有要交换的内容及其内容发布者的签名。当内容消费者需要请求内容时,首先广播 Interest 包,当 Interest 包到达路由节点时,在路由节点上有三个关键数据结构完成转发(见图 1.4),分别是路由转发表 FIB、内容缓存(Content Store)和 PIT。FIB 相当于 IP 网络中的 FIB,由路由协议自动生成,是转发 Interest 包的依据,但允许有一组出口,而限于是一个。内容缓存则用来存储已经转发的数据包,以供其他消费者使用。主要是根据缓存策略决定缓存那些内容。PIT 表记录的条目是:已经转发但尚未被响应的 Interest 包及其到达接口,目的是为了响应数据包能准确到达其请求者,当响应数据包利用某 PIT 条目转发后,或者某 PIT 条目超出时间阈值,则擦除该条目。

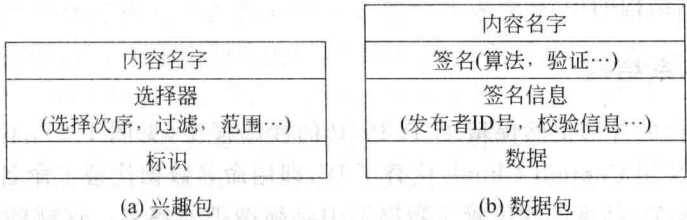


图 1.3 CCN 包类型

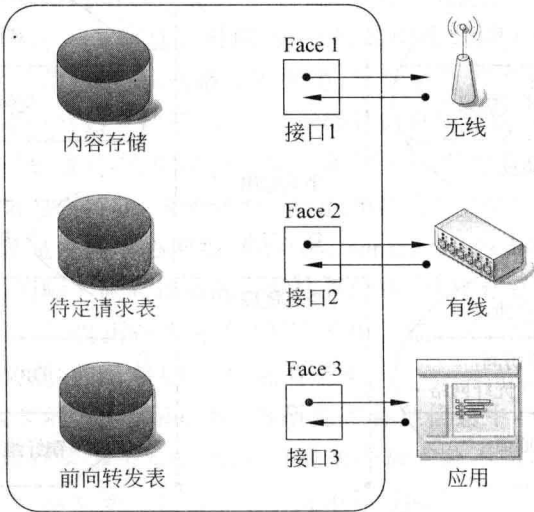


图 1.4 转发引擎模型

当一个 Interest 包到达一个路由器时,路由器会根据 Interest 包中的 Content Name,首先查找内容缓存(CS),如果缓存中有被请求的内容,则响应该请求,并丢弃该 Interest 包;如果内容缓存中没有被请求的内容,则查找 PIT,如果 PIT 中有该 Content Name 条目,则在该 Content Name 条目中增加该 Interest 包到来的 Face(节点接口),并丢弃该 Interest 包;如果 PIT 中没有该 Content Name 条目,则查找 FIB,如果在 FIB 中找到,则按照查找到的所有 Face 口转发 Interest,并在 PIT 中记录。如果 FIB 中也没有该 Content Name 条目,则丢弃该 Interest 包。

路由器对 Data 包的处理相对简单,当数据包到达时,根据数据包的 Content Name 字

段,首先在内容缓存中查找,如果有,则丢弃该 Data 包;如果没找到,则在 PIT 中查找,如果有,则根据查找的所有 Face 口转发出去,然后缓存在内容缓存中;如果在 PIT 中也没有匹配,则丢弃该 Data 包。

在 CCN 中,用户请求的内容和位置无关,因为 Interest 包中没有位置信息,中间节点和内容提供者都可以响应内容请求。

CCN 网络天生支持多播,而且是发送者和接收者在时间上解耦的多播。因为在一个路由器内,如果有一个 Interest 包请求某内容,则其他经过该路由器,且对同一内容感兴趣的消费者可以共享该请求。即当相应的内容响应时,可以同时响应所有请求。

CCN 的数据包强制实行签名机制,保证了内容的可信,根据签名,可以验证内容的可信性、完整性、不可否认性。

在 CCN 中,内容的机密和访问控制依赖于内容发布者对数据包的加密。

CCN 网络中,内容名字是复杂的,CCN 中采用分级的命名结构,而且内容的名字可以动态生成,用来实现类似于现在的动态 Web 的应用。

参考文献

- [1] Jacobson V et al. Networking Named Content, ACM CoNEXT'09, New York, NY, 2009.
- [2] Zhang Lixia et al. Named data networking (NDN) project. Technical Report NDN-0001, Oct. 2010.
- [3] Project CCNx: <http://www.ccnx.org>.
- [4] 闵二龙,陈震,许宏峰等. 内容中心网络 CCN 研究进展探析. 信息安全,2012(2).
- [5] 李军,陈震,石希. ICN 体系结构与技术研究. 信息安全,2012(4).
- [6] MobilityFirst project. <http://mobilityfirst.winlab.rutgers.edu>
- [7] NEBULA project. <http://nebula.cis.upenn.edu>
- [8] XIA project. <http://www.cs.cmu.edu/~xia>
- [9] CONNECT project. <http://anr-connect.org>
- [10] ANR project. <http://anr-connect.org>
- [11] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2010-2015. http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html. 2012-5-28.
- [12] Teemu Koponen. A Data-Oriented (and Beyond) Network Architecture-DONA. ACM Sigcomm 2007.

第 2 章 内容中心网络 CCNx 实现

CCNx 是由 PARC(Palo Alto Research Center)公司研发的基于内容中心网络思想的一套开源项目,该项目为庞大的 CCN 设计出了一个原型系统,给广大网络研究者一个长期开发与研究的平台。CCNx 是当前 CCN 网络架构中实现最好的模型,所以大量的工作都是基于这个开源项目设计和研究的。

在 CCNx 中,它的实现基于以内容中心的最核心的概念:将抽象概念中的命名主机替换为命名内容。每个网络数据内容都有自己的一个“名字”,即用命名代替传统的 IP 地址信息,从而作为在网络中内容的标识,包括底层的身份标识。CCNx 基于 Linux 系统运行,包含了一系列符合 UNIX 标准的命令行工具,对内容中心网络的路由、内容获取、上传的功能提供相关支持。

2.1 CCNx 框架

本节介绍 CCNx 的框架以及运用到的 CCNx 工具。总体框架如图 2.1 所示,同时也展示了一个 ccnd 内部的体系架构和各个节点之间的通信。图中,app 是 CCN 中的应用,ccndc 是 CCN 中的路由控制进程,ccnd 是核心通信进程,ccnr 是它的存储库。

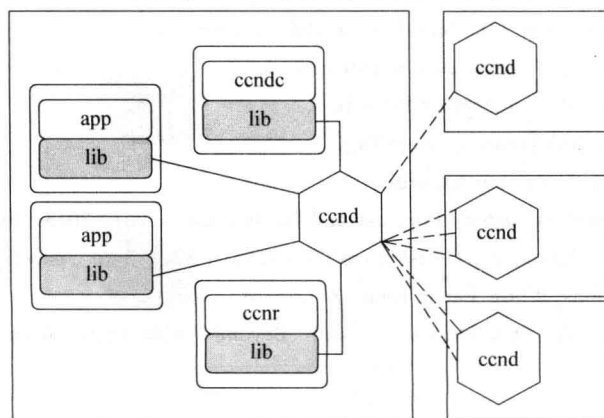


图 2.1 CCNx 框架

在 CCNx 的网络结构中,每个节点都是平等的,不过扮演的角色可不尽相同:可能是数据源、中间节点、客户端等等。CCNx 的核心是 ccnd 进程,它支持了数据包的转发和缓存。

组成 ccnd 最重要的三个数据结构分别是:FIB(Forwarding Information Base)、CS(Content Store)和 PIT(Pending Interest Table)。其中,FIB 表用来做路由表,CS 则用作缓存经过的数据包,PIT 表用来匹配、记录那些未处理的兴趣包。

2.1.1 CCNx 代码库

CCNx 代码库主要由 ccnd(路由守护进程)、ccndc(控制程序)和 ccnr(存储器)组成。

(1) 每个 CCNx 节点都需要运行 ccnd。

(2) 目前只有一个 ccndc, ccndc 控制程序设置路由以确定 ccnd 如何转发流量。可以将静态路由填充到 ccnd 的转发表中。如果用户的 home 目录下有配置文件(~/ .ccnx/ccnd.conf), 那么 ccndc 可以从中读取出路由信息, 如果没有, 那么也可以通过命令行设置新的路由信息。

(3) ccnr(CCN repo)是 Java 实现的一种仓库。ccnd 的缓存是一种短时间的存储器, 而这种仓库则是用来做长时间存储的, 就像硬盘一样。这种仓库是用来做长时间存储的, 就像磁盘一样, 而不是内存, 内存的内容是时刻更换的。而 ccnd 则尽力缓存基础数据。无论是本地还是远程, 除了最简单的或者只针对网络应用的程序都应该有这样一个仓库。

库使 CCNx 应用程序的开发成为可能。我们在 C 和 Java 中都有库, 需要注意的是, 它们有一定的差异。

CCNx 项目维持 C 和 Java 这两种库之间的兼容性, 以使得用一种库写入的数据可以被另一种库读取。

网络层的开发通常首先是在 C 库中进行。而应用层和安全方面的开发更多的时候是首先在 Java 库中进行, 因为它们在面向对象的语言中可以更快地实现和运行。

一旦功能稳定, 确实可用, 它们将被移植到其他语言, 如 pyCCN^[11]。但在核心转发功能模块中, 仍然是 C, 因为在 Java 和 C 的库中都是使用的基于 C 的 ccnd。

2.1.2 CCN 内容命名

在 CCNx 中, 与内容中心网络一样, 所有的数据都由命名唯一标识。命名以 ccnx:/ 起始, 表示这是一个 CCNx 协议。

在 CCNx 的设计中, 每一个数据包的大小是固定的, 为 4KB, 这与 BitTorrent 协议一致。那么对于较大的内容而言, 它就将由一个或多个同样具有命名的内容的数据块来组成。在 CCNx 中, 这通过以下约定来完成: 假设一个内容的路径为 ccnx:/path/to/the/content, 那么在 ccnx:/path/to/the/content 路径下, 还将包含这样一些内容:

```
ccnx:/path/to/the/content/%00
ccnx:/path/to/the/content/%00%01
ccnx:/path/to/the/content/%00%02
:
```

所有的数据块都约定以名字为前缀, 后面跟着 segment 号。

此外, CCNx 还包含了针对内容版本的支持。由于内容存在更新的需求, 因而对其原生的版本支持也是内容中心网络所强调的一点。假设一个内容的路径为 ccnx:/path/to/the/content, 那么当其具有版本支持时, 在其目录下将包含的内容有类似如下的命名:

```
ccnx:/path/to/the/content/%FD%04%F8%E5%CE%E6%29
ccnx:/path/to/the/content/%FD%04%F8%E5%D3X%08
:
```

所有的版本组件都以%FD 起始。

```
ccnx:/path/to/the/content/%FD%04%F8%E5%CE%E6%29/%00
ccnx:/path/to/the/content/%FD%04%F8%E5%CE%E6%29/%00%01
ccnx:/path/to/the/content/%FD%04%F8%E5%CE%E6%29/%00%02
ccnx:/path/to/the/content/%FD%04%F8%E5%CE%E6%29/%00%03
:
```

2.2 CCNx 组件

2.2.1 ccnd

ccnd 是 CCNx 的路由守护进程,将进行 CCNx 路由的相关操作。如下的一些环境变量能够影响 ccnd 的行为:

(1) CCND_DEBUG 标识 ccnd 运行中应当显示的调试信息,是一个由标志位组成的十进制数字,包括了如下标志位:

- ① 0 表示不显示消息。
- ② 1 表示基础信息。
- ③ 2 表示 Interest 包消息。
- ④ 4 表示内容包消息。
- ⑤ 8 表示命名匹配的详细信息。
- ⑥ 16 表示 Interest 包的详细信息。
- ⑦ 32 表示不正确 Interest 包的详细信息。
- ⑧ 64 表示定时显示可读的时间戳。
- ⑨ 128 表示接口注册调试用信息。

数值-1 可以接收所有的调试信息。

(2) CCN_LOCAL_PORT 标识 ccnd 监听的端口。ccnd 将会在 UDP 和 TCP 的同一端口上进行监听,默认为 9695。

(3) CCN_LOCAL_SOCKETNAME 标识 unix socket 的句柄,默认为/tmp/.ccnd.sock。

(4) CCND_CAP 标识内容缓存的大小,单位是内容对象的数量。这不是绝对的限制。

(5) CCND_MTU 数据包的大小,单位为字节。这个选项一经设置,Interest 包的填充将限制在这个数值之内,但是大于这一数值的单一项目将不会被阻止。

(6) CCND_DATA_PAUSE_MICROSEC 调整组播内容发送时以及往 udplink 接口发送时的延迟时间。

(7) CCND_DEFAULT_TIME_TO_STALE 在没有显式声明刷新时间时,分配给内容对象的刷新时间,单位为秒。

(8) CCND_MAX_TIME_TO_STALE 单位为秒,内容对象的最大刷新时间。如果有必要,该数值可被设定为实现所要求的值。

(9) CCND_KEYSTORE_DIRECTORY 密钥仓库的位置,默认为私有路径/var/tmp。

(10) CCND_LISTEN_ON 如果设定,将在指定的一系列 IP 地址上监听,默认为通配