

清华大学

计算机系列教材

陈震 曹军威 编著

林闯 主审

信息中心网络



清华大学出版社



清华大学 计算机系列教材

陈震 曹军威 编著

信息中心网络



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要阐述信息中心网络的体系结构和设计问题。全书共分四部分：第1部分也即第1章，介绍网络研究的基础知识；第2部分含第2章～第4章，介绍覆盖网和信息中心网络的研究进展；第3部分含第5章～第9章，重点介绍信息中心网络的各部分设计问题，包括其总体架构、安全和隐私、缓存管理、路由设计等问题；第4部分为第10章及第11章，通过信息中心网络在车联网和智能电网上的应用，介绍信息中心网络的发展前景。

本书适合计算机网络专业研究生使用，也适合于对网络有兴趣的其他人员参考。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下一代网络设计观点。

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

信息中心网络/陈震等编著. --北京：清华大学出版社，2013

清华大学计算机系列教材

ISBN 978-7-302-31287-1

I. ①信… II. ①陈… III. ①计算机网络—高等学校—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第008368号

责任编辑：白立军 李玮琪

封面设计：常雪影

责任校对：时翠兰

责任印制：宋 林

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

印 装 者：北京国马印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：9 字 数：218千字

版 次：2013年7月第1版 印 次：2013年7月第1次印刷

印 数：1~2000

定 价：19.50元

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,又需要跟踪科技的发展,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,适合于教学与自学,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

在当今信息社会中,以互联网为基础信息框架在我们生活中扮演着非常重要的角色。然而,互联网经过几十年的发展,逐渐暴露出越来越多的问题,比如安全、移动、扩展性、应用僵化和可管理性差等问题。这些问题在不同程度上制约着互联网的进一步发展。

最近几年,世界各国都在为如何设计下一代互联网而绞尽脑汁,以图在未来的信息技术中争取一席之地。美国的国家自然科学基金(NSF)在2010年,一次资助了四个未来的互联网研究项目。欧盟也不甘落后,最近在信息中心网络(ICN)的研究中屡屡取得突破性进展。处在这个机遇与挑战并存的年代,任何国家都可能成为未来信息技术竞争中的领袖,中国当然也不例外。

我国在未来互联网研究中投资巨大,目前清华大学已经和美国NSF项目之一的NDN项目(属于ICN领域)组进行合作,以期在该领域有所斩获。本书正是在这个“群雄逐鹿”的时代应运而生,主要介绍ICN方面的技术和思想,尤其是与NDN相关的设计问题,包括体系结构、路由、缓存管理、安全和隐私等问题。

本书是国内第一本介绍未来网络——信息中心网络体系结构和安全的书籍,几乎涵盖了所有有关信息中心网络的重要内容,尤其是从网络科学理论和应用实践两个方面,对信息中心网络设计思想进行评估。本书作者长期在网络领域从事研究,精通传统IP网络、覆盖网、CDN及未来新型网络,在此基础上对该书编写投入巨大精力,使得本书语言精练、思想深刻,便于读者在较短时间内对网络领域有一个全面把握。

编 者

2013年4月

目 录

第 1 章 网络研究背景	1
1.1 网络的类型	1
1.2 网络的结构	2
1.3 通信网络的演化	2
1.4 当前互联网的问题	3
1.5 未来互联网研究	4
1.6 小结——如何设计一个通信网络	5
参考文献	6
第 2 章 信息中心网络体系架构设计	7
2.1 ICN 概述	7
2.2 发布/订阅范式	7
2.3 ICN 体系结构	9
2.3.1 命名方法	10
2.3.2 路由方法	12
2.3.3 多源传输	13
2.4 ICN 研究项目介绍	13
2.4.1 基本情况	14
2.4.2 扩展性	18
2.4.3 安全性	18
2.4.4 移动性	18
2.4.5 隐私问题	19
2.4.6 综合比较	19
2.5 本章小结	19
参考文献	20
第 3 章 覆盖网和未来互联网	22
3.1 概述	22
3.2 覆盖网的分类	23
3.2.1 什么是覆盖网?	23
3.2.2 将覆盖网切入互联网架构	24
3.2.3 新增功能	24
3.2.4 覆盖网和行业结构	25
3.2.5 覆盖网出现的原因	26
3.2.6 覆盖网结构,行业结构和政策的启示	26
3.3 不同类型覆盖网的挑战	28

3.3.1	内容分发网络	28
3.3.2	路由覆盖网	29
3.3.3	安全和隐私覆盖网	30
3.4	结论	30
	参考文献	31
第4章	基于覆盖网的面向媒体的信息中心网络设计	33
4.1	媒体信息的网络要求	33
4.2	覆盖网	34
4.2.1	覆盖网简介	34
4.2.2	覆盖网络的优势	37
4.3	CORS 覆盖网分布式传输机制及算法	37
4.3.1	基于覆盖网的服务质量改善研究	37
4.3.2	CORS 系统概况	38
4.3.3	CORS 系统结构	39
4.3.4	节点探测与链路质量探测机制和算法	42
4.3.5	中继节点推荐与负载均衡机制和算法	43
4.3.6	拓扑路由推断和路径选择机制和算法	45
4.4	覆盖网分布式传输方案的性能仿真	45
4.4.1	实验环境	46
4.4.2	实验方案	46
4.4.3	实验结果	46
4.4.4	多路径分布式传输性能的影响因素	52
4.4.5	多路径传输与单路径上的冗余传输	56
4.4.6	实验小结	57
	参考文献	57
第5章	内容中心网络	58
5.1	CCN 原理介绍	58
5.1.1	CCN 体系结构	58
5.1.2	CCN 设计目标和原则	58
5.1.3	CCN 工作机制	59
5.1.4	CCN 比较优势	60
5.1.5	CCN 可行性分析	61
5.1.6	CCN 面临的竞争和挑战	61
5.2	CCN 研究热点	62
5.3	CCNx 协议实现	63
5.4	CCN 使用举例	64
5.4.1	实时通话应用	64
5.4.2	音频会议工具	65
5.4.3	应用的安全设计	65

5.4.4 全媒体交互(Omedia-CCN)	65
5.5 结论	66
参考文献	66
第6章 内容中心网络可扩展性与安全问题	68
6.1 引言	68
6.2 CCN 研究议程	69
6.2.1 可扩展性研究课题	69
6.2.2 安全性研究课题	72
6.2.3 小结与思考	75
6.3 CCN 的安全	75
6.3.1 系统模型	75
6.3.2 威胁分析	76
6.3.3 针对 CCN 的攻击	78
6.3.4 小结	82
参考文献	82
第7章 内容中心网络用户安全与隐私问题	84
7.1 隐私相关概念	84
7.2 CCN 的隐私挑战	84
7.3 CCN 安全	85
7.3.1 证书系统	85
7.3.2 安全考虑	85
7.3.3 缓存	85
7.3.4 用户的检索隐私	86
7.3.5 隐私保护的法律	86
7.4 CCN 与 IP 体系的隐私比较	87
7.5 影响用户隐私的 CCN 机制分析	87
7.5.1 命名机制对隐私的影响	87
7.5.2 数据签名机制对隐私的影响	88
7.5.3 缓存机制对隐私的影响	89
7.5.4 消费者驱动对隐私的影响	90
7.6 总结	90
参考文献	90
第8章 内容中心网络的缓存管理技术	91
8.1 ICN 缓存技术概述	91
8.2 缓存替换机制的分类	91
8.3 缓存替换策略的综述	92
8.3.1 基于上一次访问间隔的替换策略	93
8.3.2 基于访问频率的替换策略	94
8.3.3 基于上一次访问间隔和访问频率的替换策略	95

8.3.4 基于内容属性函数的替换策略	96
8.3.5 基于随机的替换策略	97
8.4 研究缓存替换策略的重要性	97
8.5 缓存管理技术未来的研究方向	98
8.6 相关研究工作简介	99
参考文献	100
第 9 章 内容中心网络高性能路由器的设计与实现	103
9.1 相关技术及可行性分析	103
9.1.1 存储技术	103
9.1.2 集成电路设计技术	105
9.1.3 可行性分析	106
9.2 路由模型	107
9.2.1 数据包处理流程	107
9.2.2 量化模型	109
9.3 FIB 表关键技术	110
9.4 PIT 关键技术	111
9.5 基于并行技术的 CCN 软件路由器	112
9.5.1 背景知识	112
9.5.2 基于锁的并行 CCN 路由器(Lock Based Parallel CCN Router)	114
9.5.3 基于事务的并行 CCN 路由器	116
9.5.4 基于数据分割的并行 CCN 路由器	117
9.6 路由协议	118
9.6.1 短期部署: 扩展现有路由协议	119
9.6.2 长远部署: 实现路由的可扩展性	120
参考文献	121
第 10 章 信息中心网络应用——车联网	123
10.1 介绍	123
10.2 V2V 中的通信技术	123
10.3 V2V 通信的 CCN 方案	124
10.4 交通信息散播应用的数据命名设计	125
参考文献	126
第 11 章 信息中心网络应用——智能电网	127
11.1 引言	127
11.2 智能电网概况	127
11.3 智能电网的信息系统	128
11.3.1 伯克利 LoCal	128
11.3.2 分散数据中心中间件	130
11.4 本章小结	131
参考文献	132
致谢	133

第 1 章 网络研究背景

1.1 网络的类型

网络无处不在,人们时时刻刻受着各种网络连通性的影响,例如流行疾病传播、金融危机、从 Internet 或 Web 获取信息等^[1]。抽象地讲,一个网络是具有特定关系的个体对象的集合,是离散结构。这个特定关系是对象的属性(property)之一,而属性又是定义对象的一个重要方法,可以完成人类(人造的)或自然(大自然形成的)任务的系统。其数学模型抽象为图。目前抽象研究网络的学科称为网络科学(Network Science)。从目前的信息技术领域看,就其任务的分工层次来划分,现有的网络可分为信息传递网络、信息处理网络、社会网络(社会网络也可以说是受信息影响的网络)。一般处于下层的网络通常为上层提供某种服务。

1. 社会网络

社会网络的节点是人,从信息的角度看,其节点是信息的最终目的,是信息要施加影响的对象,有自我意识和社会意识,可以演化;社会网络的边可以是亲朋(感情需求)、商业(物质需求)、工作(物质)、兴趣(感情)、地理空间、时间、事件、历史关系等。人可以接受很多信息类型,社会网络本身和计算机网络没有任何关系,但它可以通过计算机网络完成部分人与人的社会事件,计算机网络位于社会网络的下层,可以说社会网络是决策层、行动发起层,而为了完成社会网络的一些任务,计算机网络为其提供信息的处理和存储等服务。

2. 计算机网络

计算机网络的节点是计算机,边是传输层或应用层的各种链接。从信息的角度看,计算机网络完成信息的各种处理。计算机和人的最大不同是计算机没有自我意识,因此信息对计算机的影响并不改变计算机的行为目的,虽然计算机可以通过协作和分工完成一些事情,也可以学习,但仍然是机械的、为人服务的,而不是自私的、具有自我意识的。计算机网络的典型例子有电子商务网络、对等网络(P2P)、CDN(Content Delivery Network,内容分发网络)等,是全互联的或全连通的。为了完成各种信息处理任务,计算机网络也许把信息传递的任务交给通信网络来完成,也就是说通信网络可以为计算机网络提供信息传递服务。但计算机网络完成的任务和通信网络是没有关系的,它可以基于各种通信网络,比如 IP 网、电话网、邮寄光盘等。只是在考虑效率时,才考虑下层通信网络。

计算机及其信息网络始终是人的代理和工具,帮助人处理信息、传递信息、存储信息、发布和获取信息。当前网络中的每一个事件都是个体目的的,比如我要信息(内容获取)、我们要发布信息(内容发布)、我要通信、我要处理(服务)等。包括 CDN 也是为个体服务的。但是,从更高层面看,无数个体在达到自己利益目标的同时其实也是在帮助别人,回馈社会,这一点非常类似经济学中的情况,因此有网络经济学这门学科。

3. 通信网络

通信网络的节点是路由器等通信节点,边是各种传输介质。从信息的角度看,通信网络只完成社会网络或计算机网络中的一些信息传输任务,即为上层提供信息传输服务。典型的通信网络例子如程控交换网、IP 网、内容中心网(Content Centric Networking,CCN)^[3]、

报纸、邮递等。

通信网络加上信息处理和存储的计算机就是计算机网络,再加上生成和消费信息的人就形成了某些社会网络。

4. 覆盖网

覆盖网^[2](Overlay Network)是在现有通信基础框架上部署实现的一组节点的集合,能够为一个或多个应用提供基础框架的支持,能够以与下层基础框架不同或者是竞争性的方式提供对应用的转发与处理,可以被第三方以有组织和协调的方式管理的。

覆盖网是利用现有基础设施构成的虚拟网络,因此也是网络虚拟化的一种形式。比如现在电子商务的物流网络是建立在国家基础交通网络上的虚拟网,因此是一种覆盖网的形式。再如现在 Internet 上的 P2P 应用、Skype 通信网络、CDN 网络等,均是覆盖网。

5. 其他网络

任何多个相关个体都可组成网络,个体可以小到原子,大到社会组织、宇宙天体。每个网络都有其特定的功能。除狭义的信息相关网络外,还有广义的信息网络,如基因调节网、神经网络、大脑网络、新陈代谢网络、知识表述语义网、电网、交通网、物流运输网、经济网络、社会网络等,这些网络可以处理、存储、传递和接受能量、物质等广义的信息。网络是群体结构,其实,任何事情的发展都是网络的或者说是社会的。几乎没有单独的不受任何影响,也不影响任何其他个体的独立事件,每个事件必属于某一网络。

信息的处理、存储、传递、作用影响。前三者都可以借助计算机网络来完成,但作用影响暂时还只能是人。人类之所以有文化传统,靠的是社会网络中的知识存储。对每个个体来说,人类的所有知识的 90% 以上都是存储在社会网络中,因为个体的大脑是非常有限的。

1.2 网络的结构

网络在空间上展现出一定的结构,如规则的网络,随机的网络还是复杂网络。另外,在时间上,很多网络也有一定的演化过程,尤其是自然界的网络。

1. 规则网络

规则网络具有规则的图结构,是可以根据确定的生成算法生成的网络。

2. 随机网络

与规则网络相反,随机网络中两节点间的链路是完全随机的,并且与是否存在链路的概率相等。

3. 复杂网络

复杂网络是一种介于规则网络和随机网络之间的,有一定统计特性的网络。比如社会网络涉及人和人间的关系,这种关系的建立具有一定的随机性,但又不是完全随机的,这样的网络就是一个复杂网络。目前发现的复杂网络有小世界网络和无标度网络。

1.3 通信网络的演化

人与人之间的信息传递的原始方式包括交谈和旁听(也即单播和广播)。当需要长距离通信时,就需要中间节点进行转发。“交谈”演化出的是电话、邮寄系统、IP 等;“旁听”演化

出的是说书、书籍、报纸、广播、电视、基于 IP 的发布订阅系统等。另外,在传输介质方面,具有划时代意义的是 18、19 世纪人们对电和磁的认识。

互联网的起因可以从 20 世纪 50 年代冷战时期说起,当时所有军事通信都使用公共电话网,而该网被认为是非常脆弱的,在国家的层次结构中,如果几个中心交换局被打击,则该网就被分成若干孤岛。这时,美国国防部希望建立一个命令和控制网络,即使在核战争的情况下也能保存下来,基于这样的目的,以及当时对分组交换理论的研究成果,便出现了现在的分组交换网络系统。该系统的建成解决了美国国防部对命令和控制系统的需要,当时并没有要求发布命令和指挥控制的是计算机,只是设计一个通信网络,计算机被自然的考虑进去了。该通信网络要完成的任务主要是会话,即原始的“交谈”目的。自从 IP 出现之后,一直到现在,虽然互联网的应用和其基础硬件在不断变化,但 IP 核心一直都没有变。也就是说,这么多年,IP 网本身并没有演化,最多是增加了网络的拥塞控制。

随着互联网应用的不断被开发,很明显,现在互联网上的主要应用已经是发布和订阅,包括 Web、微博、视频点播等。这样的应用是一种“旁听”方式的应用,是人类信息传递的另一种基本方式。这样就产生了信息中心网络的设计,这种网络的用户只关注信息,而不关注信息的生产者。

可以这样来看通信网络的演化历史:电话网络要关心信息的产生者、线路和消费者,而分组交换网不需要关心信息走哪条线路,现在的 CCN 则既不关心线路,也不关心信息的发布者,可以看出演化的方向在于不断解放。另外,从功能上看,电话网络的基本功能是“通信”,IP 网的基本功能是信息“传递”,而 CCN 的基本功能是信息“传播”。

现在互联网的发布订阅系统是把旁听建立在交谈(communication)和传话(Gossip 或 broadcast)(一传十,十传百)基础上,CCN 实现交谈是要建立在旁听(别人要的信息,你在旁边听到)的基础上,即我要和人交谈,需要先讲话(发布),让人能旁听到我的状态信息。所以如何设计一个信息传递网络,使其能具有这两个基本功能,或者没有一个系统可以实现两个难以融合的基本功能。这是设计信息传输网络的一个基础问题。

1.4 当前互联网的问题

Internet 已经取得了空前的成功,已经改变而且继续改变着人们的生活方式,包括通信、工作、商业和应对紧急事件的方式以及军事运作等,另外互联网也改变了人和人之间、人和计算机之间、计算机和计算机之间的合作方式。毫无疑问,几乎所有的工业部门都受益于 Internet。然而当初设计 Internet 时的“假定”已经改变,新的背景和许多的特殊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,使得很多应用变得很无效。

考虑当前 Internet 上的主要信息流量,几乎 90%都是信息的发布和订阅流量,这是当初设计 Internet 时没有想到的。因为现在的 Internet 是主机-主机模式,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。

第二个问题是移动问题,因为 IP 在 Internet 上具有双重语意,既代表一个主机,又指明了物理位置,所以非常不利于移动。

第三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。

最后还有 IP 地址不足的问题,路由表的可扩展性、网络可靠性等问题。

1.5 未来互联网研究

为了解决当今互联网存在的诸多问题,国际上许多研究机构都在探索未来互联网的设计,比如美国 NSF 在 2010 年资助了 4 个未来网络的研究项目,资助时间为 3 年。这 4 个项目都宣称能解决当前互联网的主要问题,但其侧重点各不相同。

NDN 项目的主要思想来源于对当今互联网上应用需求和背景改变的观察。互联网在设计之初,主要的应用需求是计算资源共享,而经过 50 多年的发展,互联网的使用已发生了巨大的变化,现在互联网的主要使用需求是内容的获取和分发。虽然应用发生了这么大的变化,但互联网的体系结构仍然是主机-主机通信模式,对于以发布和获取信息为主的互联网,主机-主机通信模式存在明显的不足,比如每次存取内容,都要间接映射到内容所在的设备。为了解决这个问题,NDN 从加州大学伯克利分校的 Scott Shenker 教授等提出的 DONA 体系结构^[4]出发,采用名字路由协议,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。NDN 的具体实现例子是施乐公司的帕洛阿托研究中心(PARC)的 Van Jacobson 等提出的内容中心网络。

MobilityFirst 项目主要考虑移动问题,以终端移动为正常,而非例外,该体系结构使用普遍的延时可容忍网络(Delay Tolerant Networking,DTN)提供健壮性,再结合自认证公钥的使用,就可提供一个具有天然可信任属性的网络。把移动作为第一属性,使得环境和位置感知服务自然地适合于该网络,该项目集中在移动、可扩展性和公平使用网络资源之间的权衡,实现移动终端间的有效通信。

NEBULA 项目针对当前的存储、计算和应用都迁移到了“云”上这个事实,把云计算的数据中心作为主要的数据仓库和主要的计算场所,数据中心被高速的、可靠的和安全的骨干网连接,该项目集中在部署云计算网络服务,使新的可信数据、控制和核心网络支持一直可用,从而实现一个可以快速提供计算服务的计算基础设施。

XIA 项目主要针对的问题是:网络使用的多样化、可信通信的需求以及同时提供网络服务的利益相关者在不断增长。XIA 是一个可信的并可演化的体系结构。XIA 天生支持多个第一类责任者(x-centric),也支持未出现的应用模式,即 XIA 的体系结构可以随着网络背景和应用的变化而演化,XIA 创建了一个单一网络,在当前主要的通信主体(主机、内容、服务以及未来不可知的应用)之间提供固有的通信支持^[5]。

本书主要介绍信息中心网络的设计与架构,尤其是 NDN 项目,该项目的前身是 PARC 的 CCN。主要针对当前 TCP/IP 协议互联网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,CDN)的研究热潮。最近发现,经过多年的研究,P2P 和 CDN 在解决内容分发问题时仍存在一些不足^[6]。因此,又提出了信息中心网络(Information Centric Networking,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

是要解决当今互联网存在的所有问题。已有研究证明了信息中心网络能够更好地解决当今互联网中存在的各种问题^[7]。而 CCN 就属于信息中心网络范畴,是目前较为主流的研究热潮。

所谓的信息中心网络,就是网络中的一切都可以看作是信息,可以说是一个信息互联的网络,而非主机互连,其核心对象是信息,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。整个网络及其终端就在各种信息的驱动下运行起来了,而网络的作用就是管理所有信息的流动和缓存,并用正确的信息快速响应信息的请求者。用户或应用可以只关注信息本身,而不关心信息块的其他属性,比如不用关心信息的所有者属性。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(PSIRP/PURSUIT、4WARD、SAIL)和美国(CCN 和 DONA)^[7]。近来,加州大学伯克利分校的 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,但各自的术语却不同,比如在 CCN 中采用的术语 register、interest 等,在本质上相当于发布和订阅术语^[8]。

在众多的信息中心网络中,施乐公司的帕洛阿托研究中心(PARC)的内容中心网络(CCN)具有更多的优势,也是目前研究较多的体系结构,并且有开源的原型实现^[10]支持。NDN 项目便是在 CCN 基础上进行研究的。PARC 先后发明过以太网、鼠标和激光打印机,并在 IPv6 上做出了贡献,而 CCN 则是 PARC 的又一里程碑式的技术。另外欧洲的 CONNECT^[11]项目也正在为完善 CCN 做出贡献,CONNECT 主要研究 CCN 的流量控制、命名、路由和转发,并考虑 CCN 的部署策略。CONNECT 项目也通过一些网络服务和应用的案例,力求从经济上说明 CCN 取代当前互联网的不可抗拒的优势,另外 CONNECT 项目也开发一些模拟和仿真工具,用来测试和证明新的 CCN 协议的有效性。

1.6 小结——如何设计一个通信网络

经济学上有实证经济学和规范经济学之分,实证经济学就是研究实际的经济现象,而规范经济学是研究人类社会应该具有什么样的经济模式。我们研究网络也有这样的两个问题,一个是研究现存在的网络问题,比如 IP 网、电话网、CCN 等,另一个问题是研究一个网络应该是什么样的。

现有的 Internet、电话网以及正在兴起的信息中心网络,都是为满足人们的某些需求而设计的,而不是根据网络本身的自然原理设计的。目前尚没有网络应该是什么样的理论。因此网络的设计就取决于基本需求的确定和设计原则的确定。

观察历史上的通信网络,其演化的动力始终是人们的需求。比如会话的需求、抗核打击的需求、内容发布与检索和存取的需求(如 HTTP、Google、Web、P2P、CDN、CCN 等)。CCN 现在想重新设计互联网,所以应该重新深入考虑人们或社会对通信网络的基本需求。比如 IP 网的基本服务是传递信息,CCN 的基本服务可以说是“传播”信息。那么到底哪个是更基本的需求呢? IP 的信息传播服务是建立在信息传递的基础上(即信息的散播要在应用层实现),因为 IP 网本身是一个信息传递网络;而信息中心网络的传递服务要建立在传播的基础上(即点对点通信要高层参与),因为信息中心网络本身是一个信息传播网络。

如果能确定人们对通信网络的基本需求,也就确定了通信网络的基本功能,这方面,

IP 做得相当不错,IP 只是完成一个基本功能,其他任务放在应用层去实现,这是符合端到端原则的。

因为人性基本需求不变,所以如果能正确判断人们对通信网络的基本需求,就可以设计一个基本功能不会被革命的网络^[9],就像冯·诺依曼结构,即使是发展成了云计算,也没有革命这种结构。不变的东西(比如需求、思维逻辑)可以用不同的技术满足,技术可以万变,可以革命,可以变得越来越合理。

确定了人们对通信网络的基本需求,即确定了通信网络设计的基本目标。然后是确定一些基本的设计原则。比如:标准化原则,网络的协议应该标准化,无关种群、国家和文化,这样才能建立起信息的互联;端到端原则,通信网络完成基本功能,其他功能最好放在上层设计。

最后也可以考虑到底需不需要单独的通信网络?即单独的信息的传播或传递层,而不管信息的处理和存储。

参 考 文 献

- [1] Easley D, Kleinberg J. Networks, Crowds and Markets. New York: Cambridge University Press, 2010.
- [2] D Clark, B Lehr, S Bauer, et al. Overlay networks and the future of the Internet. Communication & Strategies, 2006(63).
- [3] V Jacobson, D K Smetters, J D Thornton, et al. Braynard (PARC) Networking Named Content. CoNEXT 2009, 2009.
- [4] Teemu Koponen. A Data-Oriented (and Beyond) Network Architecture-dona [C], ACM Sigcomm, 2007.
- [5] A Anand, F Dogar, D Han, et al. XIA: An Architecture for an Evolvable and Trustworthy Internet [R]. Technical Report CMU-CS-11-100, CMU, 2011.
- [6] B Ahlgren, C Dannewitz, C Imbrenda, et al. A Survey of Information-Centric Networking (Draft) [Z]. Information-Centric Networking, number 10492 in Dagstuhl Seminar Proceedings, Dagstuhl, Germany, 2011.
- [7] Dirk Trossen, Mikko Sarela, Karen Sollins. Arguments for an information-centric internetworking architecture[J]. ACM Computer Communications Review, 2010(40): 26-33.
- [8] Ali Ghodsi, Teemu Koponen, Barath Raghavan, et al. Information-Centric Networking: Seeing the Forest for the Trees[C]. Hotnets'11, 2011(11): 14-15.
- [9] Teemu Koponen, Scott Shenker, Hari Balakrishnan, et al. Architecting for Innovation. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2011,41(3).
- [10] CCNx project. <https://www.ccnx.org/>.
- [11] CONNECT project. <http://anr-connect.org/>.

第 2 章 信息中心网络体系架构设计

2.1 ICN 概述

互联网上视频和话音通信业务量正在日益激增,高清视频点播服务无疑将进一步凸显 TCP/IP 体系结构所存在的数据传输瓶颈。P2P(Peer-to-Peer)系统,如 Bit Torrent 被广泛应用于多媒体数据的传输,但是其传输效率也不理想,因为 Peer 只能从很小一部分 Peer 中获取数据块,总的来说就是在 Peer 下载同样的内容和网络拓扑时只拥有很有限的信息。信息中心网络(Information Centric Networking, ICN)^[1]的提出,将用户的关注点由终端改为内容,即用户不用再关心从何地去获取自己想要的数据,而只需关心想要的内容是什么。ICN 将内容与终端位置剥离,通过发布/订阅范式(Publish/Subscribe Paradigm)来提供存储和多方通信等服务。目前只有 P2P(Peer-to-Peer)overlay 和 CDN(Content Distribution Network)这样的专用系统提供类似的服务。

当前在 ICN 的研究方面涌现出了不少方法或者称为工程应用项目,可以划分为欧、美两大分支^[3],在欧洲,主要有 PURSUIT(Publish/Subscribe Internet Technologies)、PSIRP(Publish/Subscribe Internet Routing Paradigm)、4WARD-NetInf(Network of Information, 以下简称 NetInf)、SAIL(Scalable and Adaptive Internet Solutions)和 ANR-CONNECT(Content-Oriented Networking: a New Experience for Content Transfer),其中 PURSUIT/SAIL/PSIRP/NetInf 受到 European Community's Seventh Framework Programme(FP7)^[3]的资助,ANR-CONNECT 受法国国家研究局资助。在美国,主要有 CCN/NDN(Content Centric Networking/Named Data Networking)和 DONA(Data Oriented Network Architecture)。

2.2 发布/订阅范式

发布/订阅范式或系统(Publish/Subscribe Paradigm)^[14]是一种消息平台,信息的发送者称为发布者,不编辑信息直接发送到特定接收者,这些接收者称为订阅者。所发布的消息是分类的,用户对一类或多类信息表达兴趣,并只接收感兴趣的信息。发布/订阅范式是消息队列范例的一种,通常是一个更大的消息中间件系统的一部分。

信息的发布者只负责发布信息,信息的订阅者可以订阅多个发布者所发布的信息,而两者之间都可以不用理会彼此是谁发布和谁订阅,而通过一个信息管理器(如图 2-1 中的“事件服务”)来处理两者之间的发布/订阅逻辑。一个订阅者可以订阅多个信息源,一个信息源也可以被多个订阅者订阅,它们之间是一种多对多的关系。

如图 2-1 所示,发布/订阅交互系统模型依赖于“事件服务”来为事件的订阅和高效传输提供存储和管理。此类“事件服务”扮演了位于发布者与订阅者之间的中立调解角色。订阅

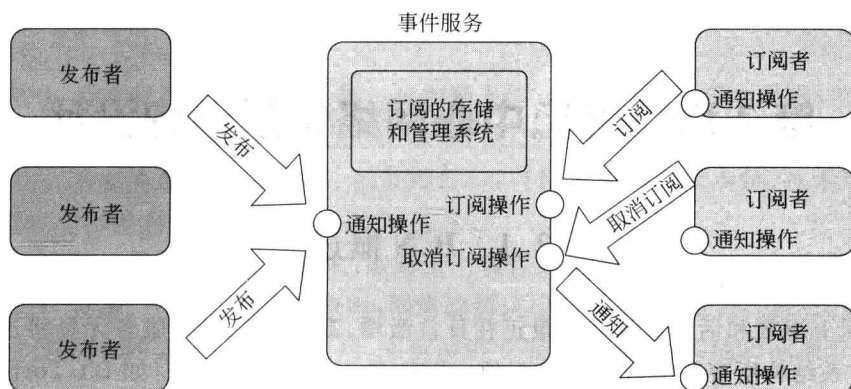


图 2-1 一个简单的发布/订阅系统结构

者在“事件服务”中通过“订阅操作”来注册其感兴趣的事件，而无须了解这些事件的有效源。相应地，订阅者可以通过“取消订阅操作”来取消订阅。这些订阅信息将被保存在“事件服务”中，但并不转发给发布者。发布者通过“发布操作”来产生事件。“事件服务”将事件传送给所有相关的订阅者，因此可以将“事件服务”看做订阅者的代理，每个符合订阅者兴趣需求的事件都将通知到订阅者。发布者也能通过“广告操作”来告知其将要发布的事件的特性。这些发布者所提供的信息将有利于：①“事件服务”调整自己可预期的事件流；②帮助订阅者了解新类型信息何时可用。

“事件服务”为发布者和订阅者提供了三类解耦。

(1) 空间解耦：相互作用的各方无须相互认识。发布者通过“事件服务”发布事件，订阅者通过“事件服务”获取事件。发布者通常不会持有订阅者，而且不知道这些订阅者中有多少在参与互动。同样，订阅者通常不会持有发布者，他们也不知道这些发布者中有多少是在参与互动，如图 2-2 所示。

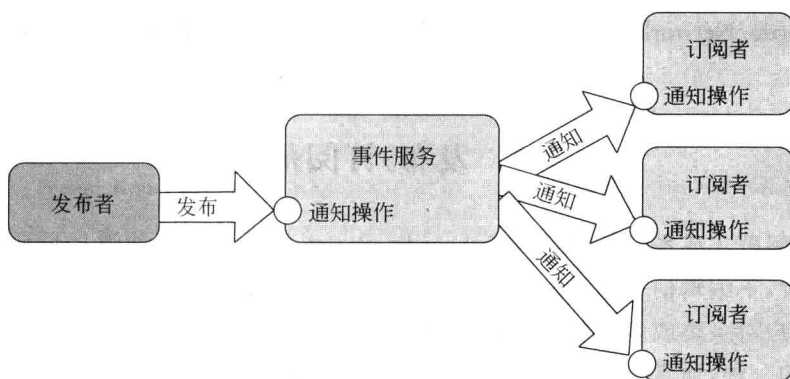


图 2-2 空间解耦

(2) 时间解耦：相互作用的各方并不需要在同一时间参与互动。特别是，发布者可能会发布一些事件，而订阅者却断开了链接。反之，订阅者可能会得到一些事件发布的通知，而该事件的原始发布者已断开链接，如图 2-3 所示。

(3) 同步解耦：发布者在产生事件时并不会被锁住，订阅者在执行一些并发活动时，可