



未来网络之内容中心网络的挑战和应用^{*}

张行功,牛童,郭宗明

(北京大学计算机科学技术研究所 北京 100871)

摘要:内容中心网络(CCN)是一种面向内容共享的通信架构。与传统基于IP地址的网络架构不一样,其可基于内容名字进行数据共享和交换,而不需要关心特定的物理地址和主机。采用发布/订阅传输模式和网络内置缓存,以存储换带宽,提高网络带宽利用效率。但该架构颠覆了现有互联网的基础,尚有很多问题亟待解决。重点介绍了内容中心网络的概念、特点、网络模型以及目前国际上的研究进展。尤其针对其面临的挑战和需要解决的关键问题进行了论述。同时,也列举了两个系统实现的样例,用以说明CCN的可行性和应用前景。

关键词:未来网络;内容中心网络;信息中心网络;数据命名网络;网络模型

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.08.004

Challenge and Implementation of Content-Centric Networking

Zhang Xinggong, Niu Tong, Guo Zongming

(Institute of Computer Science and Technology, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: CCN is communication architecture that takes content as a primitive, and retrieves content by name, not by host IP again. It builds on publish/subscribe and network-embedded caching with bandwidth-storage tradeoff. Since it is a clean-slate design, there are many issues to be explored. The concepts, characteristics, network model and recent advances of CCN were introduced. The challenges and some key issues CCN faced were also emphasized. In order to demonstrate the feasibility and implementations, two CCN system samples were also presented.

Key words: future internet, content-centric networking, information-centric networking, named data networking, network model

1 背景

1.1 技术发展背景

互联网兴起于20世纪六七十年代,对人类文明发展和社会进步起到了翻天覆地的作用。在当年冷战和核生存的背景下,互联网最初的设计原则是:联通性、顽健性和硬件资源共享,例如可远程使用昂贵的磁带机、读卡器或超级计算机。这需要在两台计算机之间建立对话连接,一台

主机作为服务提供者,另一方为服务使用者,这也称为“会话通信模型”。因此,现有互联网以IP为基础,需要指定源主机的IP地址、目标主机的IP地址,建立主机之间的通话。

但经过50多年的发展,互联网已经成为一个内容分享的平台,例如Web网络、视频流媒体和社交网络等。截至目前,互联网已经拥有6.9亿个网站,5000亿个网页。据Cisco VNI预测^[1],到2016年71%的互联网流量将是视

^{*} 国家高技术研究发展计划(“863”计划)“未来网络体系架构和创新环境”“内容寻址关键技术”基金资助项目(No.2013AA013504)

频数据。互联网已经转变为一个使用各种工具和移动终端进行信息分享的分布式系统。

同时,互联网用户行为也在发生变化^[2]。从传统关注服务器和主机 IP 地址,转变为只关心数据的内容是否符合要求。例如,传统的客户端和服务器的(client-server)通信模式,大多数已经被现在广泛使用的内容分发网络(content distribution network)或云服务取代。用户不再关心由哪一台主机提供服务,而是关心如何更快、更准确和更高效地获取数据。

因此,在这个“内容为王”的时代,传统互联网架构将面临下列挑战。

(1) 高效可扩展内容分发

根据预测,全球 IP 流量将以 23% 的速度增长,在 2017 年达到 120 EB/月。我国也在开展“宽带中国战略”,计划到 2015 年实现宽带接入用户 2.5 亿户,城市家庭平均接入带宽达到 20 Mbit/s 以上。这意味着一个 300 万人口的中等城市,其在核心网上汇聚的流量将达到 60 TB,将远远超过现有网络设备和服务器的处理能力。

(2) 海量普适计算设备

随着物联网、普适计算和泛在网络的融合发展,具备计算和上网能力的设备数量将远远超过目前。据估计,到 2020 年全球接入物联网的终端数量将达到 500 亿个,是目前电脑和手机数量的 10 倍以上。而现有 IPv4 地址已经面临枯竭,并且随着网络需求的不断发展,IP 网络从最初的简易层次结构经过无数次的修补,已经十分复杂繁琐,难以满足对当前网络高效服务的要求。

(3) 多宿主和多链接

多宿主网络,即一个设备具备多个网络接口并接入多个网络,已逐渐成为一种普遍现象。但由于 IP 地址既作为主机标识,又作为位置信息,很难较好地支持多宿主网络。用户并不关心使用哪个网卡,接入哪个网络,只关心能否高效、连续地获取数据,当一个连接中断后,系统能够自动切换到下一个网络继续传输数据,而无需重新建立连接。

(4) 移动性支持

在移动 IP 中,为了实现移动主机的可到达,采用了路由和重定向两种方法。但在快速移动、网络中断的场景下,基于会话模型的 IP 网络很难维持有效的端到端连接。同时,在两个移动节点之间建立网络连接,将带来巨大的管理、维护成本,降低网络资源利益效率。

内容中心网络(content-centric networking,CCN)^[3]的提

出,就是为了着力解决上述问题,对未来网络(future internet)进行改进和设计。

1.2 未来网络、内容中心网络、信息中心网络

未来网络是近年来一个非常热门的研究课题,它致力于解决未来数十年内,互联网运行和使用中可能存在的问题。相关研究分为两类:一些学者认为应该在现有网络的基础上进行研究,对网络各部分性能进行提升,通过对于现有框架中各个部分的全面提升,将现有的网络逐步演变为适合未来使用的网络;而另一种观点是,提出一个全新的、能够更直接地满足当前用户需求的网络模型,从而让网络体系有质的飞跃。持有第二个观点的专家学者提出了很多全新的网络概念,其中,内容中心网络是非常主流的一个体系结构。

内容中心网络,也称为信息中心网络(information-centric networking,ICN)或数据命名网络(named data networking,NDN),都是将信息对象作为构建网络的基础,分离信息的位置信息与内容识别,通过内容名字而不是主机 IP 地址获取数据。利用网络内置缓存提高传输效率,而不关心数据存储位置。通过发布/订阅模式请求数据,使供给者和消费者在空间、时间上解耦。这种新的网络架构专注于信息对象、信息属性和用户兴趣,采用“信息共享通信模型”,从而实现高效、可靠的信息分发。主机会话通信模型和信息共享通信模型如图 1 所示。

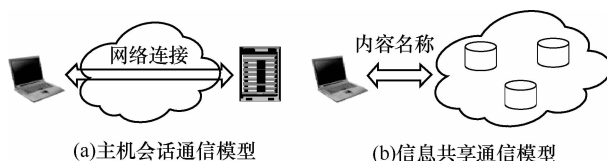


图 1 主机会话通信模型和信息共享通信模型

1.3 内容中心网络的发展历程

内容中心网络的概念很早就已经被提出。早在 21 世纪之初,Baccala 教授提出的 TRIAD^[4]模型便是一项接近于内容中心网络的设计,这篇文章也成为随后 ICN 工作非常重要的参考。TRIAD 使用了 DNS 并且将重点集中在基本的文件收发上,而其他很多方面(如安全措施)并没有提及。由于这个概念过于超前,在随后两三年的时间里,并没有很多重量级的文章出现。

在 TRIAD 工作提出的 5 年之后,DONA(data-oriented network architecture)^[5]结构由美国伯克利大学 RAD 实验室提出。DONA 最早彻底重组了现有网络结构,提出新的信息中心网络架构并定义了全面、详细的设计细节。它对网



络命名系统和名字解析机制做了重新设计,替代现有的DNS,使用扁平结构、自认证(self-certifying)的名字来命名网络中的实体,依靠解析处理器(RH)完成名字的解析,解析过程通过 find 和 register 两类任播原语的使用完成。RH也可以实现数据缓存功能。同样地,由于 DONA 的超前思想,这项设计并没有立刻引起很多人的注意。

直到 2009 年 Jacobson V 教授等人提出 CCN^[3],DONA 才引起了非常大的反响。随后以加州大学洛杉矶分校 Zhang L X 团队为首开展了 NDN 的研究项目,该项目由 NSF FIA 资助,开始于 2010 年。NDN 的提出是为了改变当前互联网 host-host 通信范例,使用数据名字而不是 IP 地址进行数据传输,让数据本身成为互联网架构中的核心要素。与此同时,美国和欧洲各国都陆续开展了基于信息中心网络模型的项目研究,4WARD^[6]、PSIRP/PURSUIT^[7]、SAIL and COMET 就是其中非常具有代表性的项目。

PSIRP (publish-subscribe internet routing paradigm)^[7]是芬兰赫尔辛基科技大学和赫尔辛基信息技术研究院等的研究项目,由欧盟 FP7 资助,于 2008 年 1 月开展,2010 年 9 月结束。PSIRP 的目的是建立一个以信息为中心的发布—订阅通信范例取代以主机为中心的发送—接收通信模式。PSIRP 改变路由和转发机制,完全基于信息的概念进行网络运作。信息由 identifiers 标识,通过 rendezvous 直接寻址信息而不是物理终端。在 PSIRP 架构中甚至可以取消 IP 地址,实现对现有 Internet 的彻底改造。同样由欧盟 FP7 资助的,于 2010 年 9 月开始的 PURSUIT 项目将基于 PSIRP 继续深入研究。

欧盟 FP7 资助的 4WARD 项目的开展时间与 PSIRP 项目接近。4WARD 的目标是研发新一代可靠的、互相协作的无线和有线网络技术。4WARD 项目的 WP6 工作组设计了一个以信息为中心的网络架构,即 NetInf (network of information)^[6]。NetInf 主要的研究内容包括信息的命名、基于扁平结构的名字解析和为了快速可靠获取信息的缓存技术。NetInf 还关注高层信息模型的建立。基于这种简单但强大的信息模型,NetInf 实现了扩展的标识与位置分离,即存储对象与位置的分离。

尽管在若干年前 ICN 并没有受到很多人的重视,但目前确实正在逐步成为未来网络研究中的一个热点。由于内容中心网络研究需要彻底改变现有的 IP 层次网络的体系结构,ICN 与传统 IP 网络之间在相当多的方面都非常不同。

2 内容中心网络

2.1 内容中心网络特点

关于未来网络的研究,目前有各样的概念和结构模型提出来。总体来说,内容中心网络与传统的网络有着以下几点明显的不同。

(1) 以信息而非 IP 为中心的网络结构

传统的 IP 网络有很长的探索阶段,其在设计之初适应用户少、设备昂贵、应用简单、流量小等特点,确立了简洁清晰的 IP“细腰”网络结构,这些对于当时的网络使用需求是非常合适的。不过随着网络规模和提供的应用类型飞速增长,IP 网络架构也因此逐步添加了各种功能来满足用户需求,原本简洁干净的层次架构已经变得越来越复杂。图 2 显示了传统 IP 网络与内容中心网络的“细腰”对象的不同。

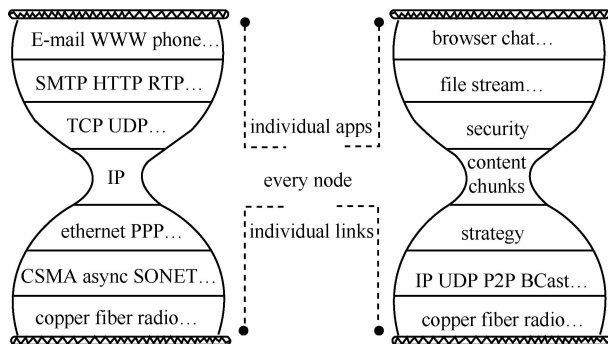


图 2 传统 IP 网络与内容中心网络的“细腰”对象有所不同

内容中心网络将原本的 IP 层取代为内容标识层,在设计上,“细腰”的位置又重新变为一个简单的结构,这样新的网络层次结构能够比目前的复式结构更高效地运转。

(2) 命名方式

内容中心网络使用信息对象层取代 IP 层在现有网络结构中的位置。相应地,相对于传统网络为访问接口赋予位置标识(IP 地址),内容中心网络利用信息对象的名字进行寻址。为了保证内容名字的唯一性、一致性和安全性,目前常见的各个概念系统都设计了不同的命名规则。

(3) 使用发布/订阅模式的拉取信息

发布/订阅(Pub/Sub)模型自创立以来,已经被众多信息服务系统所采用。Pub/Sub 模型中,信息提供者可以通过信息发布,共享其拥有的内容。信息消费者可以对某一个特定的信息发出请求。该模型可使发布方和请求方在时间和空间上解耦合。一方面,信息提供者和信息消费者不需

要在同一时间出现,另一方面,信息供求双方并不需要知道对方的位置就能完成信息传递。这种特性在很大程度上恰好满足了内容中心网络的特点:将信息内容与存储位置分离开来。很多广为人知的内容中心网络模型,都是基于 Pub/Sub 模型来设计的。如内容中心网络所使用的 register 与 interest 操作;DONA 使用的 register 与 find 操作;Curling 同时使用 register 与 publish 用于发布,使用 consume 操作用于请求。

(4)网络内置缓存机制

内容中心网络与传统网络的另一个不同点是,它充分利用了网络设备存储容量大、存储代价很小的优势,而适当地运用缓存机制可以使得网络性能进一步提升。

在 ICN 的设计中,对缓存机制基本上做了如下处理:当请求消息被路由到某个节点上时,如果这个节点有符合条件的内容备份,那么内容将被立即返回,请求的路由过程也就结束了;如果这个节点没有符合条件的内容备份,那么这个节点就会向下一个节点继续传送请求,并且在这个内容数据返回时对内容进行缓存。

(5)基于信息对象的安全机制

传统 IP 网络通过主机—主机链接进行数据传输,所以安全机制是基于路径的。在 ICN 里,安全机制是针对信息内容的。对于每个信息对象,发布者进行签名或加密,接收者对签名进行认证,判断信息的有效性。

2.2 系统架构和部件

在上文中提到的信息中心网络结构的一些特点的基础上,可以总结出一个通用的信息中心网络架构模型,如图3所示。

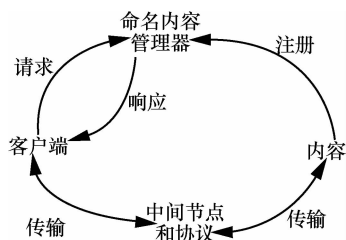


图3 通用 ICN 系统的架构模型

首先,模型包括用户节点和内容信息,这二者构成了网络中一个基本的供求关系模型。用户需要通过某种方式获取网络中用内容名字标识的内容,这里需要两方面的辅助:一方面,需要一个映射机制将内容名称转化为相应的拓扑位置信息,以保证内容信息与拓扑位置分离;另一方面,用户需要通过某一种形式进行数据传输。名称映射与

数据传输可以在同一个媒介中进行。通过这两个媒介的辅助,用户可以完成获取内容的一次交互,形成基本的架构模型。

2.3 主要问题

上文描述了信息中心网络的特点和基于信息中心网络的一个通用的系统架构。这个通用框架还停留在概念和框架的讨论阶段,很多方面的研究还不成熟。对于信息中心网络的框架,在未来还会有很多课题值得继续探究^[8]。

(1)内容安全与隐私保护

如前文所述,ICN 安全机制是针对信息内容本身的,或者针对信息设计密钥或者在信息命名方面增加安全机制。相对来说,信息隐私保护与 ICN 框架设计联系得更加紧密。

在现有的网络中,客户端可以在自身和信息发布者之间的通路上建立安全机制,通过这种方式,该信息的这次分享过程只有发布和接收两端知道。但是对于 ICN 的设计,发布信息是网络中所有节点可见的,网络中的信息无法在 ICN 中隐藏。因此,需要在隐私保护机制上加以改进,最终实现在存在网络缓存的情况下,双方仍然能够对传递的链接进行安全保护,以达到隐私保护的目的。

(2)服务规模与可扩展性

目前互联网上信息对象数目巨大,并且仍在以越来越快的速度增加。将传统的主机通信改为直接面向信息对象的服务,对于可扩展性的要求会进一步提高。对于信息中心网络而言,比较关键的一点在于,在信息对象名称与名字路由的过程中如何做到高效。

由于网络用户与信息对象的数目非常巨大,如果将信息对象的路由表记录下来,那么这个路由表的规模会非常庞大而无法应用于实际系统的运行之中。在系统框架的设计中,缩减路由表项的数目规模需要非常注意。

另外,为了支持网络的可移动性,信息需要及时地传递并更新,这也需要在网络节点之间进行频繁的信息传递。在大规模网络中,如何有效地处理这些信息,也是一个需要注意的问题。

(3)路由与传输

由于信息中心网络中的对象名称与位置无关,所以传统网络中使用的基于拓扑的路由方式并不能直接延续使用。在信息中心网络,比较常见的路由方式都是基于对象名称的。可以根据内容名称的解析步骤,将内容路由的过程分为以下两类。



- 将名称解析与数据传输分开进行。在这类方法中,需要有一个专门的解析系统,将内容名称映射到拓扑地址。然后按照目标地址,开始请求数据的路由过程。
- 直接基于内容名字进行路由和数据传输,没有专门的名称解析系统。这种设计可以简化传输流程,将路由与传输的过程统一起来。

无论采用哪一种路由方式,是否彻底抛弃 IP 地址的使用,取代 IP 地址连接的方式能否高效实用,都是这一方向研究的关键。

3 安全机制

对于信息中心网络而言,信息对象的命名方式与信息安全机制的结合是一个很大的挑战。安全机制的研究方向从路径保护转变为直接面向内容的保护。因此内容名称必须具备唯一性、一致性和可验证性。

以 NetInf 的命名为例,其命名机制包括了名称一致性、可认证、拥有者身份验证以及拥有者标识等指标。其中,名称的一致性要求命名方式能够保证信息内容、内容所有者或所有组织机构等信息能够持续有效。而将可认证、拥有者身份验证以及拥有者标识分离,使信息拥有者既可以对其他用户隐藏身份,又可以区别于其他的用户。

PSIRP 在命名方面使用了两个不同的命名空间:名称标识和路径标识。名称标识相当于 NetInf 与 CCN 中对于信息对象的命名;路径标识由名称标识解析而来,用来帮助 PSIRP 系统进行数据传输路径的选择。这两个命名空间都是扁平的,使用身份识别等密钥保证安全。

DONA 的命名是 P:L 的格式,其中 P 代表信息拥有者的基本属性,L 代表信息对象的一些标签属性。基本属性的命名空间是扁平且全球唯一的,这里面包含了一段公钥的散列函数来辅助安全机制。

内容中心网络采用层次化的命名机制,从而可利用前缀汇聚方式更好地支持路由。内容名称对于所有发布者都是全局唯一的。在安全机制方面,CCN 包含可读和不可读的两部分。在不可读部分使用公共密钥进行加密和身份验证。

4 路由机制

现有信息中心网络路由主要包含两类:名称解析方式和名字路由方式。下面介绍 4 种主要的 ICN 路由机制设计^[9]。

NetInf 采用了基于扁平结构的名称解析,利用名称解析服务系统将内容名字映射到一个拓扑位置。所有需要发布的内容都需要向名称解析系统进行注册。如果有一个用户需要获取某个内容,向名称解析系统发送包含内容名称的请求,并等待回应的内容位置信息。之后通过获得的内容位置信息建立连接。NetInf 结构的路由过程如图 4 所示。

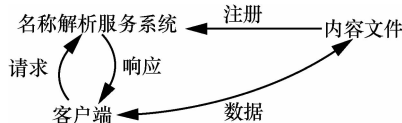


图 4 NetInf 结构的路由过程示意

NetInf 的设计实现了扩展的标识与位置分离,即存储对象与位置的分离。不过在获取内容的过程中,它仍然采用了 IP 地址连接的形式,并没有彻底摆脱 IP 网络。

PSIRP 的路由过程与 NetInf 比较相近。PSIRP 的路由过程如图 5 所示。它同样使用了名称解析服务系统,接收所有发布内容的注册信息。并通过一个集结点,将用户的请求与注册信息进行匹配。匹配成功之后,用户接收到一个传输 ID 的返回。一个传输 ID 代表了网络中的一条路径,用户根据接收到的路径与内容建立链接,获取所需要的内容。在 PSIRP 架构中做到了可以取消 IP 地址,实现对现有 Internet 的彻底改造。但是取消 IP 地址的代价是需要记录用户到内容的所有路径,而这些路径的数量非常庞大,所以这个设计还需要进一步改进。

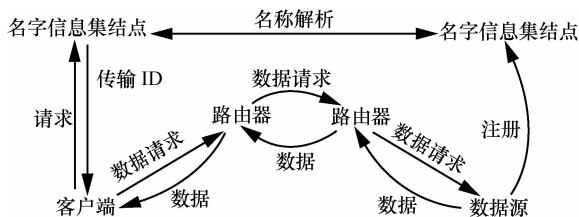


图 5 PSIRP 的路由过程示意

DONA 对网络命名系统和名字解析机制进行了重新设计,替代现有的 DNS。使用扁平结构、自认证的名字来命名网络中的实体,依靠解析处理器完成名字的解析,解析过程通过 find 和 register 两类任播原语的使用完成。但是直接基于扁平化名字的路由,会导致路由表急剧膨胀,需要进一步地改进。DONA 路由过程如图 6 所示。

CCN 结构采用了层次化的命名体系,使用前缀最长匹配的方式对内容名字进行解析。如果节点路由器存有请求

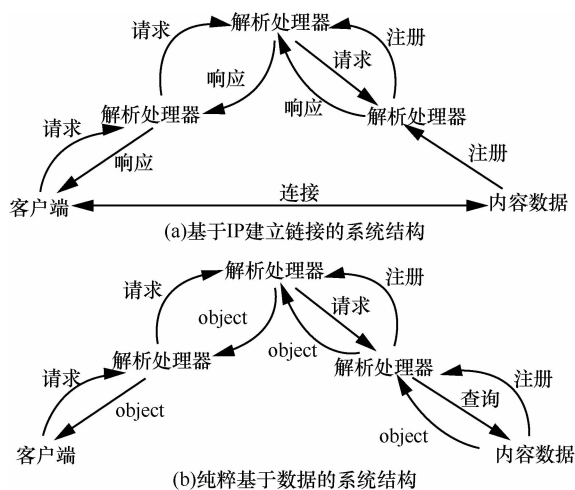


图6 DONA路由过程示意

的内容,则立即返回,若没有相应内容,则通过匹配将请求继续发到下一个路由器节点,直到请求被满足。在CCN系统中,名字路由和内容传输的过程是合二为一的,而且这一设计完全抛开了IP网络的概念。但层次化的命名方式与网络拓扑无关,同样也会导致路由表膨胀。CCN路由过程如图7所示。

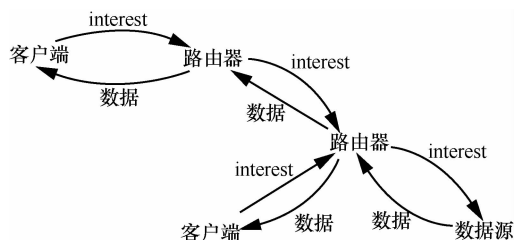


图7 CCN路由过程示意

5 缓存机制

缓存机制是所有信息中心网络中的一个基本的部件,也是信息中心网络有别于其他网络的标志之一。这里,缓存不包括长期存储的内容。路由器会随时存储或删除符合要求信息,以确保缓存机制高效运行。

在NetInf中,在两个过程中会使用到缓存的数据:其一是在名称解析的过程中,由于备份在本地注册或搜索的过程中找到了相应的备份;另外一种则是在传输协议中,由于NetInf传输协议是缓存感知的,于是本地符合请求的数据备份会被发现并返回给请求者。

在CCN中,名称解析和数据传输协议的过程被整合在了一起,路由器向发布者发送某数据的请求,如果在请求传递过程中发现数据的缓存备份,则直接获取这个数据

备份。另外,由于CCN将整个信息对象作为一个整体的数据分组,所以在面对大文件时,CCN可能只能将文件的一部分进行缓存。

在PSIRP中,缓存的时机是在发布者与请求者的信息在集合点匹配成功时。信息名称和得到的路径ID都会被缓存一段时间。

在DONA中,缓存机制也存在于网络节点中,如果有符合条件的缓存备份满足数据请求,那么这份数据就会立刻返回给请求者。

总的来说,上述的4个框架的缓存机制比较类似。差别在于缓存的功能各不相同,这与各自设计的路由机制相关。

6 信息中心网络系统和应用

目前虽然关于信息中心网络的研究有很多,不过大部分的研究都还仅停留在概念模型的提出阶段,并没有太多实际的系统和应用场景系统。下面介绍两个可实际运行的信息中心网络系统:CCNx和MobileCCN。

6.1 CCNx

(1) 系统结构

CCNx系统是PARC研究小组基于CCN概念模型所开发的开源项目,其项目结构如图8所示。CCN Demon,又称CCND,是CCNx系统最基本也是最底层的封装实现,提供Socket通信连接的接口。在中间层次中,系统提供了C和Java两种语言实现的基于CCN结构的函数。系统的顶层是C和Java语言开发的各类API,C语言实现的API又称CCNR。在Java实现CCNx底层功能的基础上,系统还提供了Android系统封装的简易例程。

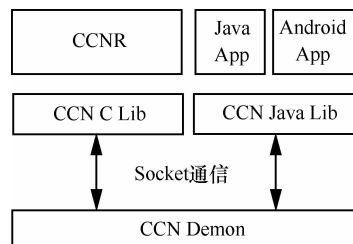


图8 CCNx的基本系统结构

(2) 内部接口

在CCNx最底层的系统中,提供了创建、启动CCNx程序的基本函数ccn_create和ccn_connect以及对CCN中interest消息进行处理的操作函数ccn_set_interest_filter。除此之外,系统还提供了ccn_express_interest函数来发送interest消息,并对相应的content的函数进行注册。另外,



ccn_put 是底层实现的用于发送数据的函数。

在 Lib 函数到 App 接口中,主要围绕一个基本的模型 Get(ID)和 Put(ID)的形式展开,提供的接口只与内容名字标识有关,与内容位置无关。CCNx 系统提供了 ccn_get 函数用于发送 interest 消息和调用 ccn_run 阻塞的等待数据,另外,ccn_fetch 可以用于分段式获取数据。

(3)外部接口

无论是 CCN C Lib 还是 CCN Java Lib 模块,最终都在顶层封装了命令行的各种操作功能,显示 CCN 设计中的各项特性。使用 cndstart、cndstop 可以启动、结束 CCND 后台服务;ccndc 命令可以对当前节点的路由表进行操作;CCNR 相关的命令可以对 C App 中配置文件和记录相关的内容进行操作;ccngetfile、ccnputfile 是实现 CCNx 系统文件请求和发布的命令;CCNC 和 CCNChat 在现有 CCNx 系统的基础上,实现了用户之间的简易的聊天室功能。

6.2 MobileCCN

6.2.1 系统概述

MobileCCN^[10]是北京大学 VIP 实验室^[11]开发的一个移动内容中心网络原型系统。其目的是验证信息中心网络概念,找到一个合适的应用场景,并将 CCN 的设计思想应用进来。在国家“863”项目“未来网络体系架构和创新环境”“内容寻址协议”课题的资助下,北京大学完成了第一个基于移动智能手机的内容中心网络原型系统。

该系统提出一种无线自组织的内容中心网络架构,如图 9 所示,利用智能手机的 Wi-Fi 无线接口,构建一个面向视频共享的内容中心网络。通过无线终端的 Wi-Fi 接口、内置缓存和无 IP 组网,实现移动设备之间高效的数据分享。

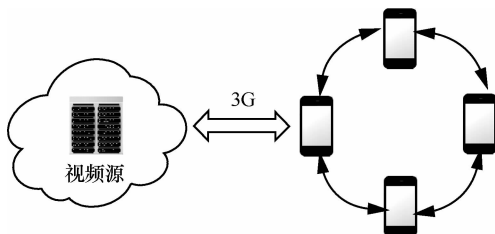


图 9 MobileCCN:无线自组织内容中心网络

6.2.2 系统架构

图 10 是定义的 MobileCCN 移动共享系统的框架。系统主要包括 3 个部分的模块:缓存存储模块、兴趣模块以及路由模块。缓存存储模块负责管理系统中涉及缓存的操作。由于在内容中心网络下,数据分组的生命周期不再是 IP 网络中一次主机—主机会话的周期,同样内容的数据分

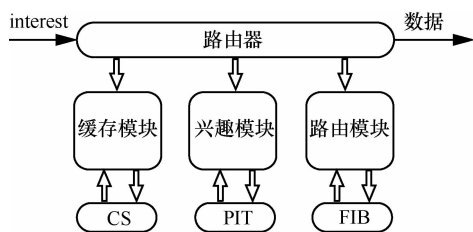


图 10 MobileCCN 系统结构

组可以在不同的请求中被反复使用,所以原则上缓存策略是使得所有的数据分组被保存尽可能久的时间。

兴趣模块主要负责涉及 PIT 表操作的内容。在系统接收到 interest 消息后,若缓存中没有符合要求的数据内容,则将与 PIT 中现有的请求不重复的请求表项添加上去,返回的数据信息会根据 PIT 表中的记载,原路返回给发送请求的节点。

路由模块负责广播本地内容路由器中的 interest 消息同时接收其他路由器广播而来的 interest 消息,并通过接收到的消息对本地的 FIB 进行操作。除了根据 interest 消息的转发添加 FIB 表项外,会对 FIB 的内容进行定期更新,清除无效的路径信息。

6.2.3 路由传输协议

(1)局域广播

MobileCCN 中的路由表如图 11 所示。当一个节点想要分享某个内容时,它首先通过设置这一内容名称与节点本身的链接将这一内容添加到自己的 FIB 中。之后,节点会定期广播自己的 FIB,其他节点接收到新的 FIB 后会根据情况更新各自的 FIB,这样就通过局域广播的方式完成了路由表的传播。

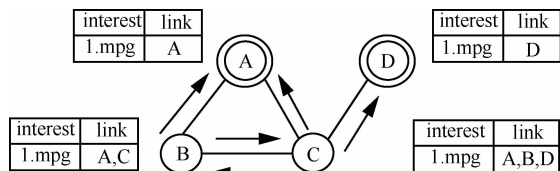


图 11 MobileCCN 的路由表

(2)FIB 更新机制

在移动设备的无线网络中,移动设备组成的网络节点可能会随时断开链接退出网络或改变设备的位置。在路由表表项中引入过期时间的记录,每隔固定的时间都会对路由表中的内容进行统一清理。若节点在到达过期时间后仍没有收到关于某条表项中某个源地址发来的更新确认,那么这条记录就会从表中删除。将过期时间的周期定位为定

时广播周期的 2~3 倍。

(3) 循环路由避免

如果在上述的路由表中存在节点 B 和 C, 并且两个节点中都存在某个内容, B 中这一内容的链接指向 C, 而与此同时 C 中这一内容的链接指向 B。那么在 C 收到 interest 消息之后, 它会将 interest 消息转发给 B 和 D, 这时由于 B 中这一内容的表项指向 C, B 又会将 interest 消息重新转发给 C, 这样就会形成循环路由。为了解决这一问题, 又在路由表中增加了路径跳数的计数器。计数器记录本地的路由器节点到内容源路由器的途中需要经过多少跳才能连通, 是对路径长短的一种测量。路由器在发布内容名称添加到本地路由表时, 跳数计数器上面记录为零, 在路由器广播自己的路由表时, 每次多经过一跳, 跳数计数器也会相应地加一, 这样在路由表再次回到路由器节点时, 通过跳数比较可以发现信息已经被更新, 从而停止无意义的循环路由。通过跳数计数器, 内容的请求者同样可以比较出它所请求的内容最近的源节点的位置, 优化了路由过程。

6.2.4 项目实现

MobileCCN 系统实现如图 12 所示, 其基于 CCNx 平台进一步开发 Android App 实现的。在现阶段的发展中, 除了实现无线自组织的网络路由以及局域广播之外, 系统还实现了网络文件共享的功能。

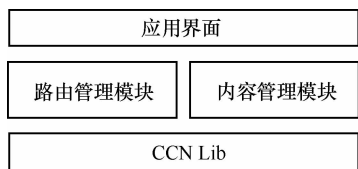


图 12 MobileCCN 系统模块

如图 12 所示, 在现有的 CCN Lib 库的基础上, MobileCCN 主要对两方面的操作进行封装: 其一是关于文件传输的调用封装, 其二是对于用于记录共享文件的 FIB 操作的封装。其中, 文件传输的调用包括封装 CCNx 提供的 putfile、getfile 的函数操作, 而 FIB 的操作包括 CCNx 提供的与系统中的配置文件进行交互, 还有定时广播 FIB 等功能。

进入系统选择相应的文件共享或文件下载选项, 系统就会分别调用 FIB 操作和文件操作, 完成 MobileCCN 设计中的整个流程。

参考文献

1 Cisco. Cisco visual networking index (VNI): global IP traffic

forecast, 2012–2017. <http://www.cisco.com>, 2013

- 2 Greenemeier L. Content is king: can researchers design an information-centric internet? <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=internet-infrastructure-information-redesign>, 2012
- 3 Jacobson V, Smetters D K, Thornton J D, *et al.* Networking named content. Proceedings of CoNEXT, Rome, Italy, 2009
- 4 Gritter M, Cheriton D R. TRIAD: a new next-generation internet architecture. <http://www-dsg.stanford.edu/triad/>, 2000
- 5 Koponen T, Chawla M, Chun B-G, *et al.* A data-oriented (and beyond) network architecture. Proceedings of SIGCOMM, Kyoto, Japan, 2007
- 6 Ahlgren B, D'Ambrosio M, Dannewitz C, *et al.* Design considerations for a network of information. Proceedings of ReArch'08: Re-Architecting the Internet, Madrid, Spain, 2008
- 7 Jokela P, Zahemszky A, Rothenberg C E, *et al.* LIPSIN: line speed publish/subscribe inter-networking. Proceedings of the ACM SIGCOMM 2009 Conference on Data Communication, New York, NY, USA, 2009: 195~206
- 8 Ghodsi A, Shenker S, Koponen T, *et al.* Information-centric networking: seeing the forest for the trees. Proceedings of the 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks, Cambridge, Massachusetts, 2011
- 9 Ahlgren B, Dannewitz C, Imbrenda C, *et al.* A survey of information-centric networking. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(7): 26~36
- 10 Yao S Y, Zhang X G, Lao F, *et al.* MobileCCN: wireless Ad-Hoc content-centric networks over smartphone. Proceedings of ACM International Conference on Future Internet Tech, Beijing, China, 2013
- 11 Zhang X G. MobileCCN-VIP lab of Peking University. http://www.icst.pku.edu.cn/vip/zh-cn/page/content_1554.htm, 2013

[作者简介]



张行功, 男, 博士, 北京大学副研究员, 主要研究方向为多媒体网络、视频通信、动态 HTTP 流媒体和内容中心网络等。从 1998 年开始从事数字视频和内容分发网络研究工作, 发表国际学术论文多篇, 获国家科学技术进步奖二等奖和教育部一等奖各一项, 科研成果在多个行业得到广泛应用。

牛童, 女, 北京大学硕士研究生, 主要研究方向为未来网络、内容中心网络。

郭宗明, 男, 博士, 北京大学研究员、博士生导师, 主要研究方向为视频处理、移动多媒体网络。

(收稿日期: 2013-08-01)