



以内容为中心的未来通信网络研究综述^{*}

胡 骞,武穆清,郭 嵩

(北京邮电大学网络体系构建与融合北京市重点实验室 北京 100876)

摘要

随着当前互联网诸多弊端的暴露,近年来学术界对未来网络展开了广泛深入的研究。其中,建立以内容为中心的网络(content-oriented network, CON)是未来网络研究中较有代表性的研究思路。CON 打破了传统的“主机—主机”通信模式,将内容置于首要地位,引起学术界广泛关注。本文将结合目前国际上 CON 研究的现状,综述 CON 中的关键技术,介绍 CON 的研究背景和 CON 中涉及的命名、路由等关键技术,预测未来 CON 的研究热点和发展方向。

关键词 内容中心网络;网络体系架构;未来网络

1 引言

当今互联网的设计理念可以上溯至 20 世纪六七十年代。互联网刚刚诞生时,计算机的硬件成本昂贵,互联网最初的目标是通过网络的互联互通,实现硬件资源的共享。因此,通信的主要目的是连接两台主机,在通信过程中必须明确通信双方的主机位置。IP(互联网协议)通过在数据分组中封装源 IP 地址和宿 IP 地址,实现了对主机位置的标识,很好地满足了当时的需求。然而,随着信息技术的迅速发展,计算机的硬件成本大幅度降低,人们对硬件资源共享的需求已经淡化,更多地关注互联网的内容服务。在这种前提下,人们并不关心提供内容信息的是哪台计算机,而只关心获取内容的速度以及内容的可靠性和安全性。然而目前互联网中广泛应用的 TCP/IP 仍然通过“主机—主机”的方式进行通信,已经不能适应用户需求的变化。随着互联网的快速发展,各互联网站点的用户访问量

量激增,导致了网站出口带宽的瓶颈效应,也降低了远离用户访问的响应速度,而且 IP 地址既代表拓扑位置又是节点的标识,这种语义的过载也会带来很多问题。例如,由于公司的搬迁,可能会造成服务器无法访问,必须到相关机构申请新的 IP 地址,并到域名注册的网站重新将域名与新的 IP 地址绑定。

目前广泛应用的端到端(peer-to-peer, P2P)技术和内容分发网络(content delivery network, CDN)技术,在一定程度上缓解了用户对“内容/信息共享”的需求。端到端技术允许用户检索内容文件,并通过端到端覆盖网络获取内容;内容分发网络根据用户需要获取的内容,把用户重定向到一个存储着相应内容的比较近的服务器上。但是,由于目前的互联网本身依赖于“主机—主机”的通信模式,解决方案往往是在网络的上层建立覆盖网络,这种“以内容为中心的应用/服务需求”与“主机—主机的通信模式”之间的不匹配导致通信的低效率和高成本。而且内容分发网络层的内容服务器选择与 IP 层的路由优化是一种非合作博弈,这种模式会大大降低内容的分发效率^[1]。如果想从根

^{*} 网络体系构建与融合北京市重点实验室主任基金资助项目(No. 2011ZJ001)

本上解决这个问题,让网络的体系架构与需求相适应,就必须对网络架构进行重新的思考和定义,建立一个全新的网络架构。

针对上述问题,国际上主流的研究思路是建立以内容为中心的网络。这是一种全新的网络架构,将内容与主机在网络层面区分开来,内容不再依托于特定的主机。与端到端网络等在应用层实现内容分发的覆盖网络技术相比,CON的思路真正打破了“主机—主机”通信模式的束缚,是一种革命性的概念。

本文结合具体的实例,对CON中涉及的关键技术进行介绍和总结,然后对其研究热点和发展方向进行预测。

以内容为中心的网络与传统IP网络的最大区别在于,前者是基于内容的网络,一般并不关心内容的来源;而后者利用<源IP地址,宿IP地址,源端口,宿端口>进行端到端通信,内容必须从特定的主机中获取。

2 关键技术

在以内容为中心的网络中,如何对内容进行标识和定位,是研究中最重要两个问题。前者是内容的命名问题,后者是基于内容命名的路由问题。下面对以内容为中心的网络中的命名和路由两项关键技术进行详细阐述,然后对缓存、安全等其他关键技术进行简要介绍。

2.1 命名

当前互联网存在一个严重的问题就是IP地址语义过载,IP地址既代表了节点在网络中的拓扑位置,又是节点的标识。IP地址的语义过载带来移动性、扩展性以及安全性等诸多问题,因此将位置与标识分离已成为未来网络重点研究的问题之一^[2]。在以内容为中心的网络架构中,网络的核心从位置变成内容,通信的过程不再基于“主机—主机”,而是“请求内容—获得内容”的过程,由于这一基本特性,决定了位置和标识分离是必须要实现的技术。在当前各国科研机构提出的以内容为中心的网络架构中,命名技术都是针对内容命名的,这样就可以解决语义过载的问题,除此以外也在其他方面有了很大的改进。

以内容为中心的网络的命名技术可以分为分级命名和扁平化命名两种,下面分别进行叙述。

2.1.1 分级命名

在各个国际组织提出的以内容为中心的网络架构中,命名的数据—网络(named data networking,NDN^[3,4])和TRAI^[5]采用的就是分级命名机制。它们均采用一种类

似于URL(uniform resource locator)的命名方式,比如一个中国移动的用户可以被命名为/cmcc/location/user。这种命名方式带来了很多好处,首先内容网络是以内容为中心的,对内容的命名是一个核心的问题,采用上述分级命名机制时,对网络中的应用或者服务命名时就可以借用现有网络中的URL格式直接对其命名,大大降低了规范命名的工作量;其次,采用分级方式的命名机制可以通过内容聚合技术来减轻路由工作负担,这是非常必要的,因为网络中内容的数量庞大^[6],会给基于内容的路由带来巨大的负载,会大大降低路由的工作效率。而从上述中国移动的命名例子中不难看出,在这种命名格式中,分级是可以根据所在范围来定义的,在这里,第一级是/cmcc,即中国移动,第二级表示的是该用户所在地,最后一级是该用户的标识。在路由过程中可以根据不同的需求进行不同的聚合。例如,若仅在中国移动网络内通信,那么可以首先通过/cmcc/location进行路由,之后再寻找某一用户,这样核心路由器中路由表规模就会大大降低。但是,这种命名方式也有一些弊端。对未来网络的需求之一是要很好地支持移动性,即当某一内容改变了位置,同样可以获取该内容而不需要网络中复杂的交互,这也是位置与标识分离最终实现的目标之一,而从上述命名例子中可以发现,这种命名是跟提供者有一定联系的,如果内容的提供者发生了变更,为了保证命名的永久性而不改变命名,这样就会造成命名与实际无联系,容易误导用户或者使用户无法通过提供者这一线索找到该内容。

2.1.2 扁平化命名

与NDN不同的是,以数据为中心的网络(data-oriented network architecture,DONA^[7])、信息网络(network of information,NetInf^[8])和发布/订阅模式互联网路由选择范例(publish/subscribe internet routing paradigm,PSIRP^[9,10])等采用扁平化命名的机制,利用内容内部属性来定义标识。在以数据为中心的网络中,提出了一种<P:L>格式的标识来定义一个内容,其中P是一个公共密钥的散列,L是一个全局唯一的标识;信息网络中提出了一种IO-DO模式的命名机制,一个信息对象(information object,IO)表示一种事物的所有相关集合,而不是特定的某种事物,一个数据对象(data object,DO)表示一个特定的信息对象,比如一个音乐可以定义为信息对象,不需要确定它的编码方式、大小等细节特性,只需确定它的名字就可以确定这个信息对象,然后在信息网络中通过这个标识查找这个信息对象,



而数据对象是对这个音乐进行特定编码(例如 MP3)的对象,特定编码对象的不同副本都可以归类为相同的数据对象。在发布/订阅模式互联网路由选择范例项目里,根据其网络体系架构特点,提出了 4 种标识,分别为应用层标识(application level identifier, AID)、汇聚标识(rendezvous identifier, RID)、范围标识(scope identifier, SID)和转发标识(forwarding identifiers, FID),其中汇聚标识和范围标识共同作用标识一个内容,其具体格式类似于 CON 的<P:L>。

从上述介绍可以看出,扁平化命名机制在永久性命名和安全性方面存在优势。第一,由于命名的扁平化使得内容的命名是一个全局唯一的标识,满足了未来网络对命名的永久性要求,而且命名原则是根据内容数据特性以及所属领域规定的,用户可以通过某种解析机制来获取相应内容,这样不会出现因提供者变更而无法获得内容的情况;第二,上述的 3 种命名机制都具有自我验证的功能,大大提高了内容的可靠性,而且这种验证方式不依赖于网络,只需获得可靠提供者的公共密钥就可以对内容进行验证,验证过程伴随转发进行,在保证网络效率的同时提高了可靠性。

但是这种命名机制随着命名空间的膨胀也会带来巨大的问题,扁平化的命名很难实现聚合,这样就会使路由负担越来越大,需要保存的条目越来越多,这样势必会提高对路由器存储能力和处理能力的要求。除此以外,如前面提到的,这样的命名不是用户可用的,需要适当的解析机制来实现用户请求内容、获取内容的过程,那么就同样

需要一个高效的命名解析机制来完成上述功能。

2.2 路由

在传统网络中,路由基于 IP 技术来实现,通过路由协议计算节点之间的最优路径,建立 IP 转发表。以内容为中心的网路的核心是以内容为中心,那么应当具备基于名字对内容进行定位的能力,即基于名字的路由。端到端技术是在现有的 IP 网络上建立覆盖网络,实现内容的检索和获取,已经隐含了向以内容为中心的网络架构转变的设计思路,其路由的研究也有可以借鉴的地方。这里,沿用端到端路由研究中常见的分类方法,根据是否存在维持以内容为中心的网络节点路由表的拓扑结构,将其网络路由划分为结构化路由和非结构化路由。

2.2.1 非结构化的路由

非结构化的路由中,路由通告基于泛洪机制发送,传统的 IP 网络就是采用了这样的方式,因此,非结构化的路由可以较好地与 IP 兼容。一个典型的例子就是命名的数据—网络。命名的数据—网络的路由在实现上可以完全与 IP 兼容,仅需要对 IP 网络中的路由协议进行简单的改动,就可以适用于以内容为中心的网络。在 NDN+IP 的网络中,基于名字的路由机制和基于 IP 的路由机制可以互不影响地运行。具体的实现方式描述如下。

图 1 中 A、B、F、E 节点是命名的数据—网络节点,同时支持命名的数据—网络和 IP;C、D 节点是传统的路由节点,仅支持 IP。图中的两个数据源分别通过命名的数据—网络广播向 A、B 节点通告它们各自能够提供的内容。A 和 B 节点通过泛洪机制将内容发布,与开放式最短路径优

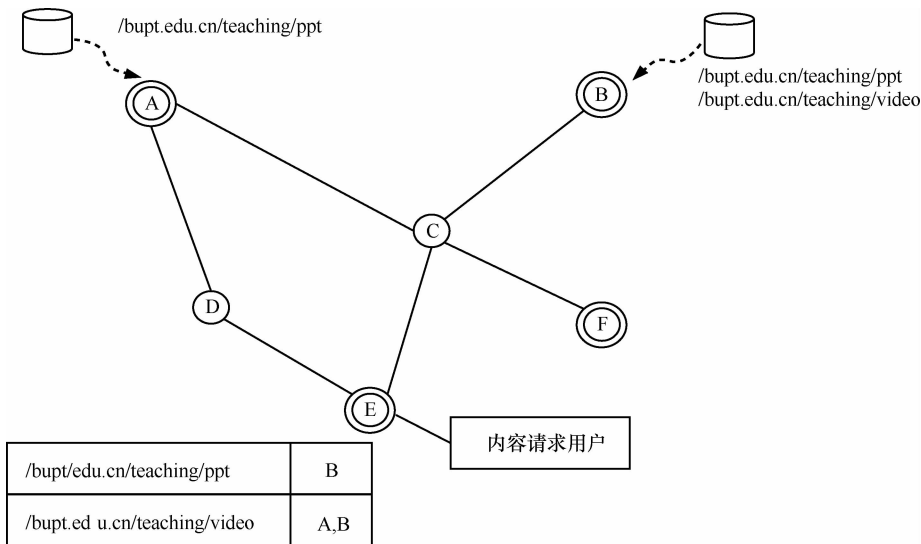


图 1 NDN 路由示例

先(open shortest path first, OSPF)协议中链路状态通告的传播完全相同,直到全网更新链路状态为止。图1中的E节点通过对收到的链路状态进行本地计算,得到到达A、B节点的路由。

当与E节点相连的用户发起内容请求时,E节点通过已建立的路由从数据源中获取内容。网络中的节点具备缓存功能,会缓存转发过的内容信息,因此当其他用户再发起相同的内容请求时,也可以从网络中最近的节点获取内容,这种机制减少了网络中的重复流量。

网络中的C、D节点为普通的IP路由器,当收到携带命名前缀的数据分组时,会忽略此前缀,仅基于IP地址进行转发。这种机制是利用开放式最短路径优先协议中的TLV(type-length-value)字段来完成的,开放式最短路径优先协议规定,对于协议不理解的前缀,直接忽略不做处理^[11]。在IS-IS(intermediate system to intermediate system, 中间系统到中间系统)中,也存在类似的字段,同样可以用来携带名字前缀^[12]。参考文献[3]给出了关于这种与IP兼容的路由实现方式更为详尽的描述。

2.2.2 结构化的路由

结构化路由中,网络存在一个维持CON节点路由表的拓扑结构,这个拓扑结构用来完成命名的解析和内容的定位。

以数据为中心的网络采用了树状的结构,如图2所示。

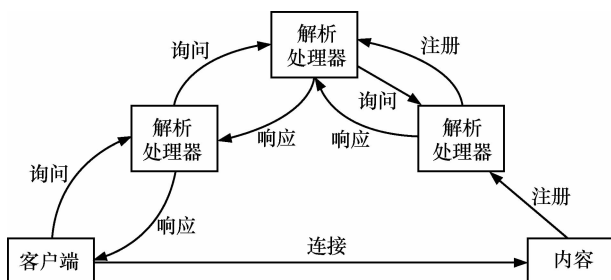


图2 DONA的树状结构

DONA中引入了解析处理器(resolution handler, RH)的概念,完成对内容请求及响应的路由功能,用于内容的查找和注册。解析处理器是分等级的,并以树状结构相互连接。内容提供者会根据需要发布内容,向其所属的解析处理器注册,并逐级上报到根节点;客户端有内容的需求时,会发起查询请求,并沿着解析处理器的树状结构逐级向上查找,直到存在相应的解析处理器响应其查询请求。

在这种树状结构中,每一个解析处理器都要为其下属的解析处理器维护所有已注册内容的路由信息。因此当内容文件发生更改、复制、删除时,路由的通告会沿着树传播,直到所有相关的解析处理器都完成更新,这加重了解析处理器的负担,越靠近根节点的解析处理器负担越重,因为根节点需要了解全局的路由信息。

DONA的这种架构并没有完全脱离IP,而是在一定程度上依赖IP网络,即通过基于名字的方式完成对内容的定位,再通过传统网络中的IP建立连接完成传输。但是以数据为中心的网络也可以独立于IP,依靠内容定位过程中建立的路径来完成数据的传输^[7]。

此外,发布/订阅模式互联网路由选择范例采用了分级的分布式散列表(distributed Hash table, DHT)结构^[13],这种结构在一定程度上均衡了负载,但路由确定的路径一般并不是最短路径。

在以内容为中心的网络研究中,采用结构化路由还是非结构化路由,直接取决于网络的体系架构及其采用的命名方式。此外,也可以从名字解析和内容检索的实现角度对路由体系进行分类^[14]。在以数据为中心的网络、发布/订阅模式互联网路由选择范例等架构中,名字解析与内容的获取分离。例如以数据为中心的网络中先利用分级的解析处理器完成名字解析,得到相关的位置信息,然后获取内容;而对于命名的数据—网络,并不存在名字解析的过程,因为命名的数据—网络即使在转发数据时也是基于名字的,相当于把名字解析和内容获取的过程整合在了一起。无论何种角度对路由进行归类 and 划分,基于名字的路由都是一个重要的问题。

从扩展性的角度来看,命名的数据—网络的非结构化路由与其他网络体系架构(DONA、PRIIP等)相比,具有更好的可扩展性,能够更好地适应复杂的网络;从部署的角度来看,以数据为中心的网络等可以利用现有的传输机制,相对容易实现部署。

目前以内容为中心的网络研究普遍存在的问题是尚缺乏大规模的验证,而路由的可扩展性等问题的研究,不能仅局限于理论和仿真分析,更需要在较大规模的网络中进行验证。随着学术界对CON的重视,全球网络创新环境(global environment for networking innovations, GENI^[15])、未来互联网研究和实验(future internet research and experimentation, FIRE^[16])等项目中推出的基于虚拟化技术的实验床的广泛应用,使其在较大规模网络中进行实验验



证成为可能,这也会加快 CON 的研究与发展。

2.3 其他关键技术

2.3.1 安全

以内容为中心的网络中的安全机制与传统 IP 网络的不同之处在于,前者并不关注数据通道的安全,因为在以内容为中心的网络中,数据的传输并没有固定的传输通道;直接保证内容的安全,一般通过对内容进行完整性校验,并验证数据源的可靠性来实现。

CON 中利用发布者的私钥对内容进行签名,接收方利用发布者的公钥验证签名,保证内容的完整性和可靠性^[3]。以数据为中心的网络以<P:L>格式对内容命名,其中的 P 字段是一个公共密钥的散列,通过公共密钥可以验证内容的可靠性,发布/订阅模式互联网路由选择范例的汇聚标识也具有类似的功能。在信息网络中,一个信息对象^[17]被定义为<ID, Data, Metadata>,其中的 ID 包含了公共密钥的散列,可以实现自我验证的功能。

2.3.2 缓存

内容缓存技术在以内容为中心的网络和内容分发网络中都已成熟的应用,该技术的应用大大提高了网络工作效率,减轻了核心路由工作负担,在边缘网络放置内容缓存服务器,缓存热点内容,服务后续的内容为中心的网络请求。

在以内容为中心的网络中,同样使用了缓存技术来提高网络工作效率。在已提出的各种内容网络架构中均提到要广泛采用内容缓存技术,不仅像以内容为中心的网络在边缘网络放置缓存服务器,而且希望在所有网络节点中都设有缓存服务器用于暂时保存热点内容^[3, 7, 8],当主机发起内容请求时,路由节点会先搜索缓存内是否存有相应内容,若有则直接返回内容,大大降低了用户获取内容的时延;若不存在则当远端内容提供者返回内容时保存该内容以便下次提供服务。

关于内容网络中的缓存技术主要有缓存替换策略,因为缓存服务器的容量是有限的,需要定期更新缓存内容,其中命名的数据—网络采用的是最近最少使用置换(least recently used, LRU)算法和最不经常使用置换(least frequently used, LFU)算法来最大限度地存储内容。

目前成熟的缓存技术还是应用在以内容为中心的网络及内容分发网络中的缓存技术^[18, 19],这些缓存机制仍然是基于 IP 的,因此在未来的内容网络中需要研究一种基于内容的缓存机制,以便能够更好地适应以内容为中心的网络,这也是将来缓存技术的研究重点,尤其是结合适

应分布式缓存的路由机制的研究。

3 CON 未来研究的难点和发展方向

3.1 内容的命名与聚合

前面提到的两种命名方式都是针对网络提供的内容或数据命名的,都实现了位置与标识分离。二者各有优缺点,分级命名可以比较容易地实现内容的聚合,通过聚合大大降低路由的工作负担,尤其是核心路由,但是命名所采用的字段还是与提供商或者所在位置有一定的联系,没有彻底地与位置分离开,当提供商发生变更,可能会出现用户无法获得或者导致命名无意义;而扁平化命名恰恰很好地保证了命名的永久性,不过,需要通过命名解析机制使用户获得数据,而且扁平化的命名很难实现内容聚合,对路由器提出了很高的要求。

因此可以考虑将分层命名和扁平命名相结合,即在边缘网络使用扁平化命名,在一个边缘网络区域内的内容提供者是相对稳定的,这样在边缘网络使用扁平化命名可以保证命名的永久性和可靠性;而到了核心网采用分层命名机制,通过有效的内容聚合技术对各类内容进行聚合,降低核心路由器工作负担。

3.2 有效的路由机制

路由是网络研究中的重要部分,传统 IP 网络中路由机制的研究已经比较成熟,但是与传统 IP 网络相比,以内容为中心的网络中的路由设计显得稍为复杂。在以数据为中心的网络、发布/订阅模式互联网路由选择范例、以数据为中心的网络等架构中,命名解析和内容获取被分为两步,接收方先通过命名解析服务器获得所请求内容的位置主机(或网络中的缓存),再与内容的发送方通信,获取内容。命名解析和内容获取都需要有效的路由机制支持。Caesar M 等人提出直接基于扁平化命名进行路由的机制^[20],但路由的性能还有待于进一步研究。在命名的数据—网络中,不存在命名解析,因为数据的转发直接基于内容命名,前面介绍了命名的数据—网络项目中通过对开放式最短路径优先协议进行改进来实现基于内容进行路由的思路,这种设计思路能够较好地实现与 IP 网络的融合,但是对于大规模的网络,内容提供商发布内容的过程会大大加重开放式最短路径优先协议链路状态通告的负担,使开放式最短路径优先协议丧失原本收敛较快的优点^[21],大大增加网络的控制流量。命名的数据—网络对开放式最短路径优先协议改进来实现基于内容路由的思路可能是为了平滑

地演进以及和 IP 网络的兼容,当前业界也在考虑和研究其完全不依赖于 IP 网络情况下基于命名的路由。

如何有效地基于内容的命名进行路由,在建立路由的过程中合理有效地利用网络中的缓存,甚至建立多路径转发,仍然是一个值得研究的问题。此外,内容为中心的网络的通信模式不再是传统 IP 网络中的“主机—主机”,一些在 IP 网络中难以解决的问题,都可能在以内容为中心的的网络中得到解决。例如受限于端到端的通信方式,多宿主(multi-homing)在 IP 网络中实现起来较为困难,但是在以内容为中心的的网络中,路由是基于内容的,且网络具备对内容的缓存能力,因此通过路由机制可以有效地利用内容缓存建立多路径,进而实现多路径的转发机制,实现多宿主。另一个简单的例子就是,终端用户在接入网络时,可以很方便地选择多个互联网服务提供商(internet service provider, ISP)同时接入,网络会选择最优的路径收发数据,最终可以实现用户体验质量(quality of experience, QoE)的提升。

3.3 对端到端业务的支持

目前以内容为中心的的网络架构主要着眼于内容分发的需求,虽然从不同的角度解决了内容分发的需求,但是对传统的端到端业务并没有提供良好的支持。从网络流量的角度来看,内容流量的确占据较大比重,但是端到端业务的重要性仍然不可取代,像基于互联网协议的话音业务(voice over internet protocol, VoIP)、视频会议业务、电子邮件(E-mail)业务等,在未来网络中应当得到较好的支持。

以数据为中心的的网络可以部署在现有的传输机制之上,严格意义上并非完全基于内容的网络架构,因此端到端业务可以采用传统的通信方式解决。对于命名的数据—网络这种推倒重来(clean slate)的网络架构,保留端到端的服务是命名的数据—网络的设计原则之一^[4]。对应于基于互联网协议的话音业务(VoIP),有人提出 VoCCN^[2]的概念,可以提供对话音这类实时业务的支持,即采用接收方驱动的方式,通过持续发送内容请求分组向对方通告对下一个数据分组的“兴趣”,以完成通信。VoCCN 基于命名的数据—网络网络架构实现,而命名的数据—网络中是针对每一个分组进行命名和路由的,这种解决端到端通信的方式是否能够保证传输的效率,有待于进一步研究。

在传统网络中通过覆盖网络的方式来解决内容分发的需求;类似地,在以内容为中心的的网络中,也应该有相应的技术来支持端到端的业务。但是,由于目前以内容为中心的的网络本身的研究尚处于起步阶段,国际上提出的网络架构

也不止一种,因此如何在以内容为中心的的网络中解决端到端业务的问题,并不存在万全的解决方法。可以预测,在保证以内容为中心的的网络内容分发优势的基础上,同时能够对端到端业务提供良好支持的网络架构,必定会得到更广泛的认可。

3.4 移动性的支持

移动性分为用户终端的移动性和内容提供端的移动性。

从接收方驱动的通信方式来看,命名的数据—网络对前者具有较好的支持,因为用户终端可以灵活地切换到不同的接入网并继续发送内容请求。但是在端到端业务中,如果移动的用户终端作为接收方,如何对移动的用户终端进行定位仍然存在问题。

另外,内容提供端的移动虽然不会导致通信中断,但是会使网络中路由表更新,大量内容提供端的移动还会产生特殊的前缀,影响路由表的聚合。可以通过对移动的内容重新命名的方法来解决聚合的问题,但是这会使命名失去永久性。一种可能的解决方法是在上层增添命名层,对内容进行永久性命名,然后再映射到与拓扑相关的命名中。

4 结束语

本文结合国际上的研究现状,综述了以内容为中心的的网络的关键技术,并分析了其研究难点和发展方向。目前未来网络是计算机网络领域的研究热点,学术界提出了很多推倒重来(clean slate)的网络架构,其中以内容为中心的的网络的思路得到广泛的重视。但是由于传统的 TCP/IP 网络已经在全球范围内应用至今,而以内容为中心的的网络的研究刚刚起步,网络架构以及相应的关键技术还不成熟,因此 CON 的概念被人们广泛认可并投入商用尚需要一段时间,但是必定是未来很长一段时间内研究的热点。

参考文献

- 1 Jiang Wenjie, Zhang-Shen R, Rexford J, *et al.* Cooperative content distribution and traffic engineering in an ISP network. Proceedings of the Eleventh International Joint Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, Seattle, WA, USA, 2009: 239~250
- 2 Clark D, Braden R, Falk A, *et al.* FARA: reorganizing the addressing architecture. SIGCOMM Computing Communication Review, 2003, 33(4): 313~321



- 3 Van Jacobson, Smetters D K, Thornton J D, *et al.* Networking named content. Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies, Rome, Italy, 2009: 1~12
- 4 Zhang Lixia, Estrin D, Burke J, *et al.* Named Data Networking (NDN) Project. Technology Report NDN-0001, PARC2010
- 5 Gritter M, Cheriton D R. An architecture for content routing support in the internet. Proceedings of the 3rd Conference on USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems - Volume 3, San Francisco, California, 2001
- 6 Gulli A, Signorini A. The indexable Web is more than 11.5 billion pages. Special Interest Tracks and Posters of the 14th International Conference on World Wide Web, Chiba, Japan, 2005: 902~903
- 7 Koponen T, Chawla M, Chun B, *et al.* A data-oriented (and beyond) network architecture. SIGCOMM Computing Communication Review 2007, 37(4): 181~192
- 8 Ahlgren B, D'Ambrosio M, Marchisio M, *et al.* Design considerations for a network of information. Proceedings of the 2008 ACM Conext Conference, Madrid, Spain, 2008: 1~6
- 9 Lagutin D, Visala K, Tarkoma S. Publish/subscribe for internet: psirp perspective. Towards the Future Internet Emerging Trends from European Research, 2010: 75~84
- 10 Visala K, Lagutin D, Tarkoma S. LANES: an inter-domain data-oriented routing architecture. Proceedings of the 2009 Workshop on Re-Architecting the Internet, Rome, Italy, 2009: 55~60
- 11 IETF. The OSPF Opaque LSA Option. RFC 5250
- 12 IETF. Intermediate System to Intermediate System (IS-IS) Extensions for Advertising Router Information. RFC 4971
- 13 Prasanna G, Krishna G, Garcia-Molina H. Canon in G major: designing DHTs with hierarchical structure. 24th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS'04), 2004: 263~272
- 14 Ahlgren B, Dannewitz C, Imbrenda C, *et al.* A survey of information-centric networking (draft). Proceedings from Dagstuhl Seminar 10492 on Information-Centric Networking, Dagstuhl, Germany, 2010
- 15 Global environment for network innovations (GENI) Project. <http://www.geni.net/>
- 16 FIRE: future internet research and experimentation. <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>
- 17 Dannewitz C, Golic J, Ohlman B, *et al.* Secure naming for a network of information. INFOCOM IEEE Conference on Computer Communications Workshops, 2010: 1~6
- 18 Borst S, Gupta V, Walid A. Distributed caching algorithms for content distribution networks. INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE, 2010: 1~9
- 19 Erman J, Gerber A, Hajiaghayi M T, *et al.* Network-aware forward caching. Proceedings of the 18th International Conference on World Wide Web, Madrid, Spain, 2009: 291~300
- 20 Caesar M, Condie T, Kannan J, *et al.* ROFL: routing on flat labels. SIGCOMM Comput Commun Rev 2006, 36(4): 363~374
- 21 Insang C, Byungjoon L, Hongseok J, *et al.* VSCCN: CCN with a very simple control plane. 2012 14th International Conference on, Advanced Communication Technology (ICACT), 2012: 690~693
- 22 Van Jacobson, Smetters D K, Briggs N H, *et al.* VoCCN: voice-over content-centric networks. Proceedings of the 2009 Workshop on Re-architecting the Internet, Rome, Italy, 2009: 1~6

【作者简介】 胡骞,北京邮电大学博士研究生,主要研究方向为未来网络;武穆清,北京邮电大学教授,主要研究方向为无线宽带通信、传感器网络、未来网络;郭嵩,北京邮电大学博士研究生,主要研究方向为未来网络。

A Survey of Content-Oriented Future Communication Network

Hu Qian, Wu Muqing, Guo Song

(Laboratory of Network System Architecture and Convergence,
Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract With the exposure of many shortcomings in nowadays internet, there have been lots of studies deeply in the future network around academic circles recent years. Amount these studies, establishing a CON (content-oriented network) is one of the representative researches. CON which is attracting many researchers' attention no longer uses the traditional communication mode called "end-to-end", but focuses on what it transmits. In this paper, we present a comprehensive survey on the key technologies of CON. The study background of CON following with several key technologies including naming, routing, security and cache are introduced. At last we make a prediction on the research focus of future CON and the development direction.

Key words CON, network system architecture, future network

(收稿日期 2012-07-03)