

标识路由关键技术*

侯 婕⁺, 刘亚萍, 龚正虎

(国防科学技术大学 计算机学院, 湖南 长沙 410073)

Key Techniques of Identifier-Based Routing

HOU Jie⁺, LIU Ya-Ping, GONG Zheng-Hu

(School of Computer, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

+ Corresponding author: E-mail: houhou1983@163.com

Hou J, Liu YP, Gong ZH. Key techniques of identifier-based routing. *Journal of Software*, 2010,21(6): 1326–1340. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3797.htm>

Abstract: With the rapid development of Internet technology, the existing routing system has been confronting many serious challenges of scalability, mobility, multi-homing and traffic engineering. Based on the idea of Identifier/Locator Split, the concept of identifier-based routing is proposed, and its research scope is accurately defined in this paper. On the basis of the design goals of identifier-based routing, some related researches are introduced and compared. Finally, some key issues and the development trends are discussed.

Key words: identifier-based routing; identifier/locator split; scalability; multi-homing; traffic engineering

摘 要: 现有路由系统面临来自可扩展性、移动性、多宿主以及流量工程等方面的挑战,已经不能满足客观需求.基于位置与标识分离的思想,提出了标识路由的概念并对其研究范围进行了精确的界定.根据标识路由的设计目标,还详细介绍和比较了国内外相关的研究工作.最后提出标识路由研究的若干关键问题,并对未来的研究方向做出展望.

关键词: 标识路由;位置与标识分离;可扩展性;多宿主;流量工程

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

随着互联网的飞速发展,路由系统在可扩展性、移动性、多宿主和流量工程、提供商锁定(lock-in)效应等方面存在许多亟待解决的问题.首先,可扩展性差是路由系统面临的最主要问题,导致该问题的直接原因是核心路由表规模的急剧增长.Internet 的 DFZ(default-free zone)目前地址前缀已经达到 30 万条^[1],而且由于 PI(provider independent)地址的大量使用、多宿主及流量工程的需求以及聚合故障等原因迫使其每年还以超线速(super-linear)的速度持续增长着^[2],预计在 2020 年达到 200 万条左右^[3].查找和匹配这些数量巨大的地址前缀既增加了路由器的负担,又对路由器的性能提出了更高的要求.此外,Internet 频繁出现每秒接近 1 000 条地址前

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90604006 (国家自然科学基金); the National Key Technology R&D Program of China under Grant Nos.2008BAH37B02, 2008BAH37B03 (国家科技支撑计划); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2008AA01A325 (国家高技术研究发展计划(863)); the National Basic Research Program of China under Grant No.2009CB320503 (国家重点基础研究发展计划(973)).

Received 2009-04-29; Revised 2009-07-21; Accepted 2009-12-02

缀的更新事件^[4]。大量路由通告和撤销消息的传播也加重了路由器的负担,同时耗费了大量的可用资源。其次,在互联网设计之初,并未考虑节点移动性的情况,使用与拓扑位置密切相关的 IP 地址同时作为节点的标识和地址信息。当节点移动时,IP 地址发生改变,通信双方无法在基于原有地址建立的连接上传送数据,从而导致通信中断。正是由于节点缺少与拓扑位置无关的固定标识,路由系统才表现出对移动性支持的先天不足。再次,为了提高接入网络的可靠性和资源的利用率,同时实现灵活的策略控制,越来越多的接入网络选择使用多宿主和流量工程技术。如今的多宿主和流量工程应用大多采用地址细分或者 PI 地址的方式,无形之中加速了路由表规模的膨胀。另外,由于多宿主技术的应用,已经向核心路由表引入了 20%~30%左右的额外前缀^[5]。流量工程一般用来负载均衡^[6],负载均衡也已经向全球路由表中引入了 20%~25%的额外前缀^[5]。同时,由于接入网络在互联网服务提供商之间切换网络流量时,路由表更新报文将被发送到相应的核心网络路由器,从而增加了路由收敛时间,影响了整个网络的稳定性。最后,所谓的提供商锁定效应,也称为换制成本效应,是指企业更换 ISP 需要付出的代价。基于 IP 地址的标识结构缺乏稳定性,当改变 ISP,网络拓扑发生变化时,需要对企业接入网络进行重新编址。而为了避免此类开销,越来越多的企业偏好使用 PI 地址,在减少换制成本的同时却为核心路由表引入了额外的地址前缀。

针对上述问题,人们已经开始了互联网 TCP/IP 体系结构的重新思考,认为必须对路由结构进行重新设计,才能很好地适应未来互联网的发展^[7,8]。互联网现在使用 IP 地址既表示节点的位置信息又表示节点的身份信息,混淆了位置(locator)和标识(identifier)的功能界限,也就是所谓的 IP 地址语义过载。这种命名机制将原本技术和经济目标相矛盾的用户网络和 ISP 网络紧耦合,阻碍了整个网络的发展。国内外研究者一致认为这就是当前路由系统诸多问题的症结所在。

IRTF(Internet Routing Task Force)的路由研究组 RRG(Routing Research Group)提出基于位置与标识分离(locator/identifier split)的思想来解决路由系统的问题^[7,9]。国际 IAB 组织提出引入 PI 地址空间和 PA(provider allocated)地址空间来分别表示节点标识和位置信息,解决 IP 地址语义过载的问题。

基于位置与标识分离的思想,研究者提出了多种方案来解决当前互联网面临的诸如路由可扩展性、主机移动、多宿主及安全等问题。其中,FARA^[10]提出一种通用抽象模型,将端系统标识与网络地址分离,并定义了一组抽象对象以及这些对象之间的关系。HIP^[11],NIIA^[12],I³^[13],ROFL^[14],HLP^[8]着重解决路由可扩展性问题。IPNL^[15]主要解决端到端透明通信问题,实现公用网络和私有网络之间的互访;TRIAD^[16]基于内容路由解决如何为用户定位一个距离最近的所需内容的副本节点;NUTSS^[17]提出一种针对中间盒的管理机制,解决端到端跨中间盒通信问题;UIP^[18]解决了边缘网络的管理问题;SHIM6^[19]主要是为了支持多宿主;DONA^[20]旨在设计新的路由系统取代现行互联网 DNS 系统;LISP^[21]和 Six/One^[22]则关注如何减小 BGP 路由表规模。国内的各项研究如清华大学开展的关于标识分离映射机制评估的研究^[23];北京交通大学提出的 DHT-MAP^[24]和 4I^[25];华为公司提出的 HRA^[6],RANGI^[26];国防科技大学开展的关于位置与标识分离的命名和寻址体系结构研究^[27]以及我们提出的可扩展标识映射系统 SILMS^[28]和一种标识路由架构^[29];解放军信息工程大学提出的 Hidra^[30]等。

针对互联网路由系统的研究已经持续了很多年,而且一直是计算机网络领域的研究热点。国内外研究者提出了如上所述的很多机制,但是各种机制所解决问题的侧重点不同,很多机制倾向于对现有路由系统的简单修补,未能解决路由系统的本源问题,无法适应未来互联网的发展^[31]。

事实上,就整个互联网路由系统而言,许多问题的研究是相关联的。如何减少核心路由表规模,如何高效地支持节点移动,如何便于多宿主和流量工程技术的发展,如何避免重新编址等是亟待解决的问题。位置与标识分离后,如何利用节点标识的唯一性、持久性等特点,设计满足未来互联网发展需求的新型路由系统正在成为学术界研究的热点。

本文基于现有路由体系结构存在的问题和未来应用的需求,在第 1 节提出了标识路由的概念并界定了其研究范围。第 2 节指出了标识路由的设计目标。第 3 节对实体命名规则、ID/Locator 解析机制以及解析完成以后的路由机制进行了详细地分析总结,并对不同的模型或者机制做出了横向评价比较,同时对几种典型的体系结构从安全性、可扩展性、多宿主以及流量工程等方面进行纵向评价比较。第 4 节阐述了标识路由研究中面临的

