

运用 Network Coding 改进 IPv6 网络的邻居发现协议

张金刚^{1,2}, 权义宁¹, 赵守凯²

(1. 西安电子科技大学计算机学院, 陕西 西安 710071;

2. 湛江师范学院基础教育学院, 广东 湛江 524300)

摘要:通过对 IPv6 网络中, 对网络管理、拓扑发现等起着重要作用的以 ICMPv6 报文为基础的邻居发现协议相关算法的分析, 结合 Network Coding 的基本思想, 针对广泛使用多播包容易引发网络拥塞、降低链接带宽利用率这一问题, 提出了一种理论上基于 Network Coding 传输模式的改进方案, 并以一个实例验证其有效性。

关键词:Network Coding; 网络编码; IPv6; 邻居发现; ICMPv6

中图分类号: TP393.8

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.05.026

0 引言

从 1969 年 ARPANet 投入运行开始计算, 互联网在短短 40 年内渗入全球各个角落。随着结点数急剧增加, 网络结构不断繁杂化, 导致了以 IPv4 为核心的协议簇出现很多问题: 尤为紧迫的是地址空间濒临枯竭——尽管已有 NAT、CIDR 等策略, 但无法从根本上解决问题, 其它如配置复杂、没有好的服务质量机制、在安全性和移动性等方面的不足都迫切要求开发更好的取代协议。1993 年提出的 IPng 标准经过几年的修订, 最终于 1998 年制订了较为完善的 IPv6 规范, 较好地解决了这些问题。但直到现在仍在推广阶段, 难以普及应用, 主要是因为由 IPv4 过渡到 IPv6 需要投入大量的资金和设备, 同时, 相关技术尚待完善也是一个原因。

1 邻居发现协议存在的问题

IPv6 的邻居发现协议 (Neighbor Discovery Protocol, ND) 主要用于取代 ARP/RARP、路由器发现和重定向等协议, 并增加了邻居可达性检测机制^[1]。邻居发现协议使用 ICMPv6 来交换报文, 同时 ICMPv6 还是 SNMPv6 的下层协议, 所以, ND 对网络管理, 特别是 SNMPv6 网络管理起着重要作用^[2]。

由于取消了 ARP 协议, 在 IPv6 网络中, 目前严重困扰着用户和网络管理员的 ARP 攻击导致 LAN 接入用户不能正常连接 Internet 问题有望彻底解决。但是, 该协议仍有不足之处: 大量频繁的 ICMP 广播

包可能导致网络拥塞, 增加超时重传的比例, 而广播这一机制可能会被攻击者利用, 再次制造类似 ARP 攻击机制的病毒^[3]。使用 Network Coding 原理改进广播机制对避免这一不足有着很大优势^[4]。

2 Ipv6 邻居发现协议

IPv6 协议取消了位于 Internet 层下部的 ARP/RARP 协议和 ICMP 协议, 取而代之的是位于 IP 层上部的 ICMPv6 及使用其提供服务的邻居发现协议 ND 和多播侦听者发现协议 (Multicast Listener Discovery, MLD)^[5]。底层和高层协议并没有质的改变 (这是分层体系结构的优势)。使用路由器请求、路由器公告、邻居请求、邻居公告和重定向共五种报文, 通过邻居缓存、目的缓存、前缀列表、默认路由器列表等数据实现了地址解析、邻居可达性检测、路由器和前缀发现及重定向四个主要功能。对于路由器和前缀发现及重定向两个功能, 由于涉及到与路由协议的协同工作 (如重定向功能时, 应先假设路由选择算法已经有效避免了环路), 本文不作详细讨论。地址解析和可达性检测是邻居发现的重要功能, 而且相互影响^[6]。

地址解析经七次报文交互完成: 发送邻居请求→接收邻居请求→发送请求邻居公告→接收邻居请求公告, 发送邻居非请求公告, 任播非请求邻居公告, 代理邻居公告 (在使用代理时使用)。其流程如图 1 所示。

图 1 中处理邻居缓存条目、更新可达性处理流程可用图 2 所示的状态转换图表示^[7]。

收稿日期: 2009-12-16

作者简介: 张金刚 (1980-), 男, 云南曲靖人, 讲师, 硕士研究生。研究方向: 计算机网络与计算机硬件设计。

指导老师: 权义宁, 副教授, 硕士研究生导师。研究方向: 网络安全与网络计算。

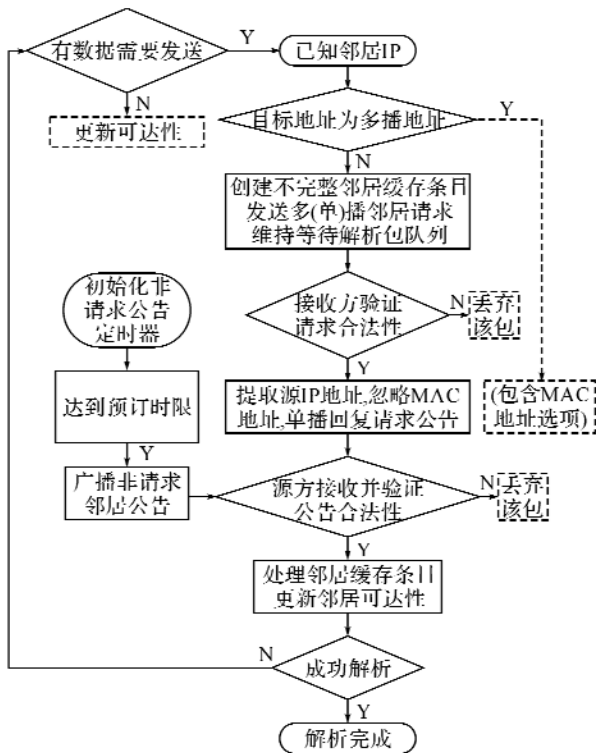


图1 邻居发现处理流程

Fig. 1 Process of Neighbor Discovery

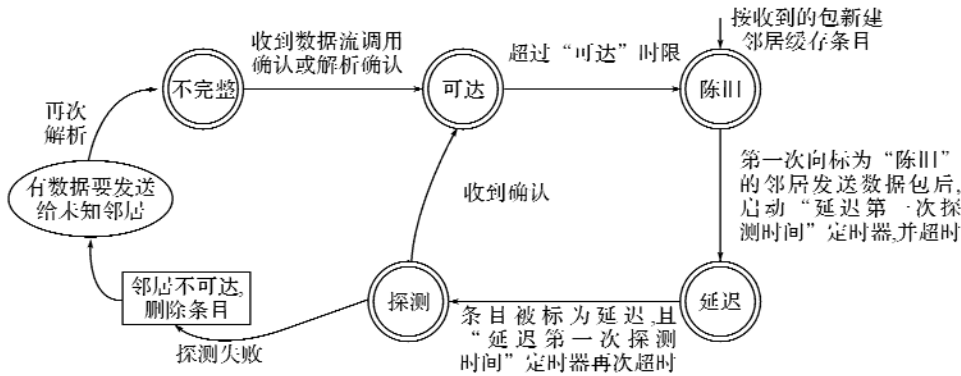


图2 邻居可达性检测状态转换图

Fig. 2 State transition diagram of Neighbor reachability detecting

3 Network Coding 思想

Network Coding 是 Rudolf Ahlswede、蔡宁、李硕彦、杨伟豪^[8]在2000年提出的一种突破性编码理论,其基本思想是:在网络发送端 Sender 只发送信息的相关证据(evidence about the message)而不是整个信息本身,而接收者 Receiver 收到证据后,对其进行重组以还原信息,提高网络的容量和效率^[9]。其最大的优势在于多播网络中,一个发送源多个接收者时,数据包在网络中会有很多路径并重复传输,对于某几个特定的结点来说,要接收到所有数据包可能需要一定时间的排队^[10]。典型地,对于如图3的网络^[11],假设每一跳的传输能力均为1,数据包经过一跳所需时间为 t ,若发送端S要发送两个等长

(设为 L)的数据包给R1和R2,如果按传统的传输模式,最优的方案如图4所示,数据包和在到达节点N3时,不能立即被转发,而是需要排队,假设以的顺序排队发送,则发送两个包所需的总时间为,到达N4后,也需要按相同的方案排队发送,所以,S把两个包分别发送到R1和R2所需的最短时间是 $6t$,如果结点N4具有智能选择功能,在N4→R1线路上按顺序发送两个包,在N4→R2线路上按顺序发送,则两个接收结点可以忽略后一个已有的包,则时间缩短为。同时,这一模式还有一个问题存在:结点R1两次收到数据包,结点R2两次收到数据包,这给线路传输量增加了压力,同时,R1和R2还需要判定这两个包是经由不同路径达到的同一个包,还是重传的包,甚至是重放攻击的包^[12]。

如果采用 Network Coding 理论对上述网络传输过程进行改造,当数据包到达N3之后,对其进行异或运算,得到等长的 $c = a \oplus b$,并把它转发给N4,N4再分别转发给R1和R2。如图5所示,由于在N3→N4, N4→R1, N4→R2三条链路中传输的数据包只有一个,所以每跳所需的时间只为 t 。R1收到两个数据

包后,进行运算 $a \oplus (a \oplus b)$,R2运算 $b \oplus (a \oplus b) = a$,即可恢复出原数据包。所以,两个结点都收到了 a, b 两个包,传输任务成功完成。在结点N3和R处进行的只是简单的异或运算,所需时间相对于传输时间来说可以忽略不计,即所需的传输总时间为 $4t$,比传

统模式节省了 $2t$,若按上述假设N4有智能时,节省时间,节省比例最小为 $\frac{1}{4} = 25\%$,同时,整个网络中数据传输量合计为9个包(传统模式合计为12个包),节省了 $\frac{1}{3}$ ^[8]。

由此可见,Network Coding 对于广播包的发送能显著地提高效率,降低网络传输流量,节省网络带宽,而付出的代价主要是在节点中完成简单的异或运算,而对于目前的计算能力来说,异或运算的延迟可以达到只有一位。然而,在复杂的网络结构中,需特殊设计和规划适合于 Network Coding 传输模式的拓扑结构,以避免收到包后无法恢复出所需数据包的情况^[13]。

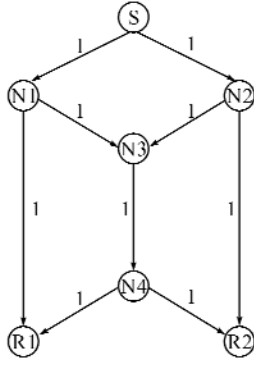


图3 网络结构图

Fig. 3 Network structure

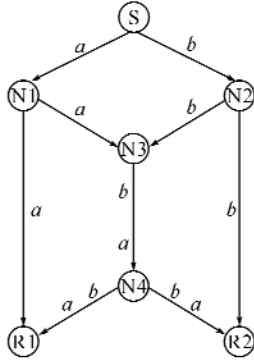


图4 传统传输模式

Fig. 4 Classic Transfer mode

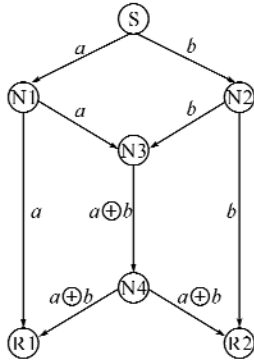


图5 Network Coding 传输模式

Fig. 5 Netcod Transfer mode

4 改进策略

在 IPv6 网络的邻居发现协议中,存在大量的广播包,这些广播包的接收者是所有拥有相应广播地址的结点,可能是路由器,也可能是主机;对于邻居请求报文,最终接收者是主机,但可能需要路由器转发;对于路由器请求报文,接收者只是路由器,主机不对其进行处理;邻居公告报文和路由器公告报文都有单播和多播两种情况^[14]。以一次完整的地址解析→可达性检测→数据发送过程为例,若网络结构如图 6 所示,且所有结点都拥有具备多播能力的多播地址,算法流程为:

(1) 结点 H0 有两个目的地址分别为 IP H3 和 IP H4 的数据包需要发送,但在其邻居缓存中,没有该结点的相关信息,于是其创建一个“不完整条目”,并发送多播邻居请求 $a = \text{NSM}(\text{IP H3} \parallel \text{MAC H0})$ 和 $b = \text{NSM}(\text{IP H4} \parallel \text{MAC H0})$ 。

(2) 路由器收到该多播包后,不断转发,若最终到达 H3 和 H4,并经验证为合法,则返回单播包给 H0,地址解析成功,H0 修改两个邻居的状态为“可达”;否则转(3)。

(3) H0 重发该请求,若重发被成功响应,转(2),否则等待再次解析。

(4) H3 和 H4 发送多播非请求邻居公告 $c = \text{NAM}(\text{IP H4} \parallel \text{MAC H4})$ 和 $d = \text{NAM}(\text{IP H3} \parallel \text{MAC H3})$,宣布自己的存在,被多播给所有结点,H0, H1, 和 H2 收到后,各自修改自己的邻居缓存状态,若 H3, H4 成功收到所有邻居的确认包,则修改到这些结点的状态为“可达”;否则,分别处理各个队列。

(5) H0 对 H3, H4 进行可达性探测,成功则发送数据包,否则转(3)。

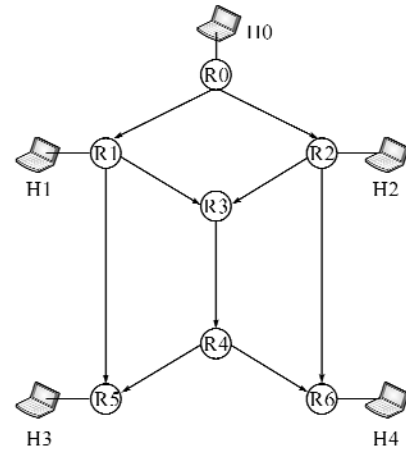


图6 邻居发现协议网络结构

Fig. 6 Network structure of NDP

该过程中,两次进行了多播广播,尽管实质上,这些多播包需要单个地进行处理,但是,如果在网络中采用单独传输的方法,则网络中会产生大量重复发送的包,同时也增加了传输延迟。若采用 Network Coding 传输模式,则上述广播流程可表示如图 7 所示。图 7 中 $a = \text{NSM}(\text{IP H3} \parallel \text{MAC H0})$, $b = \text{NSM}(\text{IP H4} \parallel \text{MAC H0})$,实线箭头表示 a 和 b 包,虚线表示 $a \oplus b$ 包,由于 a 和 b 两个包要广播给所有的结点,所以 $a \oplus b$ 包可能有多条路由路径达到 H1 和 H2,本示例假定路由器 R0 不进行数据包合并,结合路由协议,可以避免由 $R5 \rightarrow R1$ 和 $R6 \rightarrow R2$ 的包传送(因为这两个包实质上没有用),此

时,不计主机与直连路由器的传输链路开销,总传输时间为 $4t$,总传输量为 9 个包. 对于第二次广播,传输方法与此类似.

而此次广播若采用传统传输模式,其传输时间和传输量与第三节中的模型相同,可见,对于类似广播,采用 Network Coding 模式具有很大优势.

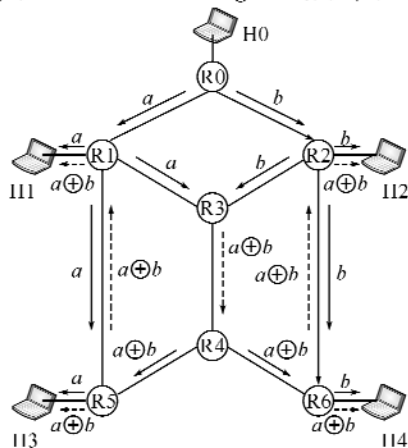


图 7 多播邻居请求的 Network Coding 传输模式
Fig. 7 Netcod Transfer mode of Multicast

5 结 语

在 IPv4 网络中,广播机制被广泛应用,但通过子网隔离广播、ARP 协议等机制,抑制了广播风暴的大量发生. 对于 IPv6 网络,为了更好地支持灵活性与移动性,取消了子网划分机制,而类似于 ARP 协议、对拓扑发现、网络管理起着重要作用的邻居发现协议却大量使用了多播包(还有其它一些协议),大量的广播容易引起网络拥塞、增加延迟,降低了链路的传输效率. Network Coding 思想,既可对邻居发现协议进行改进,还可用于其它广泛使用多播包的协议中,如 P2P 应用,路由信息交换等等^[15].

本方案的前提是路由器具有编码能力即网络能支持 Network Coding 机制,目前还没有相关硬件的报道,本文仅就此思想提出一个思路,相关数

据均为理论值,由于 IPv6 环境的特殊性,深入实验和仿真是下一步研究方向.

参考文献:

- [1] RFC2461. Neighbor Discovery for IP Version 6 [S]. New York: Network Working Group, 1998.
- [2] 李振强,赵晓宇,马严,等. IPv6 技术揭秘 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [3] 杨勋,王江晴. IP 地址安全性研究及实验分析 [J]. 武汉工程大学学报, 2007, 29(3): 83-86.
- [4] Dzvid Zeltserman. A Practical Guide to SNMPv3 and Network Management [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 2000.
- [5] Behrouz A F, Fegan S C. TCP/IP Protocol Suite (3rd Edition) [M]. Columbus: McGraw-Hill Education Inc, 2006.
- [6] Silvia Hagen. IPv6 Essentials [M]. CA: Sebastopol, O' Reilly, 2006.
- [7] Andrew S. Tanenbaum. Computer Networks (4th Edition) [M]. New Jersey: Prentice-Hall PTR, 2003.
- [8] Rudolf Ahlswed, Cai N, Li S Y, et al. Network Information Flow [J]. IEEE Trans Inform Theory, 2000, 46(4): 1204-1216.
- [9] 王静. 网络编码理论及其应用的研究 [D]. 西安电子科技大学, 2008.
- [10] Raymond W, Yeung S, Li Y R, et al. Network Coding Theory [M]. Boston: now Publishers Inc, 2006.
- [11] Shuo-Yen Robert, Yeung R W, Cai N. Linear Network Coding [J]. IEEE Trans Inform Theory, 2004, 49(2): 371-381.
- [12] William Stallings. Cryptography and Network Security (4th) [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 2006.
- [13] Raymond W Y. Information Theory and Network Coding [M]. New York: Springer, 2008.
- [14] Joseph Davies. Understanding IPv6 [M]. Washington: Microsoft Press, 2008.
- [15] 牟丽平. IPv6 网络的关键技术研究及改进 [D]. 哈尔滨工程大学, 2007.

Using Network Coding to improve the neighbor discovery protocol in IPv6 networks

ZHANG Jin-gang^{1,2}, QUAN Yi-ning¹, ZHAO Shou-kai²

(1. School of Computer Science and Technology of Xidian University, Xian 710071, China;

2. Basic Education College of Zhanjiang Normal University, Zhanjiang 524300, China)

Abstract: By the analysis of those algorithms for neighbor discovery protocol based on ICMPv6 packets plays an important role in IPv6 networks. Combined with the basic idea of Network Coding, in order to solve the problem that wide use of the multicast packets can often lead network congestion and reduce link bandwidth utilization, a theoretical improvement approach based on the Network Coding transport model is proposed. And an instance was given to verify its effectiveness.

Key words: Network Coding; IPv6; neighbor discovery; ICMPv6

本文编辑:陈小平

☆

(上接第 93 页)

The simulation and emulation of BP network in induction motor inverse system

XIONG Da-wei, LIAO Dong-chu, OU Wen-jun, BIE Wei

(School of Electrical & Electronic Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: For some complex nonlinear systems, it is difficult to achieve by the traditional analytical form. This paper proposes a construction method based on BP network to achieve inverse system with non-analytical form, and combines with induction motor model to produce neural network inverse model of the induction motor by MATLAB simulation. Comparing the results shows that the output error of neural network inverse system is very small, which indicates BP network inverse system construction strategy is feasible.

Key words: BP network; the inverse system; induction motor; MATLAB simulation

本文编辑:陈小平