

基于 Internet 的路由策略研究综述^{*}

贺 红¹ 袁胜忠¹ 马绍汉²

(山东理工大学计算机系 淄博255012)¹ (山东大学计算机系 济南250100)²

A Survey of Routing Protocols Based on the Internet

HE Hong¹ YUAN Sheng-Zhong¹ MA Shao-Han²

(Department of Computer, Shandong University of Science and Technology, Zibo 255012)¹

(Department of Computer, Shandong University, Jinan 250100)²

Abstract Routing protocol is one of the kernel technologies of the Internet. The swift and violent development of the Internet enables the study of routing protocols to be an important research direction of computer science. This paper shows opening problems in the traditional best-effort model used on Internet that cannot guarantee the quality of service of the rigid business and gives some studying directions.

Keywords Internet, Routing protocol, QoS, Routing algorithm

1 前言

Internet 作为面向信息传输、交换、存储、访问的网络,是面向应用的计算机网络,它的发展趋势是“更大、更快、更安全、更及时、更方便”。近十年来,通信技术和计算机技术的快速发展,推动了网络技术的更新,具体表现在:网络应用已经从传输单一的正文数据发展到传输语音数据和视频数据,以及集成多种类型的数据传输的多媒体网络应用;从传统的点到点交互,发展到单点到多点交互和多点到多点之间的交互;从传统的集中控制结构发展到分布控制结构,进一步发展到联邦(具有不同行政管理域的)控制结构;从传统的尽力而为的(Best Effort)、没有任何服务质量要求的服务模式,发展到高速传输服务模式和具有服务质量(Quality of Service)保证的高性能网络服务。为了不断提高网络性能,需要深入开展网络基础研究。网络基础研究主要包括以下内容^[1]:

(1)网络体系结构。这是网络研究中最基本的课题。

网络协议模型。在现代高性能网络环境下,网络协议已经扩展到多方交互协议、具有时间限制的交互协议以及具有不同服务质量要求的交互协议。如何建立这类环境下的协议交互模型是一个重要的课题。有关专家建议研究^[2]:a)多点交互的协议模型,如应用于计算机会议系统的协议行为模型;b)具有 QoS 约束的协议模型,如具有时延限制的协议模型;c)具有主动性的协议模型,如可编程协议模型和移动智能代理协议模型。

(2)网络协议控制算法。如差错控制、拥塞控制以及流量控制算法等是决定协议优劣的主要因素。有关专家建议研究^[2]:a)多点交互协议中的差错控制、拥塞控制以及流量控制算法;b)具有 QoS 约束的协议中的差错控制、拥塞控制以及流量控制算法;c)QoS 路由选择算法和多播路由选择算法,其中 QoS 路由选择问题是一个 NP 完全的问题。

(3)网络性能评价模型。将研究的成果最终映射为可以实现的网络系统。

技术和应用需求的发展,暴露了当前网络技术的瓶颈。路

由策略作为 Internet 上的核心协议,其研究与发展有极其关键的作用^[1]。在对路由策略的研究中,我们需要研究的主要问题在于:

(1)如何解决高速传输信道与低速的协议软件处理之间的矛盾,将成熟的或新研制的高速计算方法与工具引入协议软件处理中来;

(2)如何解决多种网络应用需求与单一网络服务之间的矛盾,使路由策略能够在多种需求条件约束下满足服务质量的要求;

(3)如何解决动态应用需求与静态网络服务提供之间的矛盾。

2 与路由策略相关的概念

一个典型的计算机网络包含了一定数量的局域网 LAN 和广域网 WAN,而这些网络之间都是通过路由器来连接的。

路由选择策略也称为路由协议(Routing Protocol),它是路由器之间实现路由信息共享的一种机制,它允许路由器之间相互交换和维护各自的路由表。当一台路由器的路由表由于某种原因发生变化时,它需要及时将这一变化通知与之相连接的其它路由器,以保证数据的正确传递。目前路由器中常用于 TCP/IP 的路由协议包括 RIP、IGRP、OSPF、NLSP 和 EIGRP 等。

路由选择策略或路由协议的实现算法又称路由算法。

习惯上,我们按照路由机制来划分,把路由选择策略简单地分为静态路由选择策略(static routing protocol)和动态路由选择策略(dynamic routing protocol)两种。其中,静态路由策略是预编程的、依靠手工输入的信息来配置路由表的方法,其路由器早已编好程序为到来的分组预定了出口,它不用测量也不需利用网络信息,只是按照某种固定规则进行路由选择,其实现算法可分为泛射路由选择、固定路由选择和随机路由选择三种算法^[4]。静态路由最大的问题是:当网络变化时,它要求手工配置,一旦网络出现故障也必须人工排除。所以,它的使用就受到了限制。然而,在稳定的网络中熟练地使用静

^{*} 本研究工作得到国家自然科学基金(69873027)资助。贺 红 博士,副教授,主要研究领域为计算机软件与理论。袁胜忠 工程师,主要研究领域为软件工程,网络优化。马绍汉 教授,博士生导师,主要研究领域为组合优化算法。

态路由能够减少路由选择问题和路由选择数据流的过载^[5]。静态路由的价值还表现在构筑大型网络中,各大区域通过一到两条主链路连接。静态路由的隔离特征有助于减少整个网络中路由选择协议的开销、限制路由选择发生改变和出现问题的范围。

结点的路由选择要依靠网络当前的状态信息来决定的策略,称为动态路由选择策略。这种策略能较好地适应网络流量、拓扑结构的变化,有利于改善网络的性能。但由于算法复杂,会增加网络的负担。独立路由选择、集中路由选择和分布路由选择是三种动态路由选择策略的具体算法^[4]。如果没有特别说明,我们所提到的路由算法都是动态路由选择策略的实现算法。

成熟的路由策略有两种基本的路由算法^[3],即距离向量算法和链路状态算法。在距离向量算法中,相邻路由器之间周期性地相互交换各自的路由表备份。链路状态算法,有时也称为最短路径优先算法,它需要每一个路由器都保存一份最新的关于整个网络拓扑结构数据库。

每一种路由算法都有其衡量“最佳”的一套原则。大多数算法使用一个量化的参数来衡量路径的优劣。一般来说,参数值越小,路径越好。该参数可以通过路径的某一特性进行计算,也可以在综合多个特性的基础上进行计算。几个常用的特性或尺度(metrics)为:路径所包含的结点数或跳数、网络传输费用、带宽、延迟、抖动、负载、可靠性和最大传输单元 MTU(maximum transmission unit)。

3 基于 QoS 的路由策略

为了保证网络的服务质量,满足人们对网络应用不断增长的要求,基于 QoS 的路由算法越来越受到人们重视。目前的网络模型,大都对网络结点之间的边或链路按照一个或几个参数加权,以求得“可达”的“最短路径”为路由选择的衡量标准,从而设计出基于多条件约束的适应服务质量要求的路由选择优化算法^[6,7]。根据多个 QoS 约束的尺度来选择可行的路由以满足应用所需的延迟、带宽和丢失率等要求成为路由算法的核心。

基于服务质量的 QoS 路由问题最早由 Lee 提出,其在网络拓扑聚集对 QoS 路由的影响方面的工作对 ATM 论坛制定和研究 PNNI 有较大影响。QoS 路由选择的目标有两个:(1)所选择的路径必须是满足 QoS 约束的可行路径;(2)所选择的路径必须尽量有效地使用网络资源并使网络的资源利用率最大。

QoS 路由算法即是选择优化一个或多个尺度的路由。同时,尺度的性质随 QoS 要求的不同,不再如传统路由协议采用的跳数、链路费用等只是可加性的,如丢失率是乘积性的,而带宽是极值性的。定理证明^[2],当单点投递 QoS 路由算法要在计算路径时同时考虑两个或两个以上可加性或乘积性尺度时,问题等价于划分问题,是 NP 完全的。对于多点投递 QoS 路由算法,上述结论依然成立。所以,QoS 路由问题的核心就是对网络多约束条件下路由选择中的 NP 完全性问题求解^[7]。要解决 QoS 路由的 NP-Hard 问题,关键在于如何针对相应问题的特殊性寻求其特定的可行解。当前,正在进行的 QoS 路由研究包括以下几个方面:

- (1)适应 QoS 路由机制的网络模型研究;
- (2)可扩展的多点投递 QoS 路由选择机制研究;
- (3)基于应用流 QoS 路由机制。

在 QoS 路由算法的研究中已经取得的成果包括基于遗传算法的 QoS 路由选择策略、基于模糊神经网络的 QoS 路由机制、适应 QoS 路由机制的网络模型研究及其在 BF 算法中的应用、基于测量的流分类模型及其在受控负载服务 CLS (controlled load service) 的 QoS 路由算法中的应用等。与 QoS 路由问题相关的 NP 问题的求解也再次激发了计算理论的研究。

4 路由算法设计的基本原则

在因特网中任意两个结点间都存在多条“可达”路径,如 Ipv4 使 Internet 中任意两结点之间保存 4 条路径,Ipv6 使 Internet 中任意两结点之间保存 6 条路径。现有的路由算法虽然很多,但几乎都是在 Bellman-Ford(BF)算法基础上用费用最小作为优选标准从这些保存的路径中选择费用最小的一条用于两点之间的路由。鉴于目前路由算法的约束条件越来越多,算法设计越来越复杂的趋势,我们给出下述设计路由算法的基本原则:

(1)等强设计的原则 在机械设计中有一个原则,叫等强原则。意思是,在设计一个机器零件时要使每一个部分的强度相等。这样,机器零件的各部分才会达到同等的使用寿命,不会因为一个部分先报废而使其它完好的部分浪费。此法借鉴到设计路由算法中来,实质就是要求算法的设计能够保证网络各部分路由资源配置合理,从而避免网络中路由资源的过剩或不足。

(2)降低成本的原则 一般地,为了网络安全和路由容错技术的要求,最好能在路由器中存储尽可能多的可达路径供路由算法选择。在应用中与一般想象的相悖,可供选择的可达路径又并非越多越好,因为对路由器而言,选择不是免费的而是需要花费成本的。那种认为在路由算法设计中包含的参数越多越好、可供选择的路径越多越好的期望只有在选择是无需成本的情况下才能成立。为了做出合理的路由选择,需要相关的信息,这些信息的获得、比较与筛选都会消耗网络资源,从某种角度来看,参数越多、信息量越大,消耗的资源就越多,路由选择的成本就越大;有时最佳的算法就是成本最大的算法。

(3)面向应用中的服务质量要求的原则 网络的应用大致分成四类^[8]:a)非实时数据(或正文)传送;b)实时图像传送;c)实时声音传送;d)视频会议传送。

面向上述四类应用,可以对现有路由算法分别加以改进,确定一个主要尺度,然后再在可行路径中按照其尺度对应用服务质量要求的影响程度,依次优化,找出最佳或近佳路径。有两种方法,一是直接选用两个以上的路由尺度进行组合,用相应的多尺度路由选择算法;二是根据应用服务质量需求,设计一个加权“费用”函数,用传统的单尺度路由选择设计“费用”最小的路由算法。对于前者,Lee 等人提出了一种最短最宽路径(SWP)算法^[8],它先寻找网络上具有最大瓶颈带宽的路由,若这样的路由多于一条,就选择有最小延迟的路由。Chotipat 等人也提出一种回退路由(FB)选择算法^[9],每次只用一类尺度作为选择标准,在选中者中再对下一个参数尺度进行匹配,若不满足应用要求再另选。这些算法要求使用的网络状态信息是准确的。而第二种方法则对状态信息的准确性要求不高,而且为解决多条件约束的路由选择问题提供了新的研究思路。

研究 Internet 中的路由策略,可以以设计提高计算机网

络性能的路由算法为目标,考虑网络的动态性与分布性,利用原有的人工智能成果,围绕智能化路由策略的分析和实现算法展开。不确定模型、动态模型和自适应模型这三类模型是目前研究的热点^[10,11]。

不确定模型是针对网络状态信息的不精确而提出的。由于在真实的网络中,不可能做到随时更新网络状态信息,加之网络规模的不断扩展和网络本身的分层结构,导致网络状态信息必然存在某种程度上的不精确性。解决的途径有:采用模糊理论进行不精确描述和概率分析;鉴于神经网络不需要精确的系统描述,只需要训练学习,能够实现联想推理,容错性强,且具有并行结构,实时性强,因此可以采用神经网络对不精确模型进行建模;在网络系统的路由、调度、接纳控制等算法中引入随机性方法与策略;将预先计算和在线计算相结合等。

动态模型的最显著特征是其动态特性,即系统必须在运行过程中实时地处理所出现的异常、随机事件和局部故障,实现动态重构,而且,动态模型应该能够对分布实时资源进行管理,及时监测外部环境和内部状态引发的分布应用负载变化,并依据性能需求参数和当时的系统资源状况实时地调整资源分配。

自适应模型的研究目标是通过引入资源管理策略及其实现机制,为网络应用提供可靠、高效、公平的系统服务。特别应该指出的是,由于 Agent 具有自适应性、自主性、学习性和社会性等特征,因此它是实现自适应分布实时资源管理的一种理想机制。

5 高性能网络及 QoS 路由策略研究中存在的问题

网络体系结构是分层结构的协议集合。协议是网络的心脏和血液。它使网络能够正常运行,并充满活力。Internet 使用的是一个超大型的并行计算机软件系统,协议的问题基本上是一个软件问题。到目前为止,Internet 的协议软件开发还是随意的,并逐步扩大的。计算机软件没有解决的理论问题,协议的实现也同样没有解决。因此,协议基础理论研究在网络基础理论研究中的地位十分重要,对协议实现效率的研究更加具有挑战性。在 Internet 以 IP 协议为主导的大量网络协议当中,路由协议或策略的改进与完善对提高网络性能,保证网络服务质量起着至关重要的作用。

二十多年来,尽管网络、计算与通信技术不断地改进和提高,但是对基于软件的路由策略的需要并没有被基于硬件的路由器技术所取代。影响路由策略的关键技术包括:

- (1)能运行于低端计算机上的路由软件的研制;
- (2)多层转移;
- (3)下一代路由策略。

问题还在于目前的 Internet 协议标准 RFC 仍然用自然语言描述,没有形式化描述,也没有经过验证。其中,路由协议的实现也主要采用人工编制完成,没有经过严格的一致性测试。对于多种协议软件之间的通信和集成,目前还没有较好的理论模型,也缺乏互操作性测试。测试是用实验的方法对一个具体系统行为特性的测量。协议测试是用一种有效的方法对协议实现进行评价,以保证不同协议彼此之间能够完全互连和互操作^[12]。所以,随着网络技术高速发展、大量新的协议不断提出,为了更好地研究实现协议,应该采用协议工程的方法,其研究范围包括协议说明、协议证实、协议验证、协议综

合、协议转换、协议性能分析、协议自动实现和协议测试等方面。

据“计算机世界”报2001年9月10日第35期“国际动态”版报道,美国加州 Peribit Networks 公司宣布推出一项新技术。这项叫做分子顺序压缩(MSR)的技术是以研究 DNA 所用的模式识别算法为基础的。MSR 软件可以发现数据包中的重复模式并将标记赋予这些模式。据开发 MSR 的 Amit Singh 说,用标记代替重复的数据包可以将广域网的总传输负载减少 70%~90%。对 MSR 的 SR-50 进行的测试已经证明它可以在 WAN 上节省大约 60% 的带宽。专家一致认为,这是一项真正的突破。这项突破性技术使“窄带宽用”成为现实,给我们路由策略研究带来了新的思路:带宽不是路由的“瓶颈”,主要的传输成本从网络拓扑的边上转移到结点上。

目前的路由选择算法,大都建立在链路加权的网络模型基础上,对于早期带宽资源不足、链路速度较低的网络状况,忽略结点处理速度的这种模型是能够满足要求的;而对于现在 Internet 上互连网络的能力差异很大、高速光纤链路普及并且可以“窄带宽用”的情况,忽略结点的因素就不能很好地抽象出网络特性。因此,可以在以往用赋权有向图建立的网络模型上将结点的权考虑进去,发展新的网络模型或改进已有的模型,同时对建立在这些模型上的路由策略实现算法进行相应的改进。

与传统的静态网络模型相比较,依赖于时间的动态网络模型更具有现实意义。已经有实例证明 Dijkstra 算法在该模型上不能有效地求解最短路径(SP)问题,文[10]给出基于该模型的求解最短路的一个稳定的实用反馈式神经网络,能够实时地求出最短路的精确解而不是近似解。该神经网络算法用于快速更新路由选择表,能极大地提高网络响应速度。

总之,高性能的网络体系结构正在改变网络构造、网络互连和管理的模式,主动网结构、可编程网络结构成为研究热点,不断地研究与改进路由策略理论及其实现算法是计算机理论的一个发展趋势。

参考文献

- 1 Floyd S, Fall K. Promoting the use of end-to-end congestion control in the Internet. IEEE/ACM Trans. On networking, 1999, 7(4)
- 2 罗万明, 林闯, 阎保平. TCP/IP 拥塞控制研究, 计算机学报, 2001, 24(1)
- 3 Sportack M A. IP Routing Fundamentals. Cisco Press, 1999
- 4 杨明福主编. 计算机网络技术. 经济科学出版社, 1999
- 5 He Hong, Ma Shao-han. Routing protocols for transmitting large databases or multi-databases systems. Wuhan University Journal of natural sciences, 2001, 6(1-2)
- 6 Feng Jing, Ma Xiao-Jun, Gu Guan-Qun. Research of network model adapt to QoS routing mechanism. Chinese Journal of Computer, 2000, 23(8): 802~804
- 7 Liu Qian-Li, et al. An optimal algorithm on multiple constrained QoS routing. Journal of Computer Research & Development, 2001, 38(3)
- 8 Lee W C, Hluchyj M G, Humblet P A. Routing subject to QoS constraints in integrated communication networks. IEEE Network, 1995, 9(4): 46~55
- 9 Chotipat P, Goutam C, Noria S. QoS based routing algorithm in integrated services packet networks. Journal of High Speed Networks, 1998, (7): 99~112
- 10 He Hong, Zhu Da-ming, Ma Shao-han. A New Algorithm for Shortest Paths Computation by Neural Networks on Time-dependent Networks, to be appeared in Journal of Software, Nov. 2001
- 11 曾志芳, 钟亦平, 张世永. 基于第三代移动通信技术的互联网. 计算机科学, 2002, 29(3)
- 12 Hopfield J J, Tank D W. Neural computations of decisions in optimization. Biol. Cybern, 1986, 52: 141~152