

• 学术论文与技术报告 •

一种基于MPLS业务量工程的选路机制*

金明晔** 李乐民 徐政五

(电子科技大学通信与信息工程学院, 电子工程学院 成都 610054)

【摘要】分析了诸如受限路由等传统QoS路由机制“业务震荡现象”出现的原因,给出了呼叫级QoS路由和分组级QoS路由的概念,在此基础上提出了多标签QoS路由机制(MLR),作为一种分组级QoS路由机制,多标签QoS路由机制不仅能够从理论上避免业务震荡现象的出现,同时由于采用了业务量工程的业务均衡的思想,从而提高了全网的业务性能指标,仿真的数据结果可以在同时运行实时业务和非实时业务下得到。

关键词 QoS路由; 多协议标签交换; 业务均衡; 多标签

中图分类号 TN919.3

1 问题描述

当前的因特网只能提供“尽量传输”的服务而不能保证服务质量(QoS)。随着因特网的快速发展,它已成为商务信息的基础构架,对能够提供服务质量保证的要求越来越迫切^[1, 2]。很显然,大量QoS的提供能够在未来宽带因特网上更多更好的多媒体等服务。例如,除了传统“尽量传输”类型的业务如电子邮件外,网络应该还有其他需要可靠和快速的信息传输如电子商务,以及一些需要低时延和时延抖动的传输如IP电话和会议电视。因此,现在的IP网络需要进一步的加强和改善来提供不同质量的服务。多协议标签交换(MPLS: Multi-Protocol Label Switching)能够为IP网络提供面向连接的服务,使QoS在IP上实现得到基本的保障。MPLS^[3]在IP网络上实现有效的明晰路由(explicit routing)机制,该机制使数据流沿着事先找到的路径(LSP)进行传输,而不是象OSPF或IS-IS那样,根据目的地址逐跳寻找路径。

QoS路由的基本目标是为有QoS要求的业务选择一条能够满足其特定QoS要求的路径^[4, 5]。最初的QoS路由算法只是需要找到一条能够满足如带宽、时延等QoS要求的路径^[6],但是当网络承载的业务较重时,因网络资源的缺乏或网络业务的不均衡分布,会导致网络拥塞的出现。受限路由的提出就是对最初QoS路由的延伸/扩展^[5],它选择路由不仅仅考虑到业务的QoS要求,而且以提高网络利用率为目标,即网络必须同时考虑到链路上的其他限制条件,如资源利用率等,并将其作为路径代价。其结果是,网络可能会选择一条负载较轻但较长的路由,而不是一条较短但负载较重的路由。这样网络的业务分布将更加均匀,也是实施业务量工程的一个途径,但是,这样却会导致网络的不稳定,出现“震荡”的现象^[7, 8]。这意味着在最坏的情况下,如果两个源宿节点之间的原始的路径拥塞,所有从该源节点到达同一个目的节点的业务将会从原始路径转移到替代路径上去,有可能会造成替代路由的拥塞,所有业务又将转移回最初的原始路径,这种现象称为“震荡”。该现象将严重影响网络的稳定性,而且随着业务流中数据量的增加而加剧,因为每次网络只能为业务找到一条路由来进行传输,只有在传输完一个业务流后才能为下个业务流进行寻径的工作,当业务负载较重、拥塞路径上的传输的业务流的数据量又极大时,该路径上拥塞只有在传输完响应业务流之后才能得

2001年8月27日收稿

* 国家自然科学基金资助项目, 编号: 69882003; 国家教委博士点基金资助项目, 编号: 98061409

** 女 27岁 博士生

到缓解,因此“震荡”就不可避免了。重路由或重优化能够改善这个现象,但是不能从根本上消除该现象^[1],重路由或重优化后一段时间,随着网络负载的增加,“震荡”现象可能再次出现,网络又将不稳定。而且在进行重路由或重优化的时候,需要占用大量资源和时间,甚至导致数据丢失。为了从根本上解决这个问题,同时使网络的资源利用率更高,我们使用业务量工程的基本思想,可以在多条路径上进行负载的平衡,有关的思想在文献[9]中已经有论述,本文将多条路径上负载平衡与支持多等级业务结合起来,提出了“多标签选路机制”。多标签选路机制是业务量工程在QoS路由上应用。

呼叫级QoS路由的概念是基于每一个不同的业务呼叫来进行寻径的,网络只考虑如何找到一条符合要求的路径,而呼叫阻塞率是衡量的主要指标。传统的QoS路由包括受限路由都属于呼叫级QoS路由机制。随着在Internet上对QoS的要求的不断增加,仅仅考虑呼叫要求的满足,而不考虑网络整体性能和资源利用的效率是不合理的,而且Internet所要求的全网性能不仅仅有呼叫阻塞率也有分组平均时延、时延抖动以及分组丢失率等。为了追求全网性能和资源利用的优化,一个分组级QoS路由的概念被提出。在呼叫级QoS路由的基础上,分组级QoS路由将致力于业务量的均衡以及资源的最佳利用,以业务呼叫内的分组为单位进行一定的处理,从而使得网络的性能如分组时延、分组丢失率等得到提高。多标签路由机制(MLR: Multi Label Routing)是一个分组级的QoS路由机制,它与呼叫级QoS路由一起起作用。因为在MPLS域里,“标签”被用来标识“标签交换路由”,而多标签路由机制的基本思想正是为每个业务呼叫都选择多条满足相应QoS要求的路径。当源节点和宿节点之间的路径发生拥塞,该呼叫业务流内未被传输的分组将被及时寻径到其他替代路由中。由于对呼叫业务的路由处理是在分组一级,该路径上拥塞可以及时被缓解,而不用等到该业务流传输完毕。换句话说,业务流将根据路径的拥塞状况均匀地分布在多条路径中,因此造成“震荡”的原因不存在了,“震荡”现象也就从根本上消除了。这正是MPLS业务量工程的本质。

2 多标签QoS选路机制

2.1 多标签路由机制(MLR)和单标签路由机制(SLR)

具有MPLS能力的IP网络是一个面向连接的网络,网络为每一个业务呼叫建立一条标签交换路由(LSP: Label Switching Path)。在MPLS域里,标签标识着标签交换路由,因此我们借用“标签”来命名我们的路由机制。MLR就是为一个呼叫业务流选择多条合适的路径,而相对应的单标签选路机制(SLR: Single Label Routing)就是只为呼叫业务流选择一条合适的路径,因此单标签选路机制就是呼叫级QoS路由机制。传统的QoS路由机制如受限路由均属于单标签选路机制。下面将以受限路由作为单标签路由机制的典型例子与多标签选路机制进行比较。

为了对MLR的性能进行验证,我们用“拥塞因子”来描述路径上的拥塞状态,并在此上提出“最小拥塞路由算法”(LCR: Least Congestion Routing)来简单实现MLR的思想,该算法的基本思路如下:

- 1) 选择最小代价(least cost)路径,可以用OSPF得到;
- 2) 如果最小代价路径发生“拥塞”,则第二或第三最小拥塞的路径将被选择。

为了便于比较,本文在相同定义下给出了SLR的简单算法。因此这个“最小拥塞算法”在MLR和SLR两个不同选路机制下有了两个不同的实现,即最小拥塞多标签选路机制(LCR-MLR)和最小拥塞单标签选路机制(LCR-SLR)。

2.2 最小拥塞算法(LCR)

2.2.1 定义

首先定义算法中用到的相对缓存利用率、最小拥塞链路以及最小拥塞路径。

1) 相对缓存利用率

$B^k(e)$ 是第 k 优先级在链路 e 入缓存器上的相对缓存利用率。即使是在相同网络状态下, $B^k(e)$ 都会随着业务等级的不同而不同。因为采用的排队系统是一个 Head-Of-The-Line 优先级或称为 strict priority 排队系统^[10], 不同等级的业务将严格按照所属的优先等级进行排队, 这样到达的优先级 k 的分组将会排在所有优先级大于等于 k 的分组之后 而在所有优先级小于 $k-1$ 的分组之前。因此当一个呼叫业务流到达时, 将只计算那些被相同或更高优先级分组占用的缓存。如图 1 所示, 共有 K 个优先级的业务在队列中, 从最低优先级 1 到最高优先级 K , 其相对应的业务所占用的空间分别为 $S_1, \dots, S_{k-1}, S_k, S_{k+1}, \dots, S_K$ 。整个空间大小为 S 。如果新到达的属于第 k 优先级, 那么

$$B^k(e) = \frac{(S_k + S_{k+1} + \dots + S_K)}{S} \quad (1)$$

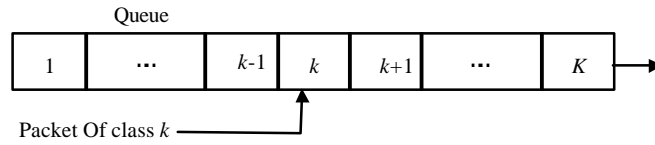


图 1 Head-Of-The-Line 优先级队列

因此对于总共 K 个业务优先级就有如下关系

$$B^K(e) \leq \dots \leq B^{k+1}(e) \leq B^k(e) \leq B^{k-1}(e) \dots \leq B^1(e) \quad (2)$$

这就保证了不同类型业务的优先等级。

2) 链路拥塞度

在此定义一个拥塞因子来表示拥塞度。链路 e 上优先级为 k 的业务拥塞因子是

$$D^k(e) = (C(e) * B^k(e)) \quad (3)$$

式中 $C(e)$ 表示链路 e 上已经被占用的通道数, $B^k(e)$ 表示优先级 k 的业务在链路 e 的相对缓存利用率。

3) 最小拥塞路径

对于优先级为 k 的业务, 从源节点 s 到宿节点 d 的路径 i 上的拥塞因子(或拥塞度)为

$$D_i^k(s, d) = D_i^k(e_1, e_2, \dots, e_n) = \max(D^k(e_1), D^k(e_2), \dots, D^k(e_n)) \quad (4)$$

其中路径 i 由链路 e_1, e_2, \dots, e_n 构成 (n 是构成路径 i 的链路数目)。

假设 $P(s, d)$ 是源 s 节点到宿 d 节点的路径的集合, 而 $p(s, d)$ 是从 $P(s, d)$ 中被选中的路径, 那么 $p(s, d)$ 必须具有最小的拥塞度, 也必须满足以下条件

$$\min_{i \in P(s, d)} (D_i^k(s, d)) \quad (5)$$

此处 i 是路径集合 $P(s, d)$ 中每条路径的标识号, 而路径集合 $P(s, d)$ 可以通过传统 QoS 路由算法或呼叫级路由算法获得。

2.2.2 算法描述

在最小拥塞路由算法的基础上, MLR 和 SLR 有着不同的选路的方法, 从而我们得到了两个不同的算法 LCR-MLR 和 LCR-SLR。在 LCR-SLR 下, 只有具有最小拥塞因子的最小代价路径才分配给到达的数据流。而在 LCR-MLR 下, 由于数据流的到达是一个长期的过程, 在数据流传输的过程中, 网络的拥塞状态可能会发生变化, 因此网络总是将最小拥塞的路径分配给该数据流, 如果该路径在数据传输过程中变得“拥塞”了, 那么网络会另外寻找一条当前最小拥塞的路径给该数据流, 这条路径相对与先前分配被称为第二最小拥塞路径。因此对于 LCR-SLR, 只将最先得到的所谓第一最小拥塞路径分配给数据流。两个算法流程如图 2 和图 3 所示。

- (1) 过程 LCR-SLR ()
- (2) 新业务流到达节点 s , 其目的节点是 d ;
- (3) 若该业务流未被接入, 转到步骤(8);
- (4) 否则, 得到该业务流的业务等级, 并计算出其具有最小代价的适合路径;
- (5) 计算出从 s 到 d 的所有适合路径的拥塞因子;
- (6) 如果最小代价的路径的拥塞因子最小, 那么将该路径分配给业务流;
- (7) 否则得到具有最小拥塞因子的路径并将其分配给业务流;
- (8) 结束。

图2 LCR-MLR 算法流程

- (1) 过程 LCR-MLR ()
- (2) 新业务流到达节点 s , 其目的节点是 d ;
- (3) 若该业务流未被接入, 转到步骤(10);
- (4) 如果到达业务流已经没有待传分组, 转到步骤(10);
- (5) 否则, 得到该业务流的业务等级, 并计算出其具有最小代价的适合路径;
- (6) 计算出从 s 到 d 的所有适合路径的拥塞因子;
- (7) 如果最小代价的路径的拥塞因子最小, 那么将该路径分配给业务流;
- (8) 否则得到具有最小拥塞因子的路径并将其分配给业务流。
- (9) 若还有待传分组, 转到步骤(4);
- (10) 结束。

图3 LCR-SLR的算法流程

3 系统模型及实验数据结果

3.1 系统模型

本文在八节点的逻辑全连接的实验网络上对实时业务(RT: Real-time)如话音业务和非实时业务(NRT: Non-real-time)如尽量传输的数据业务中作有关算法的性能仿真。

假设实时业务为符合on-off模型的话音业务^[11], 其on和off的持续期服从均值为 m_{on} 和 m_{off} 的指数分布。非实时业务以到达率 λ 泊松到达, 每一个出链路上的缓存器大小为 B 。

由于实时业务为话音业务, 话音业务对时延最为敏感, 因此以端到端时延作为业务的QoS要求^[5], 在话音业务到达时, 系统以当前端到端时延对该业务做呼叫接入控制, 即若当前端到端时延小于达到业务要求的时延指标, 该业务呼叫被接纳, 否则拒绝。分组丢弃采用尾丢弃算法(Tail-drop), 即发生队列拥塞时, 队列尾部的分组被首先丢弃。所有队列均为先进先出队列(FIFO: First-In-First-Out)。在相同的呼叫接入控制、排队策略、分组丢弃策略下, 仿真实验对MLR和SLR作了比较。

3.2 实验数据结果

假设 $B=1\ 000$, $m_{on}=200$, $m_{off}=20\ 000$, $v_c=100$, $v_t=200$ 。RT代表实时业务, NRT代表非实时业务。同时仿真中采用相对关系描述系统, 1时间单位(TU: time Unit)就是总体全网数据到达率的归一化结果, 这样所有的参数 m_{on} , m_{off} , λ , v_c 和 v_t 的单位都是基于TU的。

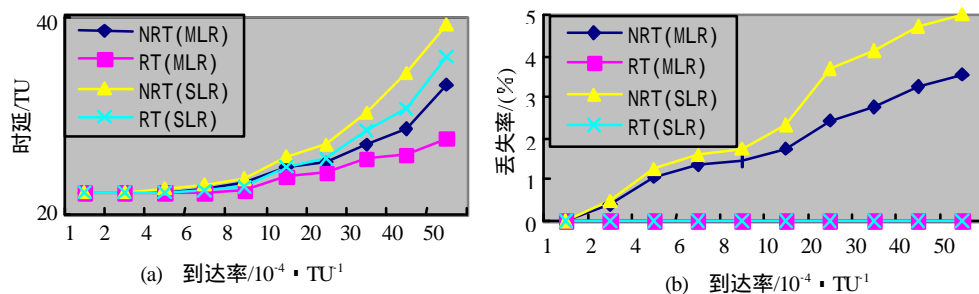


图4 MLRSLR 的时延与分组丢失率的比较

图4a中曲线显示SLR下实时与非实时业务的分组时延均高于MLR的相应指标, 当业务到达率增加即网络负载加重时, 这个现象更为明显。图4b中显示, 实时业务的分组丢失率接近于零, 此时非实时业务的丢失率成为衡量的主要指标, 曲线显示在MLR下, 非实时业务的分组丢失率也小于SLR

下的分组丢失率, 同样在负载较重时, 此现象更为明显。

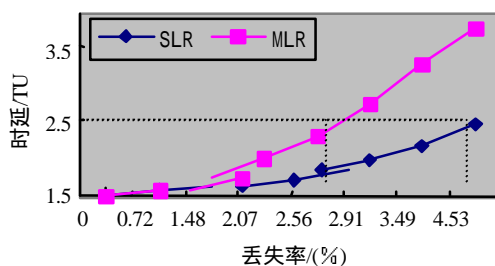


图 5 MLR 与 SLR 基于最大时延的比较

由于分组时延是话音等对时延敏感的业务的主要 QoS 指标, 在进行相同呼叫接入控制的情况下, 如果用户能够容忍的最大时延为 $2.5(10e+1TU)$, 则在最大时延限制下, MLR 的呼叫阻塞率大约为 2.5% 远小于 SLR 的呼叫阻塞率 4.5%。说明在同样满足用户时延要求下, MLR 可以接纳更多的业务请求, 它是建立在更好利用地网络资源的前提下。

4 结 论

本文在传统 QoS 路由机制的基础上, 根据 MPLS 业务量工程, 提出了分组级 QoS 路由机制的概念, 并说明了重要性。MLR 作为一种分组级 QoS 选路机制, 与传统呼叫级 QoS 路由机制如受限路由一起配合, 能够为业务数据流多条最小代价的路径, 因而能够均衡业务流, 优化网络资源, 避免“震荡”现象。本文同时给出了能够实现 MLR 思想的算法——“最小拥塞路由算法”。仿真实验证明, 在 MLR 下全网的分组级指标如分组时延、分组丢失率均低于 SLR 的相应指标, 而在相同呼叫接入控制机制下, MLR 的呼叫阻塞率也远小于 SLR, 特别是考虑到分组时延的性能时发现, 在最大分组时延限制下, MLR 的阻塞率也远小于 SLR。说明了在原有呼叫级 QoS 路由机制的基础上, 如果能够进行进一步的分组级 QoS 路由处理, 将会明显提高网络的整个性能以及单个业务的性能。但是这一性能的增加是以算法复杂度的提高为代价得到的。不过如果对所能够选择的多条路径的数量加以限制, 在同样获得性能提高的情况下, 能够有效地控制算法复杂度的增加, 相关的研究将有待进行。

参 考 文 献

- 1 Chris Metz. IP QoS: Traveling in the first class on the Internet. IEEE Internet Computing. Mar/Apr 1999, 37-42
- 2 Ferrari D, Delgrossi L. Charging for QoS. IEEE/IFIP IWQOS' 98, keynote paper, Napa, CA, May 1998
- 3 虞红芳, 胡 钢, 李乐民. 在传统 ATM 交换机上实现 MPLS 及其关键技术. 电子科技大学学报. 2000, 29(4): 434-439
- 4 Lee W C. Routing subject to Quality of Service Constraints Integrated Communication Networks. IEEE Network, Jul/Aug, 1995, 62-71
- 5 Orda A. Routing with End to End QoS Guarantee in Broadband Networks. IEEE INFOCOM' 98. Mar 1998, 1 309-1 316
- 6 黎忠文, 熊光泽, 刘锦德. 基于分配和寻径算法的 QoS 方案. 电子科技大学学报. 2000, 29(6): 628-629
- 7 Apostolopoulos G. Quality of Service Based Routing: A Performance Perspective. Proc ACM / SIGCOMM' 98, Aug 1998, 901-912
- 8 Kurose James F. Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet. Addison Wesley Longman Inc, 2000, 243-245
- 9 Anwar Elwalid. MATE: MPLS Adaptive Traffic Engineering. InfoCom' 2001, 1 300-1 309
- 10 Leonard Kleinrock. Queuing Systems, Volume II: Computer applications. A Wiley-Interscience publication,

1976, 119-121

- 11 吴晓文, 吴诗其. 有优先级话音业务的PPRMA协议性能分析. 电子科技大学学报. 1996, 28(3): 233-241

A MPLS Traffic Engineering-based Route Selecting Mechanism

Jin Minye Li Lemin Xu Zhengwu

(Inst of Telecommunication and Information Engineering, Inst of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract By the analysis of why and how the phenomena of oscillation to be happened in traditional IP QoS routing, the new concepts of call level QoS routing and packet level QoS routing as well as the Multi-Label QoS Routing (MLR) mechanism are proposed. As a mechanism of packet level QoS routing, the MPLS, it can overcome the oscillation theoretically, and also improve the overall network performance and network resource utilization rate as well. The experiment results of simulation are achieved by simultaneously running the real-time and non-real-time traffic.

Key words QoS routing; multi protocol labe switching; traffic balancing; multi-label routing

· 简介 ·

北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心简介

北京师范大学资源与环境学院“遥感与地理信息系统研究中心”于1999年5月正式成立,为北京师范大学资源与环境学院的下属单位。

北京师范大学遥感与地理信息系统研究中心组建的目的,在于建立一支致力于遥感技术和地理信息系统支持下的遥感与地理空间信息的基础研究队伍,从事遥感基础研究、遥感受应用研究、遥感与地理信息系统工程开发研究,走产、学、研一体化的发展道路,高质量完成国家攀登项目、“863”高技术项目、自然科学基金重大项目及国际合作项目等,计划与国外知名大学联合培养博士生,同时为国家培养高水平、高层次的遥感基础研究人才,提高师大的基础研究水平。

研究中心致力于加强遥感科学基础研究,针对不同尺度研究目标的基本参数特征,检验经典物理定理与定律在遥感象元尺度上的适用性,建立并发展相适应的遥感物理模型,从而不断促进遥感基础理论研究上的知识创新,为形成科学、系统的遥感科学而努力。

研究中心作为教学和研究的集体,密切配合学院的国家地理学基地建设,设立遥感—地理信息系统博士点的申请已获得批准,将在资源与环境科学系建立遥感与地理信息系统专业,形成从大学、硕士到博士完整的遥感与地理信息系统教育体系,成为我国最强的遥感科学教育基地和国际上重要的遥感研究中心之一。

中心与国内外有广泛的合作,形成了以李小文教授为核心、国内外专家参与的研究集体,包括20余名主要学术带头人、40余名高级研究人员及10多名海外优秀青年人才。北京师范大学遥感研究中心不但是李小文教授主持的遥感基础研究基地,而且是吸引海外遥感研究人才、利用海外人才优势、进一步组织国际合作、推动我国遥感基础研究不断发展的创新基地。