

多重链路时延优化动态可用带宽分配算法*

梁根¹, 梁活民², 秦勇³

(1. 广东石油化工学院理学院, 广东茂名 525000; 2. 华南理工大学计算机科学与工程学院, 广州 510641; 3. 东莞理工学院计算机学院, 广东东莞 523808)

摘要: 为了优化多重链路多业务环境下的时延, 首先分析了带宽分配及链路中数据传输时延计算方法, 提出一种时延优化的动态可用带宽分配算法(DODBA)。该算法基于不同优先级业务的时延比较实现了剩余可用带宽的重新分配。仿真实验证明了DODBA的有效性, 能控制各链路不同业务的时延, 并提高了系统带宽资源的利用率。DODBA可用于解决大型宽带网络接入控制中的实际问题。

关键词: 剩余可用带宽; 时延间隔; 动态带宽分配; 服务质量; 系统负载

中图分类号: TP393.04 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)10-3926-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.086

Dynamic available bandwidth allocation algorithm in multi-link based on delay optimization

LIANG Gen¹, LIANG Huo-min², QIN Yong³

(1. College of Science, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming Guangdong 525000, China; 2. School of Computer Science & Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 3. School of Computer Science, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong 523808, China)

Abstract: In order to optimize the delay feature in multiple links and services environment, this paper analyzed the calculate method of bandwidth allocation and data transmission delay, and proposed an algorithm for dynamic available bandwidth allocation based on delay optimization (DODBA), it realized residual available bandwidth reallocation and guaranteed the delay respond of high priority level business. Simulated experiments prove that DODBA is effective and can control the services delay and improve utilization ratio of system bandwidth is proved to be effective. It can be used to solve the control problems in large-scale broadband access network.

Key words: residual available bandwidth; delay interval; dynamic bandwidth allocation; QoS; system load

0 引言

随着 Internet 持续高速发展, 网络业务逐渐向集语音、视频、高速数据为一体的多媒体宽带业务发展^[1]。传统语音业务所需带宽较低, 并且多为恒定比特率, 一般基于优先级服务的带宽分配算法就可以很好地满足语音业务的服务质量(QoS)要求; 而对于普通数据业务来说, 由于其无特殊 QoS 要求, 可以通过简单的带宽预留等策略保证其一定的吞吐量^[2]。但是, 为了保证多业务的服务质量, 某些带宽分配算法常常以降低系统的总带宽利用率为代价。因此, 如何保证多链路、多业务的 QoS 是宽带接入网络中一个至关重要的问题^[3]。目前的带宽分配策略有静态带宽分配方法 (static bandwidth allocation, SBA) 和动态带宽分配方法 (dynamic bandwidth allocation, DBA)^[4]。目前有很多的支持多业务的静态带宽分配策略, 可以被归纳为完全共享策略 (complete sharing, CS) 和完全划分策略 (complete partitioning, CP) 或二者的结合^[5], 都是基于带宽如何在不同的业务流量之间分配的策略。完全共享策略的基本思想是整个带宽在所有的流量类型之间共享; 完全划分策略

的基本思想是系统中的带宽为被分为分离的带宽池; 文献[6]对 CS 和 CP 策略进行了比较, 发现在低负载情况下 CS 策略性能较好, 而在高负载情况下 CP 策略性能较好。静态带宽分配策略最大的缺点就是不能适应流量模式的变化。已有一些研究将动态控制引入带宽分配策略, 典型的不具有 QoS 保证的 DBA 算法是周期自适应交叉轮询 (interleaved polling with adaptive cycle time, IPACT) 算法^[7,8], 该算法的核心思想是通过交叉轮询提高带宽利用率、降低数据时延, 并且算法轮询周期长度随着带宽请求而动态变化; 文献[9]将固定的轮询周期分为静态和动态两个部分, 其中静态部分带宽预留给高优先级业务, 而动态部分带宽预留给低优先级业务, 从而保证高优先级业务能够获得较低的传输延时; 文献[10]提出的算法中带宽分配是按照整个系统中的不同优先级业务的带宽需求严格执行的, 即高优先级业务总是比低优先级业务先得到服务, 这种严格基于优先级的调度算法有一个明显的缺点就是低优先级的业务有可能分不到任何带宽。以上带宽分配方法的最大缺点要么就是不能适应流量模式的变化, 效果不理想, 要么就是针对单业务的。因此, 本文的研究主要集中在多业务环境下的

收稿日期: 2012-01-31; **修回日期:** 2012-03-07 **基金项目:** 广东省自然科学基金资助项目(10151601501000015); 广东省高校优秀青年创新人才培养基金资助项目(LYM08080)

作者简介: 梁根(1979-), 男, 广东高州人, 副教授, 硕士, 主要研究方向为网络协议及算法(l_gen@126.com); 梁活民(1980-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为并行计算与负载均衡; 秦勇(1970-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为网络并行分布式处理技术与应用。

动态带宽分配策略上。

1 DODBA 算法分析与设计

1.1 带宽分配及传输时延计算问题描述

设网络内共有 i 条链路 ($i = 1, 2, \dots, n$), φ_i 为链路 i 的权重, 假设每条链路的权重相等, 并且 φ_i 满足:

$$\varphi_i = 1/n \quad (1)$$

设系统支持 m 类业务, ω_j 为 j ($j = 1, 2, \dots, m$) 类业务所能获得的时延保证权重, 并且 ω_j 满足:

$$\begin{cases} \omega_{j-1} \geq \omega_j \geq \omega_{j+1} \\ \sum_{j=1}^m \omega_j = 1 \end{cases} \quad (2)$$

设 B^{total} 为系统的总带宽容量, $B_i^{\text{allocated}}$ 为链路 i 分配到的总带宽, $B_{i,j}^{\text{allocated}}$ 为链路 i 的 j 类业务所获得分配的带宽大小。那么可知, 系统的总带宽容量为所有链路分配到的带宽之和, 即所有链路中各类业务已分配带宽和可用剩余带宽之和, 可得

$$B^{\text{total}} = \sum_{i=1}^n B_i^{\text{allocated}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{i,j}^{\text{allocated}} + B^{\text{remain}} \quad (3)$$

其中, B^{remain} 表示在所有链路中各业务未利用的剩余带宽。

设 $B_{i,j}^{\text{request}}$ 为链路 i 的 j 类业务的带宽请求, $\text{delay}_{i,j}$ 为业务 j 在链路 i 上的时延, 根据业务流量在链路中的传输情况, 可得

$$\text{delay}_{i,j} = \lambda_i + P_{i,j} = \lambda_i + \frac{B_{i,j}^{\text{request}}}{B_{i,j}^{\text{allocated}}} \quad (4)$$

其中: λ_i 为链路 i 上的去抖动时延、误差时延等, 为固定常量; $P_{i,j}$ 为业务 j 在链路 i 中的处理时延, 它主要由业务的带宽请求和所分配到的带宽之比决定。

设 $\Delta D_{i,j}$ 为业务 j 在链路 i 上的连续数据包的时延差, 由文献 [11, 12] 可知, 当 $B_{i,j}^{\text{request}} > B_{i,j}^{\text{allocated}}$ 时, 处理速率低于请求速率, 在链路中引起数据包排队, 单向连续数据包的时延差 $\Delta D_{i,j} > 0$, 接收端数据包的时间间隔逐渐增大; 若 $B_{i,j}^{\text{request}} \leq B_{i,j}^{\text{allocated}}$, 在整个链路上不会引起数据包排队, 接收速率与发送速率相等, $\Delta D_{i,j} = 0$, 数据包的单向时延没有明显的变化增大趋势。

1.2 DODBA 算法设计

基于时延优化动态可用带宽分配方法主要是首先根据链路的权重和业务的申请带宽分配初试保证带宽, 然后在未用的空闲剩余带宽中再根据各类业务的时延比较进行重新分配, 其详细的步骤如下:

a) 为所有链路和业务进行初始化带宽分配。根据链路 i 的权重, 计算在初始化阶段各链路获得的带宽值为

$$B_i^{\text{allocated}} = B^{\text{total}} \times \varphi_i \quad (5)$$

在链路 i 内, 各类业务获得的初始带宽值为

$$B_{i,j}^{\text{allocated}} = \begin{cases} B_{i,j}^{\text{request}} & , B_{i,j}^{\text{request}} < B_i^{\text{allocated}} \times \omega_j \\ B_i^{\text{allocated}} \times \omega_j & , B_{i,j}^{\text{request}} \geq B_i^{\text{allocated}} \times \omega_j \end{cases} \quad (6)$$

在这一步固定保证带宽分配后, 有部分业务的请求带宽小于所获得的分配带宽, 所以有部分带宽未利用。为了利用这些剩余带宽, 定义如下集合:

$$F_{i,j} = \{i | B_{i,j}^{\text{allocated}} < B_{i,j}^{\text{request}}, 1 \leq i \leq n\} \quad (7)$$

其中, $F_{i,j}$ 表示未满足 j 类业务带宽需求的链路集合。

b) 选择某一链路为业务 j 进行额外带宽分配。由于 j 类业务时延保证权重 $\omega_{j-1} \geq \omega_j \geq \omega_{j+1}$, 如果业务 j 在所有链路上的连续数据包的时延差之和与业务 $j+1$ 相比满足以下条件:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \Delta D_{i,j}}{\sum_{i=1}^n \Delta D_{i,j+1}} > \frac{1/\omega_j}{1/\omega_{j+1}} \quad (8)$$

那么, 就对 j 类业务进行带宽分配, 分配的链路 i 为

$$\max(\Delta D_{i,j}) \quad (i \in F_{i,j}) \quad (9)$$

c) 计算具体分配的带宽大小。在分配带宽之前, 首先重置剩余带宽 B^{remain} , 可得

$$B^{\text{remain}} = \sum_{i=1}^n (B_i^{\text{allocated}} - \sum_{j=1}^m B_{i,j}^{\text{allocated}}) \quad (10)$$

由于在步骤 a) 中链路 i 的 j 类业务已经分配到了部分带宽, 这一步重新初始化 $B_{i,j}^{\text{request}}$:

$$B_{i,j}^{\text{request}} = B_{i,j}^{\text{request}} - B_{i,j}^{\text{allocated}} \quad (11)$$

设 $B_{i,j}^{\text{add}}$ 分配给链路 i 中 j 类业务的额外带宽, 那么在剩余带宽中分配给 $B_{i,j}^{\text{add}}$ 的大小为

$$B_{i,j}^{\text{add}} = \frac{\Delta D_{i,j}}{\sum_{i=1}^n \Delta D_{i,j}} \times B^{\text{remain}}, B^{\text{remain}} = B^{\text{remain}} - B_{i,j}^{\text{add}} \quad (12)$$

如果额外带宽小于请求带宽, 即 $B_{i,j}^{\text{add}} < B_{i,j}^{\text{request}}$, 那么根据下式分配:

$$\begin{cases} B_{i,j}^{\text{add}} = B_{i,j}^{\text{add}} \\ B_{i,j}^{\text{request}} = B_{i,j}^{\text{request}} - B_{i,j}^{\text{add}} \\ B^{\text{remain}} = B^{\text{remain}} \end{cases} \quad (13)$$

如果 $B_{i,j}^{\text{add}} \geq B_{i,j}^{\text{request}}$, 则

$$\begin{cases} B_{i,j}^{\text{add}} = B_{i,j}^{\text{request}} \\ B^{\text{remain}} = B^{\text{remain}} + (B_{i,j}^{\text{add}} - B_{i,j}^{\text{request}}) \\ B_{i,j}^{\text{request}} = 0 \\ F_{i,j} = F_{i,j} - \{i\} \end{cases} \quad (14)$$

当在链路 i 中处理完毕 j 类业务后, 回到步骤 b) 进行下一类业务的计算处理。

2 实验与结果分析

2.1 实验环境

为了评估本文 DODBA 算法的性能, 本文基于 OPNET Modeler 仿真工具对 DODBA 算法进行了性能仿真, 仿真实验环境中包括 3 条链路 $L_1 \sim L_3$, 每条链路的固定时延 λ_i 为 0.5 ms, 最大传输速为 100 Mbps, 系统总可分配带宽为 100 Mbps。产生的流量包含三种业务流量: 最高优先级的 EF 流、中等优先级的 AF 数据流和最低优先级的 BE 数据流, 被分别随机分配到各条链路。对比的方法为静态带宽分配算法 (SBA)、周期自适应交叉轮询算法 (IPACT), 分别对轻负载情况下和重负载情况下进行对比测试。

2.2 轻负载情况下带宽分配及时延测试

首先对轻负载情况下进行带宽分配。系统产生的总流量为 20 Mbps, 被随机分配到各条链路, SBA、IPACT 和 DODBA 控制下的各链路流量如图 1~3 所示, 由于在本阶段系统一直存在足够的可用剩余带宽, 各链路能得到足够的带宽分配, 链路中的业务流最大值和平均值相差不大。三种方法控制下链路总流量如图 4 所示, 由该图可以看出系统的总带宽利用率都约维持在 20% 左右, 相当于系统产生的业务流量总和, 没有出现丢包和拥塞的现象。图 5 表示的是各类业务流在这三种方法控制下的平均时延, 对于低优先级的 BE 业务流, 因为 DODBA

高优先级的业务流会占用低优先级业务流的分配带宽,低优先级数据包可能会处于短暂等待的状态,所以在网络负载小的时候低优先级业务流的延迟反而稍微增大了。IPACT 由于处理上的开销,低优先级的 BE 业务流时延也比 SBA 要大。对于高优先级的 EF 流, SBA、IPACT 和 DODBA 的时延则相差不大。

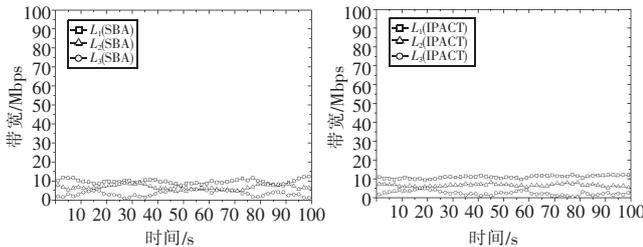


图 1 轻负载情况下 SBA 链路流量

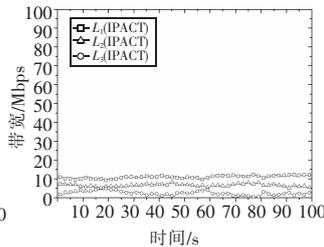


图 2 轻负载情况下 IPACT 链路流量

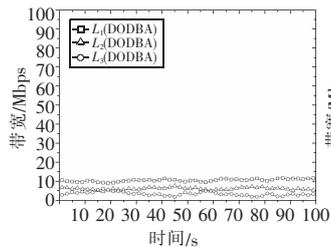


图 3 轻负载情况下 DODBA 链路流量

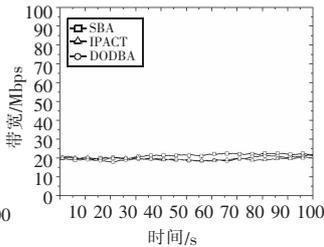


图 4 轻负载情况下链路总流量对比

2.3 重负载情况下带宽分配及时延测试

对重负载情况下进行带宽分配,系统产生的总流量为 100 Mbps,相当于系统的总可用带宽,同样地,流量被随机分配到各条链路。图 6~8 表示 SBA、IPACT 和 DODBA 控制下的各链路流量。从图 6 中可以看出,对于 SBA,由于流量较小链路的空闲带宽不能借用给重负载的链路,其最高链路流量不超过 35 Mbps。图 7 中 IPACT 的最高链路流量到达约 42 Mbps,各链路的流量相对较平缓,链路流量总和相对较高。图 8 为 DODBA 链路流量,由图可以看出,可能由于 L_1 、 L_2 分配到的是高、中级业务流,链路最高流量达约 50 Mbps,其链路流量一直维持在较高水平,随着高、中级业务流吞吐量的增大, L_3 低优先级业务流的吞吐量开始下降。图 9 表示的是重负载情况下系统总带宽利用率的对比,图中可以看出,由于部分链路空闲带宽较多并且没有被利用, SBA 的最低利用率达到约 60%,并且呈现起伏较大的情况。DODBA 的系统总带宽利用率一直维持在 90% 以上,并且相对 IPACT 平稳。图 10 表示的是重负载情况下这三种方法的时延对比,图中可以看出,对于高优先级业务流, DODBA 平均包延时约在 5 ms 以下,并且呈现线性增长的情况,相对于 SBA 和 IPACT 有较大的时延保证优势。对于低优先级业务,当网络负载增大后,随着缓冲区的填满,时延迅速增加,数据包拥塞排队稳定后时延呈平缓状态, SBA、IPACT 和 DODBA 的时延都维持在 35 ms 左右,相差不大。

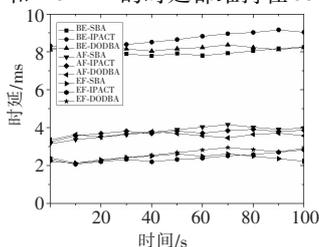


图 5 轻负载情况下时延对比

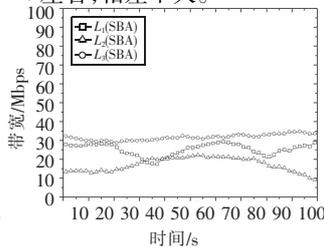


图 6 重负载情况下 SBA 链路流量

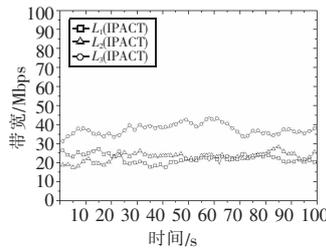


图 7 重负载情况下 IPACT 链路流量

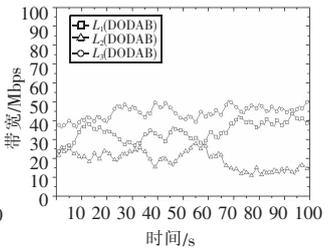


图 8 重负载情况下 DODBA 链路流量

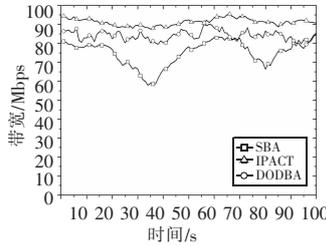


图 9 重负载情况下链路流量对比

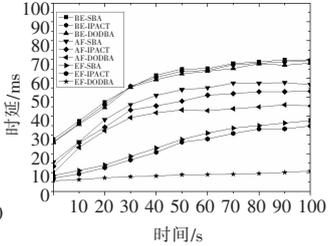


图 10 重负载情况下时延对比

3 结束语

本文提出的 DODBA 算法解决了大型宽带网络链路接入控制中不同优先级业务时延优化的带宽分配问题,并且通过仿真实验证明了 DODBA 在带宽分配时能有效减少数据传输时延和提高系统带宽资源的利用率。动态带宽分配是保证宽带网络 QoS 的重要方法,同时又以充分利用有限而宝贵的带宽资源为目标。下一步主要研究工作是更多 QoS 受限条件下多链路带宽分配问题进行研究。

参考文献:

- [1] 崔勇,吴建平,徐恪. 互联网服务质量路由算法研究综述[J]. 软件学报,2002,13(11):2065-2075.
- [2] McGARRY M, REISSLEIN M, MAIER M. Ethernet passive optical network architectures and dynamic bandwidth allocation algorithms[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2008, 10(3): 46-60.
- [3] ZHENG J. Efficient bandwidth allocation algorithm for Ethernet passive optical networks[J]. IEEE Proceedings Communication, 2006, 153(3): 464-468.
- [4] 张晋豫,刘犁. 基于效用 EPON 分布式动态带宽分配实现机制[J]. 软件学报,2008,19(7):1693-1706.
- [5] LI Li-zhong, LI Bin, LI Bo, et al. Performance analysis of bandwidth allocations for multi-services mobile wireless cellular networks[J]. IEEE Wireless Communications and Networking, 2003, 2: 1072-1077.
- [6] WU Hai-liang, LI Li-zhong, LI Bin, et al. On handoff performance for an integrated voice/data cellular system, part II: data buffer case[C]//Proc of IEEE PIMRC. 2002:354-358.
- [7] KRAMER G, MUKHERJEE B, PESAVENTO G. IPACT: A dynamic protocol for an Ethernet PON (EPON)[J]. IEEE Communication Magazine, 2002, 40(2): 74-80.
- [8] BHATIA S, BARTOS R. IPACT with smallest available report first: a new DBA algorithm for EPON[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2007:2168-2173.
- [9] HSUEH Y, AN F, KIM K, et al. A new media access control protocol with quality of service and fairness guarantee in Ethernet-based passive optical networks[C]//Proc of IASTED Wireless Optical Communications Conference. 2003:165-169.
- [10] CHOI S I, HUH J D. Dynamic bandwidth allocation algorithm for multimedia service over Ethernet PONs[J]. ETRI Journal, 2002, 24(6): 465-468.
- [11] 郭小雪,秦勇,蔡昭权,等. 多链路时延反馈共享令牌流量拥塞控制[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(2): 76-77.
- [12] 卞静,王泽强,张光昭,等. 基于时延的分层多播拥塞控制协议设计[J]. 通信学报, 2007, 28(5): 55-60.