

IP 流量规划对服务质量控制的影响^{*}

Influence of IP Traffic Engineering on Control of Quality of Service

郭国强¹ 张尧学² 刘云新²

(湖南常德师范学院计算机系 常德415003)¹(清华大学计算机科学与技术系 北京100084)²

Abstract Based on Multi-Path routing, IP Traffic Engineering (TE) optimizes performance of network on both level of traffic and level of resource. Because different packets of stream arrive at the same destination from different paths, dynamic optimization of TE makes parameters of Quality of Service (QoS) of the flow, such as delay and jitter of delay be uncertain. The influence of path selecting as well as traffic splitting on delay is analysed in this paper. It demonstrates that TE can improve performance of QoS, but we must active TE module conditionally.

Keywords Traffic Engineering (TE), Quality of Service (QoS), MultiPath Routing

1. 引言

服务质量 (Quality of Service, QoS) 是网络提供给用户的性能保证。其主要参数有延迟、延迟抖动、丢失率等。保证多媒体应用的服务质量正成为网络必须具备的特性。

IP 流量规划^[1] (Traffic Engineering, TE) 是网络工程的科学原理与技术在 Internet 流量的计量、建模、表示与控制方面的应用。若同一源、目标结点对之间存在多条相似的路径, TE 能把进入源节点的数据流分割到多路径上, 平衡多路径间的负载, 避免阻塞, 减小数据流总的传输时间, 提高网络吞吐率和资源利用率, 使网络高效、可靠地工作。

流量规划能增强服务质量控制的效果。多媒体应用的服务质量保证是以预留资源为基础。启用 TE 后, 多路径预留替代单路径预留使多媒体流所需要的资源能得到更好的保证, 这提高了路径建立的速度和成功率^[2], 减少了数据包转发的时间; TE 以实时或周期性方式监测网络状态, 能提高服务质量控制的精确度; 在资源级, TE 充分利用空闲资源, 提高了资源利用率, 减小普通服务质量控制方法对提高资源利用率带来的负面影响^[3]; 由于与多参数相关的 QoS 路由^[4] 问题具有 NP 完全性, 启用 TE 能弱化单个 QoS 参数对 QoS 控制性能的影响 (降低了对单个路径的要求), 使 QoS 控制更具有实际可操作性。

使用流量规划可能带来数据包不同步或延迟抖动

增大的新问题, 会影响网络 QoS 性能的改善。在 TE 过程中, 数据流的单个数据包的转发路径的不确定性, 影响数据包的传输延迟和延迟抖动等参数, 数据包到达目标结点的顺序可能与发送顺序不一致, 相邻数据包的延迟差起伏变化大。

在主要 QoS 参数延迟、延迟抖动、丢失率中, 延迟是一个重要的参数。在多数情况下, 因为对数据流有严格的延迟要求, 才要求链路带宽更大, 同时, 延迟减小也意味着网络吞吐率提高, 数据包丢失率减小。在 TE 过程中, 流入节点的数据流量及数据流输出路径选择都会影响数据流的传输时间 (延迟)。文 [5] 说明, 当多条路径的传递延迟相近或数据包体积超过一定值时, 若流量分割比例等于相应链路可用带宽比例, 流量规划能获得最佳效果。文中我们简化了影响数据包传输时间的相关情况, 基于近似最佳的流量分割方法, 分析了 TE 和服务质量参数间的相互影响, 具体研究了 TE 的路径选择和数据流分割对延迟的影响。

2. 流量规划和服务质量控制描述

数据包的传输时间主要由等待延迟、发送延迟、传递延迟构成。发送延迟决定于数据包体积、链路带宽; 传递延迟决定于源节点到目标节点的距离; 等待延迟决定于节点输出链路的可用资源和数据包的调度策略。由于可以在多条输出路径上预留资源, 相对单输出路径情形, 多路径时数据流输出所需资源更充裕, TE 减小等待延迟的效果尤其是结点负载较重时的效果会

^{*} 本文研究获973计划(No. G1998030409)和湖南省自然科学基金(00JJY2068)等的资助。郭国强 副教授, 主要研究领域为网络服务质量控制、流量规划, 张尧学 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为网络协议与互连、服务质量控制、程序挖掘等, 刘云新 硕士生, 研究方向为计算机网络及应用。

更加明显,文[6]也指出:等待延迟不是影响传输时间的主要因素,传递延迟的确定影响更明显,因此,文中我们主要考虑发送、传递延迟的影响。

首先,由于以单个数据流为研究对象时数据流体积、传输时间具有上限及传输单个数据流的小时间段内链路带宽变化不大,其次,由于我们研究的主要内容是TE对服务质量控制参数的影响而非相关参数的精确计算,因此,在本文研究中,我们可以把数据包的传输时间简化为链路带宽、发送延迟、传递延迟的线性函数结果。

设S、D为网络中的两个结点,S为源结点,D为目标结点。从S到达D的路径有K条,分别为: P_1, P_2, \dots, P_k ,它们的瓶颈带宽分别是: B_1, B_2, \dots, B_k 。设有体积为W的消息包从S沿K条路径传递到D,各路径传递的消息包的体积分别是: W_1, W_2, \dots, W_k ,对W的分割系数分别是: $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ 。

(1)流量规划效果描述 流量规划效果是流入结点的数据流按优化比例被分割到选定的多条输出路径上。

$$W = \sum_{i=1}^k W_i, \quad W_i = W\mu_i, \quad \sum_{i=1}^k \mu_i = 1 \quad (1)$$

$$\mu_i / \mu_j = B_i / B_j \quad (2)$$

式(2)是流量最佳分割方程^[5],此时流量规划效果最佳。

K=1的情形是典型的最短、最宽路径路由情形。

(2)服务质量控制条件 设各条路径的传输延迟是: d_1, d_2, \dots, d_k ,传递时间分别是: t_1, t_2, \dots, t_k ,不考虑等待延迟时,数据包的传输时间(传输延迟与发送时间)是:

$$t_i = W_i / B_i + d_i \quad (3)$$

设延迟、延迟差上限值分别是: τ, ϵ ,其控制条件是:

$$t_i \leq \tau \quad t_i - t_j \leq \epsilon$$

当 $t_1 = t_2 = \dots = t_k$ 时, P_1, P_2, \dots, P_k 是S到D的多条并行路径。

(3)流量规划参数与QoS控制参数的关系 根据以上的公式得出:

$$t_i \propto W, \propto W \text{ 和 } \mu_i, \mu_i \propto B_i$$

从上面表达式可以看出, μ_i 决定于路由算法选定的路径(决定瓶颈带宽 B_i)和流量规划的流量分割策略;延迟、延迟抖动等决定于TE时选定的路径(B_i)、网络负载轻重(W)及负载在多路径上的分割策略(μ_i)。

3. 流量规划对 QoS 参数的影响

为了研究的简便,我们基于两条路的情形(如图1所示)研究流量规划中W、 μ 对t的影响。其中P_i代表某一路径,MP代表多路径。

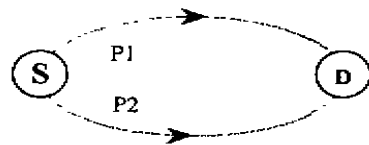


图1

3.1 单独使用 P1或 P2

$$\text{选定 } P_1 \text{ 时, } T_1 = W / B_1 + d_1 \quad (4)$$

$$\text{选定 } P_2 \text{ 时, } T_2 = W / B_2 + d_2 \quad (5)$$

3.2 同时使用 P1和 P2

任意体积(W可变)的数据流使用多路径时,多条路径同时传递数据的效果等效于数据流在一条带宽比任何单一路径带宽都大的“并”路径上传输数据,“并”路径参数是各路径相应参数的加权值,数据包在二路径构成的“并”路径上的传输延迟计算公式是:

$$T_{MP} = \frac{W}{B_1 + B_2} + \frac{B_1 * d_1 + B_2 * d_2}{B_1 + B_2} \quad (6)$$

对于体积确定的数据流(W确定),按照式(2)定义的数据包分割比例,在路径P1、P2上的传递时间及全部数据包完成传递所花时间 t_1, t_2, T_{MP} 计算公式如下:

$$t_1 = W_1 / B_1 + d_1 \quad (7)$$

$$t_2 = (W - W_1) / B_2 + d_2 \quad (8)$$

$$T_{MP} = \text{Max}(t_1, t_2) \quad (9)$$

t_1 是关于 W_1 的递增函数, t_2 是关于 W_1 的递减函数。只有在 t_1, t_2 的交汇点, T_{MP} 值最小,此时传输时间最小, $T_{MP} = T_{MP}$,可以证实,当数据包的体积超过某一个值(W')时,所有 T_{MP} 的最小值构成的连线与 T_{MP} 曲线相同。

3.3 数据包在不同路径上传输的时间差

数据流分割在路径P1和P2上传输时,两条路径完成相关数据传输产生的时间差计算公式如下:

$$\epsilon = t_1 - t_2 = \frac{W_1(B_1 + B_2) - WB_1}{B_1 B_2} + d_1 - d_2 \quad (10)$$

当 $W(B_1 + B_2) - WB_1 = 0$ 时 ϵ 最小,此时 $\epsilon = |d_1 - d_2|$,W、 W_1 的关系是:

$$\frac{W_1}{W} = \frac{B_1}{(B_1 + B_2)} \Rightarrow \frac{W_1}{W_2} = \frac{B_1}{B_2} \Rightarrow \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{B_1}{B_2} \quad (11)$$

式(11)与式(2)具有一致性,这说明按链路可用带宽的比例分割数据流具有传输延迟小,路径间的延迟差小的好处。

4 模拟与分析

假定本节中用到的数量单位能满足互相转化的要求。设 $d_1 = 12, d_2 = 4; B_1 = 40, B_2 = 20$ 。此时 T_1, T_2, T_{MP} 的具体计算公式如下:

$$T_1 = W / 40 + 12 \quad T_2 = W / 20 + 4 \quad T_{MP} = W / 60 +$$

4.1 传输时间

根据3.1和3.2中的公式模拟计算,单独使用P1、P2及使用多路径的传输时间 T_1 、 T_2 、 T_{MP} 的变化如图2所示,图中MP与P2交点处 $W=160$, $T_2=12$ 。

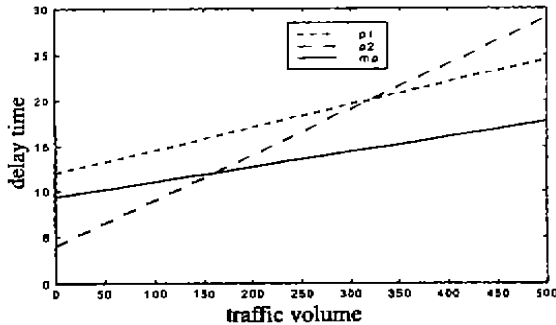


图2 不同路径的传输时间对比图

从图中可以看出,当进入S结点的负载较轻($W < 160$)时,P2因传输时间短被选中;P1尽管带宽较大,但由于路径的传输延迟较大,没有被选用;由于启用TE后的传输时间比使用单路径P2的传输时间更大,故系统不启用TE。以上分析说明:轻载时,启用TE不一定能改进网络流量性能(如延迟等),若进一步考虑启用TE的其他开销,根据负载轻重有条件启用TE是合理的。

当进入S结点的负载增大($W > 160$)时,启用TE后,数据流按策略被分割后同时在P1和P2上传输,传输时间 T_{MP} 小于 T_1 及 T_2 ,此时网络的吞吐率也能提高,这说明结点负载加重时,流量规划能显著改善网络流量性能,强化服务质量保证效果。

4.2 数据流分割

图3是数据流在多路径上分割的对比图,SW1、SW2分别是数据包在P1与P2上的分割量,它们的交汇点是: $W=640$, $SW1=SW2=320$ 。

当负载较轻时($W < 160$),TE没有启用或无效果,数据流只在某条路径上传输(P2上), $SW1=SW2=0$ 。

当 $160 < W < 640$ 时,在传输时间中传递延迟是主要的, $SW2 > SW1$ 的原因是P1的传递延迟比P2的传递延迟大,要使 T_{MP} 最小,系统只能把更多的数据流分割到P2上。

当 $W > 640$ 时,由于发送时间和传递延迟逐渐具有可比性,路径瓶颈带宽决定的发送时间在传输时间中起决定作用,因此,带宽更大的路径P1上分配的流量更多,这与式(2)的描述完全一致。

以上分析说明为了使网络流量性能更好,TE和服务质量控制效果更明显,TE控制部件要通过监视

网络状态,适时选路、适时调整流量分割策略。

4.3 延迟抖动与路径选择

延迟抖动与数据包到达的时间分布规律等紧密相关,具有NP完全性。根据式(10)只能简单计算数据包沿不同路径传递的时间差值,实际上,当源结点选择的输出路径增加时,数据流分割效果更明显,数据流的传输时间减小,数据包在不同路径上传输的时间差减小,甚至会稳定在某一范围内,可按式(10)计算,这凸现了TE对改善延迟抖动性能的作用。

从式(6)可知,增加路径减小数据传输时间的效果是明显的,文[2]也说明,当路径数从2条增加到3条时,链路的建立时间减小百分率从30%增加到50%。为了使基于多条路径路由的TE的效果更好、服务质量(延迟,延迟抖动等)能得到更好的保证,路径挑选算法必须仔细挑选参数相近的路径构成多路径集合。

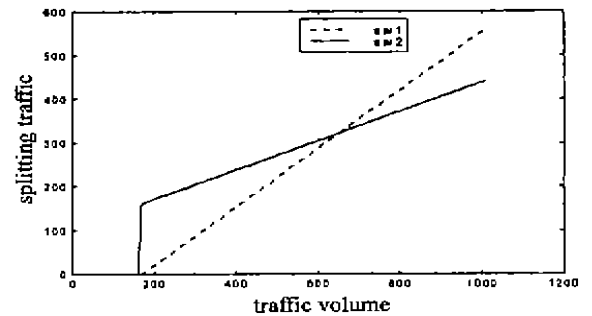


图3 流量分割对比

结语 流量规划在流量级优化网络性能的效果是增强了网络服务质量保证,资源级的优化效果是提高了网络吞吐量,资源利用率,为强化服务质量保证提供了资源保证。本文的研究假定了数据包在结点处无等待,路径带宽确定的前提,目的是说明TE对服务质量的影响,而非精确的数量关系。在今后有关TE和服务质量控制研究中,我们将研究有关参数更准确的量化关系,以便精确控制多媒体应用的服务质量和改进流量规划效果。

参考文献

- 1 Awduche D O, et al. A Framework for Internet Traffic Engineering. IETF draft 2000. 6
- 2 Csdon s, Rom R, et al. Analysis of Multi-Path Routing. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 12(7): 885~895
- 3 郭国强,张尧学. 服务质量保证与ATM网络资源的高效利用. 小型微型计算机系统, 2001, 1(21): 47~49
- 4 Crawley E, Nair R, et al. A Framework for QoS-based Routing in the internet. RFC2386, 1998. 9
- 5 Cao Zhiruo, et al. Performance of Hashing-Based Schemes for Internet Load Balancing. <http://www.cs.berkeley.edu/~shelleyz/>, 2000. 4
- 6 Aboelea E, Douligeris C. Fuzzy multiobjective routing model in B-ISDN. Computer Communications, 1998, 5(21): 1571~1584