

文章编号:1001-9081(2007)03-0522-03

基于 MPLS 流量工程的多路径约束负载均衡方法

贾艳萍,孟相如,麻海圆,郝志建

(空军工程大学 电讯工程学院,陕西 西安 710077)

(jiayanping1105@126.com)

摘要:对多协议标签交换(MPLS)流量工程负载均衡问题,提出了两种多路径基于约束的负载均衡方法,在LSP建立初期就融入负载均衡思想。在通常的CSPF算法中,对于一个大带宽约束很可能无法找到可行路径,文中所提方法在没有单一路径满足带宽约束时,能将带宽约束划分为两个或多个子约束,并为每一子约束找到约束路径。实验结果表明,所提方法能增加路径建立的成功率,提高网络资源利用率,达到流量均衡。

关键词:多协议标签交换;流量工程;负载均衡;约束路由;区分服务

中图分类号: TP393.07 **文献标识码:** A

Multi-path constraint-based load balancing methods for MPLS traffic engineering

JIA Yan-ping, MENG Xiang-ru, MA Hai-yuan, HAO Zhi-jian

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: Two multi-path constraint-based load balancing methods were proposed for Internet traffic engineering of MultiProtocol Label Switching (MPLS), importing the idea of load balancing at the beginning of path setup. In a normal constraint-based shortest path first (CSPF) routing algorithm, there is a high probability that it can not find a feasible path through networks for a large bandwidth constraint. The proposed methods can divide the bandwidth constraints into two or more sub-constraints and find a constrained path for each sub-constraint, if there is no single path satisfying the whole constraints. Simulations show that they enhance the success probability of path setup and the availability of network resources.

Key words: MultiProtocol Label Switching (MPLS); traffic engineering; load balancing; constraint routing; DiffServ

0 引言

在网络上实施流量工程(Traffic Engineering, TE),提高网络资源的利用率和网络的整体性能已成为当前网络研究的重要课题。TE是提高网络性能、优化网络资源的重要手段,也是满足网络用户各种服务质量(Quality of Service, QoS)请求的有力保证。MPLS作为一种先进的转发机制为TE的实施提供了便利,负载均衡(Load Balancing, LB)是其中的重要功能。

目前已有学者提出了一些负载均衡方法:MPLS-OMP(Optimized Multi-Path)是根据各条路径上的流量来均衡负载的,它对负载的分担是由每条路径经过hash计算后的数值大小来决定的;由Widjaja和Elwalid提出的MATE(MPLS Adaptive Traffic Engineering),主要目标是在源、目的端LSR之间的多条LSP上均衡负载,从而避免网络拥塞。在MATE中,入口LSR定期发送探测包到出口LSR,再由出口LSR回送到入口LSR,入口LSR利用回送的探测包中的信息就能计算出LSP的特征从而在它们之间均衡负载;基于CRC16的Hash负载均衡算法也只是从数量上进行流量分割,没有考虑QoS要求;文献[6]中提出了三种负载均衡算法,分别是基于拓扑、基于资源的静态负载均衡算法和动态负载均衡算法,这些算法也没有考虑QoS要求及业务的优先级。

多路径路由算法(MLR)是流量工程中的一个能够最大限度

进行流量均衡的方法,能够达到最优的流量性能。由于在分组网络中延迟、抖动、带宽的相关性,对延迟、抖动的约束可以映射到对带宽和跳数的约束,本文试图在保证QoS和均衡网络负载的需求出发,以带宽和跳数为度量值,提出两种DiffServ策略下带优先级的基于多路径约束路由的负载均衡方法,在建立LSP时就融入负载均衡的思想,充分考虑了现实需求。

1 多路径负载均衡方法

1.1 优化目标

用 $G=(N, E)$ 描述网络拓扑, N 为节点集合, E 是网络链路的集合。对于一个给定带宽要求,最优路径应该具有最小的端到端耗费。记 m 为所需路径的数目, B_i 为路径 i 的使用带宽, C_{ij} 是路径 i 所包含的链路 j 传输数据包的每单位比特耗费, n_i 是路径 i 所包含链路的数目, x_k^i 表示路径 i 是否经由链路 k , h_i 为路径 i 的跳数限制。则一条最优路径应最小化成本函数 C :

$$C = \sum_{i=1}^m B_i \sum_{j=1}^{n_i} C_{ij} \quad (1)$$

$$\text{st. } \sum_{i=1}^m B_i = BW_c \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S_k} B_i \leq b_k, S_i = \{i | \text{包含链路 } k \text{ 的路径 } i\} \quad (3)$$

收稿日期:2006-09-17;修订日期:2006-11-21 基金项目:空军科研项目(020066);陕西省自然科学基金资助项目(2005517)

作者简介:贾艳萍(1982-),女,四川南充人,硕士研究生,主要研究方向:宽带网络技术;孟相如(1963-),男,陕西蓝田人,教授,博士生导师,主要研究方向:宽带通信网络、信号处理技术;麻海圆(1982-),男,河南南阳人,硕士研究生,主要研究方向:宽带网络技术;郝志建(1981-),男,河北石家庄人,硕士研究生,主要研究方向:宽带网络技术。

$$\sum_{k \in E} x_k^k \leq h_i \quad (4)$$

其中, b_k 是链路 k 的剩余带宽, BW_c 是带宽约束。上述问题的解可通过如下过程找到: 首先, 计算出源、目的端间最小耗费路径, 将路径带宽 (路径上所有链路的最小带宽) 分配给该路径; 其次, 计算剪除无可用带宽的链路后的最短路径, 将路径带宽分配给它; 继续这样的过程直到我们将整个带宽约束分配到连续的最短路径上。但是这种算法可能导致有大量的 LSP 来满足整个约束, 这增加了计算和信令时间, 并且在大量并行 LSP 之间分割流量也是非常困难的, 因此, 在相同条件下使 LSP 的数目尽可能小是一个很关键的问题。

1.2 等带宽多路径约束负载均衡方法

这种方法的基本思想是将带宽要求划分成等带宽 (Equal Bandwidth, EB) 的多个子要求, 对每一个子要求, 通过 CSPF 算法找到一条最短路径, 即在建立 LSP 时就考虑负载均衡。它首先试着寻找一条路径带宽大于或等于 BW_c 的单一路径, 这可通过 Dijkstra 或 Bellman-Ford 算法来实现, 如果寻找失败, 则计算两条满足子要求 $BW_c/2$ 的路径, 如还是失败则计算满足 $BW_c/3$ 子要求的路径... 如此计算直到找到带宽和等于或大于 BW_c 的多条路径。下面给出算法描述:

```
Variable:
Graph G ( N, E ), e = | E | ;
Residual bandwidth array B [ e ], B [ i ] = C ( αi );
/* 残余带宽数组 */
Traffic matrix Q [ m ];           /* m 为 LSP 的数目 */
Path P ;                          /* 图 G 上的 path */
Int i, j, t, k ;                  /* 下标变量 */
Begin
Sort Q with d ( Q ) in descending order;
/* 对 LSP 请求进行降序排列 */
for j = 1 to m
for i = 1 to e
if B [ i ] < d ( Q [ j ] )
then prune αi from G           /* 剪裁边 */
end if
end for
t = 0;
do { t ++;
for( k = 1; k ≤ t; k ++ )
Dijkstra( d ( Q [ j ] ) / t );
LSPk = Pk ;                  /* 得到一条 LSP 的路径 */
B = B - d ( Q [ j ] );         /* 从残余带宽数组中减去已用带宽 */
end for
} while( ! B )
end for
End
```

其中, $Q[m]$ 为流量矩阵, $d(Q[i])$ 表示路径 i 上的带宽的流量。

在相同带宽约束下, 和单一路径路由算法 (SLR) 相比, EBMCM 方法提高了路径建立的成功率。但是能否再减少 LSP 的数目呢? 看图 1 所示的简单例子, 在源、目的节点间有 4 条路径, 其路径带宽分别是 5Mbps, 3Mbps, 2Mbps 和 2Mbps。假如我们使用 EBMCM 方法为带宽约束为 7Mbps 的业务流建立路径, 需要 4 条满足 7/4Mbps 的子要求路径, 但是我们将约束进行不等分配的话比如 4Mbps 和 3Mbps, 只需要前两条路径就可以满足 7Mbps 的要求。

1.3 最大路径带宽优先多路径约束负载均衡方法

为了满足带宽要求, 该方法试着寻找最小数目的路径。首先, 计算一条满足约束的单一路径, 如果没有这样的路径,

计算源、目的端之间最大带宽路径, 将该路径上所有链路的最小带宽 Δ_1 分配给它, 然后计算另一条满足剩余带宽要求 ($BW_c - \Delta_1$) 的约束路径, 如找到则完成, 否则继续计算一条当前最大带宽路径, 将它所包含链路的最小带宽 Δ_2 分配给它... 如此计算直到将 BW_c 完全分配给找到的路径。

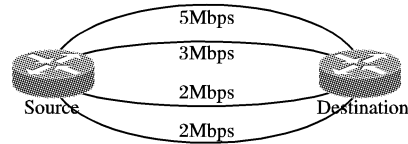


图1 多路径寻找示例

1.4 在路径间负载均衡

如果能找到一条满足约束的单一路径就没有必要负载均衡, 但如果我们通过上述算法找到多条路径, 则应该最优地将流量分割映射到各条路径上。通常, 我们通过链路 i 的利用率 ρ_i 来表示拥塞程度, 定义如下:

$$\rho_i = \frac{\bar{\chi}_i}{C_i} = \frac{C_i - b_i}{C_i} \quad (5)$$

其中, C_i 是链路 i 的容量, $\bar{\chi}_i$ 是使用带宽, b_i 是 i 的可用带宽。当 ρ_i 接近于 1 时, 链路变得拥塞, 包丢失率和时延急剧增加, 所以本文方法中负载均衡的基本思想是在分配流量后各路径的最小带宽链路的利用率保持相等。

记 N 为找到路径的总数目, Δ_i 是第 i 条路径 p_i 的带宽, a_i 是分配给 p_i 的流量, 假设所有链路容量相等, 则负载均衡方法简化描述如下:

$$\Delta_i = \min_{k \in p_i} \{ b_k \} \geq a_i \quad (6)$$

$$\Delta_1 - a_1 = \Delta_2 - a_2 = \dots = \Delta_N - a_N \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N a_i = BW_c \quad (8)$$

在实际网络中, 为了保证服务质量限制最大链路利用率 ρ_{\max} 小于 1, 在调整可用带宽 Δ_i 确保 ρ_i 不会超过 ρ_{\max} 后, 我们可以根据式 (5) ~ (7) 计算出 a_i 。

1.5 DiffServ 策略

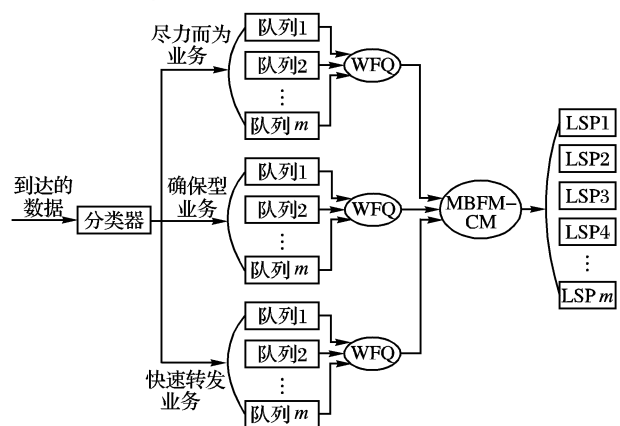


图2 MBFMCM 方法流程

DiffServ 域由边界节点和核心节点组成, 各自完成不同的功能。边界节点将业务流分成少量的类或聚集 (Behavior Aggregation, BA), 它由 IP 分组头标的 DSCP (区分服务码) 来标识。内部节点根据每个 BA 相关的 PHB (Per-hop Behavior) 来转发分组。PHB 是 BA 的外部表现, 可分解成调度特性和丢弃优先级。为了保证高优先级业务的 QoS, 同时又防止高优先级占据所有的输出带宽, 可以采用加权公平排队策略 (WFQ) 来调度。WFQ 为不同权重的流提供不同的优先级, 分为基于序列号计算的 WFQ 和基于流或类的 WFQ, 前者模

