

Hose 不确定模型下一种新的动态选路算法研究

章小宁^① 李乐民^① 王晟^① 郭磊^②

^①(电子科技大学宽带光纤传输与通信网技术重点实验室 成都 610054)

^②(东北大学信息学院 沈阳 110004)

摘要: 该文讨论了全连接结构的光交换网络在 Hose 不确定模型下的动态选路问题,并基于 Valiant 负载平衡机制,提出了一种新的动态选路算法——分配系数可调的负载平衡选路算法(Load Balancing with Adjustable Distribution Fraction, LBADF)。LBADF 算法根据网络中各条链路上空闲光路的数目对 Valiant 负载平衡机制中的分配系数进行动态的调整,从而达到优化网络性能的目的。计算机仿真表明 LBADF 算法相对于分配系数恒定的 VLB 算法具有更小的全网呼损率,同时也相应地降低了全网中所有节点对的最大呼损率。

关键词: 光交换网络; 全连接结构; Hose 不确定模型; Valiant 负载平衡

中图分类号: TN915.63

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)08-1994-05

A Novel Dynamic Routing Algorithm Under Hose Uncertain Model

Zhang Xiao-ning^① Li Le-min^① Wang Sheng^① Guo Lei^②

^①(Key Lab of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks, UESTC, Chengdu 610054, China)

^②(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: In this paper, the problem of dynamic routing under the hose uncertain model for the full-mesh optical network architecture is considered. A novel dynamic routing algorithm-LBADF (Load Balancing with Adjustable Distribution Fraction) based on Valiant load balancing is proposed. LBADF algorithm can instantly adjust distribution fraction in Valiant load balancing according to the number of the spare wavelengths on the links to optimize the performance of the network. Computer simulation results show LBADF algorithm has the lower blocking probability for the whole network than that of VLB (Valiant Load Balancing) algorithm, which has the fixed distribution fraction. And the maximum blocking probability for all the node pairs in the network can also be reduced correspondingly in LBADF.

Key words: Optical network; Full-mesh architecture; Hose uncertain model; Valiant load balancing

1 引言

在传统的 WDM 光网络中,所有节点对之间都可以通过光路连接起来产生逻辑意义上的虚拓扑,从而使整个网络形成全连接(full-mesh)的结构。全连接结构下的光网络通常使用动态选路算法^[1, 2]。在动态选路算法中,在当节点对之间有新的连接到来时,如果该节点对之间存在空闲的光路,则采用源节点-宿节点单跳直接选路的方式建立连接;如果该节点对之间所有光路都被使用,则可以采用多跳间接选路的方式经由中间节点建立连接。

目前全连接结构下光交换网络采用的动态选路算法都有一个共同的缺点,他们的算法设计和参数选择都需要准确的节点对速率矩阵,当节点对之间的速率发生变化时需要重新计算算法参数并进行相应的修正;但是如果速率矩阵出现

突变的情况,过时的算法参数就会使算法的网络性能下降。基于上述考虑,文献[3]在 Valiant 负载平衡机制^[4]的基础上,针对全连接结构下的光交换网络提出了基于 hose 不确定速率模型(在 hose 不确定速率模型中,只知道流出/流入节点的速率的总和,而不知道每个节点对之间的具体速率)的动态选路算法——VLB(Valiant Load Balancing)算法。与传统的动态选路算法不同,VLB 算法以固定的分配系数为概率^[5]为当前连接选择路径,其路径可以是单跳的直接选路也可以是两跳的间接选路。计算机仿真表明 VLB 算法在减小所有节点对最大呼损率的同时,具有较小的全网呼损率,同时 VLB 算法具有较小的时间复杂度。

本文在 VLB 算法的基础上提出了一种新的动态选路算法——分配系数可调的负载平衡选路算法(Load Balancing with Adjustable Distribution Fraction, LBADF)。与具有固定分配系数的 VLB 算法不同,LBADF 算法根据当前网络中各条链路上空闲光路的数目对 Valiant 负载平衡机制中的分配系数进行动态的调整,从而达到优化网络性能的目的。计

2006-12-25 收到, 2007-07-11 改回

国家“973”计划(2007CB307104), 国家自然科学基金(90604002)和教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-05-0807)资助课题

计算机仿真表明 LBADF 算法相对于分配系数恒定的 VLB 算法具有更小的全网呼损率,同时也相应地降低了全网中所有节点对的最大呼损率,平衡了网络中所有节点对的性能。

本文结构如下:第2节阐明了基于 Valiant 负载平衡机制的鲁棒选路的基本思想;第3节给出了问题描述;第4节详细阐述了 LBADF 算法;第5节给出了仿真结果和分析;第6节总结全文。

2 Valiant 负载平衡的鲁棒选路基本思想

文献[5]将 Valiant 负载平衡机制用于网状网络的鲁棒选路中,提出对于 N 节点的网络,每个源节点向中间节点 i 发送负载业务的比例为 α_i ,有负载分配向量 $\alpha = \{\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_{N-1}\}$,其中 $\sum_{i=0,1,\dots,N-1} \alpha_i = 1$ 。文献[5]中的 Valiant 负载平衡选路在 hose 模型下分为两阶段完成:

第1阶段:进入任何节点的点到点业务量都按比例 α_i 分散到中间节点 i ,而不考虑其目的节点。

第2阶段:作为第1阶段选路的结果,每个节点收到前往不同目的节点的负载,并将其转发到相应的目的节点。

实现 Valiant 负载平衡选路的关键在于确定网络中链路带宽值,从而使得网络满足任何类型的有效负载业务矩阵的要求。根据上文 hose 模型中的定义,令 R_i 表示由节点 i 进入网络的业务量的上限, C_j 表示由节点 j 离开网络的业务量的上限。首先考虑第1阶段的选路,节点 i 发送 $\alpha_i R_i$ 的业务量按路径到所有中间节点 j ,因此节点 i 与节点 j 之间的路径链路在第1阶段选路的带宽要求为 $\alpha_j R_i$;然后再考虑第2阶段的选路,当第1阶段选路完成时,节点 i 作为中间节点收到来自于节点 k 的业务负载上限为 $\alpha_i R_k$,其中前往节点 j 的业务负载为 $\alpha_i t_{kj}$ (t_{kj} 表示节点 k 到节点 j 的业务负载),因此节点 i 与节点 j 之间的路径链路在第2阶段选路的带宽要求为 $\sum_{k=0,1,\dots,N} \alpha_i t_{kj} = \alpha_i C_j$ 。由上述分析可知,节点 i 与节点 j 之间的路径链路在两阶段选路的带宽要求为 $\alpha_j R_i + \alpha_i C_j$,即在 Valiant 负载平衡的鲁棒选路中,节点 i 与节点 j 之间路径的链路带宽要求只与负载分配向量和 hose 模型有关,而与当前具体的业务量矩阵无关。

3 问题描述

首先我们给出网络模型和基本假设。

(1)给定 N 节点的全连接结构的网络拓扑 $G(N, E)$, N 为节点集, E 为单向链路集; N, E 分别为网络节点数、单向链路数。网络中每条单向链路分配有光路,具有相同节点对的两条单向链路具有相同数目的光路。本文用 u_{ij} 表示单向链路 l_{ij} 上光路的数目,则有 $u_{ij} = u_{ji}$ 。

(2)网络中的所有连接请求具有方向性。对于从源节点 i 到宿节点 j ($i, j=0,1,\dots,N-1$, 并且 $i \neq j$) 的连接请求,其到达过程满足强度为 λ_{ij} 独立泊松分布(Poisson distribution) (本文中具有相同节点对的不同方向的连接请求具有相同的

到达强度,即对于所有的 (i, j) ($i, j=0,1,\dots,N-1$, 并且 $i \neq j$, 有 $\lambda_{ij} = \lambda_{ji}$), 持续时间满足均值为 $1s$ (本文以秒作为算法和仿真中基本的时间单位) 的负指数分布(non-exponential distribution)。每个连接请求在其经过路径的所有单向链路上占用一条光路。当连接请求结束时,则释放所占用的光路资源。

(3)由于同一节点对之间不同方向的连接请求具有相同的到达强度,则整个网络的节点对速率矩阵 $T = [\lambda_{ij}]$ 为对称矩阵。因此本文讨论的 hose 不确定速率模型为对称 hose 模型,即以节点 i 作为源节点/宿节点的连接请求的速率之和相等(这里用 D_i 表示),则 $\text{hose}(D_i) = [D_0, D_1, \dots, D_i, \dots, D_{N-1}]$, 有 $\sum_i \lambda_{ij} = \sum_j \lambda_{ji} = D_i$ 。

(4)本文中用于评价算法的性能指标为全网呼损率(Blocking Ratio, BR)和节点对最大呼损率(Maximum Nodepair Blocking Ratio, MNBR)。假设整个网络到达连接的总数为 P , 其中没有成功建立连接的总数为 Q , 则全网呼损率 BR 定义为 $BR = Q/P$; 对于全网中所有的节点对 (i, j) ($i, j=0,1,\dots,N-1$, 并且 $i \neq j$), 有节点对呼损率 $BR(i, j) = Q_{ij} / P_{ij}$, 其中 P_{ij} 表示节点对 (i, j) 到达连接的数目, Q_{ij} 表示节点对 (i, j) 没有成功建立连接的数目, 则节点对最大呼损率 $MNBR = \max(BR(i, j) \text{ for all } (i, j))$ 。

本文的目标为给定一个全连接的网络拓扑以及每条单向链路上光路的数目,根据 hose 不确定速率模型 $\text{hose}(D_i)$, 设计动态选路算法,使得对于 hose 模型下任何一个节点对速率矩阵的 T , 具有较小的全网呼损率,同时也能降低节点对最大呼损率,使得整个网络的交换性能趋于平衡。

4 LBADF 算法

文献[3]中提出的 VLB 算法的基本思想为:在已知 hose 不确定速率模型和网络中所有单向链路上光路数目的条件下,通过迭代方式的整数线性规划(Integer Linear Programming, ILP)计算负载分配系数向量 $p = [p_0, p_1, \dots, p_{N-1}]$, 其中 p_i ($i=0,1,\dots,N-1$) 表示节点 i 作为中间节点转发连接的概率,例如从源节点 i 到宿节点 j 的连接请求,以 p_k ($k=0,1,\dots,N-1$) 的概率选择 $i-k-j$ 的路径建立连接(当 $k=i$ or j 时,表示该路径为从 i 到 j 的直接单跳选路;当 $k \neq i$ or j 时,表示该路径为经过其他节点到达的两跳间接选路)。VLB 算法的设计不受具体的速率矩阵的影响,它为 hose 不确定速率模型下的任意的速率矩阵提供了较好的网络交换性能。我们注意到在 VLB 算法中负载分配系数向量 p 始终固定不变,而基于动态连接的光交换网络中网络当前的状态受网络中已建立的连接和所持续时间的不断发生变化,因此 LBADF 算法提出根据当前网络的状态在线计算负载分配系数向量 p , 并按相应的时序对其进行升级。

4.1 LBADF 算法的 ILP 描述

LBADF 算法每隔 n 秒(这里 n 为正整数, $n \geq 1$)对网络

当前的状态进行统计,并根据相应的统计结果动态地调节负载分配系数向量 \mathbf{p} ,使得整个网络在当前统计时刻到下一个统计时刻之间的时间段内以新的负载分配系数向量 \mathbf{p} 为概率为到来的连接选择路径。假设网络的初始状态是从第 0 秒开始,则统计的时刻依次为 $\{0 \text{ 秒}, n \text{ 秒}, 2n \text{ 秒}, \dots, mn \text{ 秒}, \dots\}$,统计中主要考察当前网络中每条单向链路上空闲光路的数目,这里令 mn 秒时,统计出单向链路 (i, j) 上的空闲光路数为 $\text{num_spare_circuit}(i, j)^{mn}$ ($i, j=0, 1, \dots, N-1$, 并且 $i \neq j$); 又令 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内的相应的负载分配系数向量 $\mathbf{p}^{mn} = [p_0^{mn}, p_1^{mn}, \dots, p_i^{mn}, \dots, p_{N-1}^{mn}]$, 其中 p_i^{mn} ($i=0, 1, \dots, N-1$) 表示在 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内节点 i 作为中间节点转发新到连接的概率; 最后令在 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内, 节点 i 作为源/宿节点每秒所能建立的最大连接数为 R_i^{mn} ($i=0, 1, \dots, N-1$) (R_i^{mn} 的实质为在 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内当节点 i 的 hose 模型速率为 R_i^{mn} 时, 以节点 i 为源/宿节点的连接请求都能在网络中建立, 因此 R_i^{mn} 又称为节点 i 的可容纳 hose 模型速率)。考虑到本文的目标尽可能地地为所有节点对建立更多的连接, 因此在每个 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒 ($m=0, 1, \dots$) 时间段内, 计算负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn} , 使所有节点 i ($i=0, 1, \dots, N-1$) 的可容纳 hose 模型速率 R_i^{mn} 越大越好, 相应地可以写出 ILP 如下:

对于每个 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒 ($m=0, 1, 2, \dots$) 时间段, 有

$$\text{Maximize } \sum_{i=0}^{N-1} R_i^{mn} \quad (1)$$

约束条件为

$$P_j^{mn} R_i^{mn} + P_i^{mn} R_j^{mn} \leq \text{num_spare_circuit}(i, j)^{mn} \quad (2)$$

$$\forall (i, j), i, j = 0, 1, \dots, N-1, i \neq j \quad (2)$$

$$R_i^{mn} \leq R_i \quad \forall i, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^{N-1} P_i^{mn} = 1 \quad (4)$$

$$P_i^{mn} > 0 \quad \forall i, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

约束条件式(2)说明通过 R_i^{mn} 和 p_i^{mn} ($i=0, 1, \dots, N-1$) 计算出的 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内节点对能够建立的业务连接的数目应不大于统计时刻节点对之间空闲光路的数目。按照文献[5]中的方法可以计算节点对 (i, j) 在 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内按可容纳 hose 模型速率每秒可建立的连接的数目为 $p_j^{mn} R_i^{mn} + p_i^{mn} R_j^{mn}$ 。相应的计算过程如下: 首先考虑第 1 阶段的选路, 节点 i 平均每秒发送 $p_j^{mn} R_i^{mn}$ 个连接按路径到所有中间节点 j , 因此节点 i 与节点 j 之间的路径链路在第 1 阶段选路的连接数目为 $p_j^{mn} R_i^{mn}$; 然后再考虑第 2 阶段的选路, 当第 1 阶段选路完成时, 节点 i 作为中间节点平均每秒收到来自于节点 k 的连接数目为 $p_i^{mn} R_k^{mn}$, 其中前往节点 j 的业务连接数为 $p_i^{mn} t_{kj}$ (t_{kj} 表示节点 k 到节点 j 的业务连接数), 因此节点 i 与节点 j 之间的路径链路在第 2 阶段选路的连接数目为 $\sum_{k=0, 1, \dots, N-1} p_i^{mn} t_{kj} = p_i^{mn} R_j^{mn}$ 。由上述分析

可知, 节点对 (i, j) 在每秒时间段内业务连接的数目为 $p_j^{mn} R_i^{mn} + p_i^{mn} R_j^{mn}$ 。约束条件式(3)说明网络中所有节点 i 的可容纳 hose 模型速率必须小于等于该节点的 hose 模型速率。约束条件式(4)和约束条件式(5)则对负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn} 进行了说明。ILP 中的变量数 $N_v = N + N = 2N$, 约束条件数 $N_c = N(N-1) + N + N = N^2 + N$ 。当网络规模增大时, ILP 中的变量数及方程数将会以平方方式增加; 同时考虑到 LBADF 算法每隔 n 秒需要在线更新负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn} , 从减小算法复杂度的角度出发, 本文提出 LBADF 算法采取启发式的方式更新负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn} 。

4.2 LBADF 启发式算法

考虑到在每个 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒 ($m=0, 1, \dots$) 时间段内, 负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn} 受两阶段选路中相应的 hose 模型和链路中空闲光路数的影响, 因此 LBADF 启发式算法的基本思想为通过计算第 1 阶段选路的负载分配系数 $\mathbf{p}^{mn-1} = [p_{1(0)}^{mn}, p_{1(1)}^{mn}, \dots, p_{1(N-1)}^{mn}]$ 和第 2 阶段选路的负载分配系数 $\mathbf{p}^{mn-2} = [p_{2(0)}^{mn}, p_{2(1)}^{mn}, \dots, p_{2(N-1)}^{mn}]$, 来求得该时间段内的总的负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn} , 从而使该时间段内所有节点 i ($i=0, 1, \dots, N-1$) 的可容纳 hose 模型速率 R_i^{mn} 尽可能最大。

LBADF 算法首先计算第 1 阶段选路的负载分配系数 \mathbf{p}^{mn-1} 。对于网络中的节点 i ($i=0, 1, \dots, N-1$) 到全网其他所有节点 j ($j=0, 1, \dots, N-1, j \neq i$) 中转的连接请求, 由式(2)可知, 在第 1 阶段选路, 如图 1(a)所示, 有

$$R_i p_j^i \propto \text{num_spare_circuit}(i, j)^{mn}, \quad \forall i \neq j \quad (6)$$

在式(6)中, p_j^i 表示当前时间段内节点 i 通过节点 j 转发连接的分配系数; \propto 符号表示 $R_i p_j^i$ 正比于当前链路 (i, j) 上空闲光路的数目, 式(6)可以转变为式(7)

$$p_j^i \propto (\text{num_spare_circuit}(i, j)^{mn}) / R_i, \quad \forall i \neq j \quad (7)$$

对于节点 i 到所有其他节点 j ($j=0, 1, \dots, N-1, j \neq i$) 的负载分配系数, 由式(7), 有

$$p_0^i : \dots : p_{N-1}^i = (\text{num_spare_circuit}(i, 0)^{mn}) / R_i : \dots :$$

$$(\text{num_spare_circuit}(i, N-1)^{mn}) / R_i, \quad \forall i \neq j \quad (8)$$

同时根据 p_j^i 的物理意义有

$$\sum_{j=0(j \neq i)}^{N-1} p_j^i = 1 \quad (9)$$

由式(8), 式(9)可以计算出网络中每个节点 i ($i=0, 1, \dots, N-1$) 在第 1 阶段选路中向其他所有节点 j ($j=0, 1, \dots, N-1, j \neq i$) 转发连接的分配系数 p_j^i , 对节点 j 所有的 p_j^i ($i=0, 1, \dots, N-1, i \neq j$) 计算算术平均, 则可得到网络中所有节点 j 在第 1 阶段选路中的负载分配系数 $p_{1(j)}^{mn}$ 为

$$p_{1(j)}^{mn} = \left(\sum_{i=0(i \neq j)}^{N-1} p_j^i \right) / (N-1), \quad j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

再对式(10)中的 $p_{1(j)}^{mn}$ ($j=0, 1, \dots, N-1$) 进行归一化, 即能求出第 1 阶段选路的负载分配系数 $\mathbf{p}^{mn-1} = [p_{1(0)}^{mn}, p_{1(1)}^{mn}, \dots, p_{1(N-1)}^{mn}]$, 其中 $p_{1(j)}^{mn}$ 为

$$p_{1(j)}^{mn} = p_{1(j)}^{mn} / \sum_{j=0}^{N-1} p_{1(j)}^{mn}, \quad j = 0, 1, \dots, N-1 \quad (11)$$

第 2 阶段选路的负载分配系数 p^{mn-2} 的计算与第 1 阶段选路的负载分配系数 p^{mn-1} 的计算相似。对于网络中的节点 $j(j=0,1,\dots,N-1)$ 接收全网其他所有中间节点 $i(i=0,1,\dots,N-1, i \neq j)$ 发送的连接请求, 由式(2)可知, 在第 2 阶段选路, 如图 1(b)所示, 有

$$R_j p_i^j \propto \text{num_spare_circuit}(i, j)^m \quad \forall i \neq j \quad (12)$$

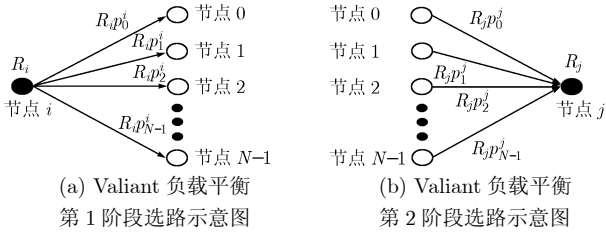


图 1

在式(12)中, p_i^j 表示当前时间段内节点 j 收到中间节点 i 转发连接的分配系数; \propto 符号表示 $R_j p_i^j$ 正比于当前链路 (i, j) 上空闲光路的数目, 式(12)可以转变为

$$p_i^j \propto (\text{num_spare_circuit}(i, j)^{mn}) / R_j, \quad \forall i \neq j \quad (13)$$

对于节点 j 收到所有其他中间节点 $i(i=0,1,\dots,N-1, i \neq j)$ 转发连接的负载分配系数 p_i^j , 由式(13), 有

$$p_0^j : \dots : p_{N-1}^j = (\text{num_spare_circuit}(0, j)^{mn}) / R_j : \dots : (\text{num_spare_circuit}(N-1, j)^{mn}) / R_j, \quad \forall i \neq j \quad (14)$$

同时根据 p_i^j 的物理意义有

$$\sum_{i=0(i \neq j)}^{N-1} p_i^j = 1 \quad (15)$$

由式(14), 式(15)可以计算出网络中每个节点 $j(i=0, 1, \dots, N-1)$ 收到中间节点 $i(i=0,1,\dots,N-1, i \neq j)$ 转发连接的分配系数 p_i^j , 对节点 i 所有的 $p_i^j(i=0,1,\dots,N-1, i \neq j)$ 计算算术平均, 则可得到网络中所有节点 i 在第 2 阶段选路中的负载分配系数 $p_{2(i)}^{mn}$ 为

$$p_{2(i)}^{mn} = \left(\sum_{j=0(j \neq i)}^{N-1} p_i^j \right) / (N-1), \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (16)$$

再对 $p_{2(i)}^{mn}(i=0,1,\dots,N-1)$ 进行归一化, 即能求出第 2 阶段选路的负载分配系数 p^{mn-2}

$$p_{2(i)}^{mn} = p_{2(i)}^{mn} / \sum_{i=0}^{N-1} p_{2(i)}^{mn}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (17)$$

在求得第 1 阶段选路的负载分配系数 p^{mn-1} 和第 2 阶段选路的负载分配系数 p^{mn-2} 之后, 可以求出在 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内节点 i 作为中间节点转发新到连接的概率 $p_i^{mn}(i=0,1,\dots,N-1)$, 有

$$p_i^{mn} = p_{1(i)}^{mn} \times p_{2(i)}^{mn}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (18)$$

再对 $p_i^{mn}(i=0,1,\dots,N-1)$ 进行归一化, 即能求出 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒时间段内的总的负载分配系数向量 \mathbf{p}^{mn}

$$\mathbf{p}^{mn} = \mathbf{p}_i^{mn} / \sum_{i=0}^{N-1} p_i^{mn}, \quad i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (19)$$

LBADF 算法采用启发式的方式为每个 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒 ($m=0,1,\dots$) 时间段在线更新负载分配系数向量 \mathbf{p}_i^{mn} 。 \mathbf{p}_i^{mn} 只与 hose 不确定速率模型和网络当前的状态有关, 而与节点对之间具体的速率矩阵无关。这样在 mn 秒 $\sim (m+1)n$ 秒 ($m=0,1,\dots$) 时间段内, 网络中所有到来的连接以 \mathbf{p}_i^{mn} 为概率选择节点 $i(i=0,1,\dots,N-1)$ 作为中间节点转发该连接到宿节点。

5 仿真与分析

本文利用 OPNET 软件对 LBADF 算法和 VLB 算法的交换性能进行计算机仿真, 仿真平台为 Pentium IV1.6G, 内存 512Mb。仿真中总共产生连接的个数为 10^6 。本文以图 2 中所示的 7 个节点的全连接网络拓扑作为仿真中采用的拓扑, 其中每个节点标注相应的 hose 不确定模型速率, 则 $\text{hose}(D_i) = [600, 225, 375, 525, 675, 825, 975]$, 每条单向链路上光路的数目都为 100(即 $u_{ij} = 100, i, j = 0, 1, \dots, N-1, j \neq i$)。hose 不确定速率模型下网络节点对速率矩阵 \mathbf{T}_1 和 \mathbf{T}_2 , 如式(20)。

$$\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 525 \\ 75 & 0 & 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 150 & 0 & 225 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 225 & 0 & 300 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 300 & 0 & 375 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 375 & 0 & 450 \\ 525 & 0 & 0 & 0 & 0 & 450 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 30 & 95 & 120 & 125 & 100 & 130 \\ 30 & 0 & 40 & 30 & 45 & 40 & 40 \\ 95 & 40 & 0 & 60 & 30 & 40 & 70 \\ 120 & 30 & 60 & 0 & 80 & 30 & 40 \\ 125 & 45 & 30 & 80 & 0 & 30 & 30 \\ 100 & 40 & 40 & 30 & 30 & 0 & 90 \\ 130 & 40 & 70 & 40 & 30 & 90 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

首先, 以在线更新负载分配系数向量 \mathbf{p} 的时间间隔 n 秒为参数对启发式的 LBADF 算法进行计算机仿真。图 3 给出了非均匀速率矩阵 \mathbf{T}_1 和均匀速率矩阵 \mathbf{T}_2 下启发式的 LBADF 算法的时间间隔参数 n -全网呼损率 BR(Blocking Ration)的曲线。从图 3 可以看出当 n 越来越大时, LBADF 算法在 \mathbf{T}_1 和 \mathbf{T}_2 下的全网呼损率也随之变大, 即 $n=1$ 时 LBADF 算法具有最小的全网呼损率。这是因为对于动态的全连接网络, 网络的状态受已建立的连接和所持续时间的的影响不断发生变化。因此在 LBADF 算法中, 当升级负载分配向量 \mathbf{p} 的时间间隔参数 n 越小时, 计算 \mathbf{p} 时的网络状态, 就越贴近于连接到来时的网络状态, 则相应的负载分配向量 \mathbf{p}

也就越精确。事实上当 $n = \infty$, LBADF 算法就变为 VLB 算法, 同时考虑到当 $n < 1$ 时, 在线计算的强度也会随之变大, 增加了系统的负担, 因此本文提出 LBADF 算法升级负载分配向量 \mathbf{p} 的时间间隔为 1s。

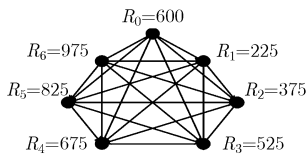


图2 7-节点的全连接结构网络拓扑

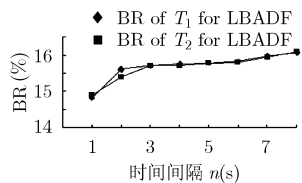


图3 LBADF 算法的时间间隔参数 n 秒-全网呼损率 BR 的曲线

表1给出了启发式的LBADF($n=1$)算法和VLB算法在非均匀速率矩阵 T_1 和均匀速率矩阵 T_2 下的全网呼损率 BR 和节点对最大呼损率 MNBR。从表1可以看出LBADF算法在非均匀速率矩阵 T_1 和均匀速率矩阵 T_2 下的性能指标参数均优于VLB算法。这是因为VLB算法采用离线的方式计算负载分配向量 \mathbf{p} , 在整个仿真过程中 \mathbf{p} 保持恒定不变, 并没有考虑到网络的状态会随着时间的推进而发生相应的变化。而LBADF算法以固定的时间间隔 $1s(n=1)$, 按照当前网络的状态对负载分配向量 \mathbf{p} 进行升级, 使得当前时段的负载分配向量 \mathbf{p} 更能反映网络的状态, 这样该时段内新到来的连接请求更倾向于选取空闲的链路, 同时避免选取拥塞的链路, 从而使得当前时段的网络达到较优的负载平衡, 因此LBADF算法相对于VLB算法在仿真的全过程中具有更优的性能参数指标。

6 结束语

本文讨论了全连接的光交换网络的动态选路问题, 并提出了一种新的鲁棒选路算法—分配系数可调的启发式的LBADF算法。LBADF算法根据网络中各条链路上空闲光路的数目按固定的时间间隔对Valiant负载平衡机制中的分配系数进行在线更新, 从而达到优化网络性能的目的。计算机仿真表明LBADF算法相对于分配系数恒定的VLB算法

具有更小的全网呼损率, 同时也相应地降低了全网中所有节点对的最大呼损率, 平衡了网络中所有节点对的交换性能。

表1 LBADF算法与VLB算法的性能指标比较(%)

	BR of T_1	MNBR of T_1	BR of T_2	MNBR of T_2
VLB算法	16.11	18.92	15.96	17.96
LBADF算法	14.81	16.34	14.89	16.89

参考文献

- [1] Key P B and Whitehead M J. Cost-effective use of networks employing dynamic alternative routing. In Proc. 12th International Teletraffic Congress, Torino, June 1988.
- [2] Gibbens R J, Kelly F P, and Key P B. Dynamic alternative routing. In Routing in Communication Networks, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995: 13-47.
- [3] Zhang Shen R, Kodialam Murali, and Lakshman T V. Achieving bounded blocking in circuit-switched networks. INFOCOM 2006, Barcelona, April 2006.
- [4] Valiant L and Brebner G. Universal scheme for parallel communications. Proc. of the 13th Annual Symposium on Theory Computing, 1981.
- [5] Kodialam M, Lakshman T V, and Sengupta S. Efficient and robust routing of highly variable traffic. Third Workshop on Hot Topics in Networks, San Diego, USA, 2004.

章小宁: 男, 1980年生, 博士生, 研究方向为下一代交换机与WDM光网络。

李乐民: 男, 1932年生, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 主要研究方向为宽带通信网技术。

王 晟: 男, 1971年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为宽带通信网技术。

郭 磊: 男, 1980年生, 副教授, 主要研究方向为WDM光网络。