

基于状态稳定性更新的距离向量路由算法

李 原, 马正新, 曹志刚

(清华大学电子工程系, 微波与数字通信国家重点实验室, 北京 100084)

摘 要: 为了满足多种业务需求、优化网络资源, QoS 路由需要具备较准确的网络状态信息计算路径。受到网络开销等诸多方面的限制, 现有的距离向量等算法难以及时、准确地描述网络状态统计特征, 状态的不确定性成为了服务质量研究的难点。该文提出了一种基于状态稳定性更新的距离向量路由算法 (SSB-DV), 改进了对距离向量算法的周期更新方式。通过分析和仿真实验表明, SSB-DV 算法能够在确保网络有效利用等重要的路由性能的基础上, 以较小的代价使具有显著变化的网络状态得到及时的更新和通告。

关键词: 服务质量; 距离向量; 触发更新; 状态稳定性

Distance Vector Routing Algorithm Based on State Stability Update

LI Yuan, MA Zhengxin, CAO Zhigang

(State Key Laboratory on Microwave and Digital Communications, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

【Abstract】 To satisfy diverse application requirements and optimize network resource utilization, quality of service(QoS) routing needs accurate network state to compute path. However, the existing distance vector algorithms are difficult to accurately describe statistical characteristics of network state in time because of the limitations of network overhead and traffic characteristics, etc. State uncertainty becomes one of the key problems of QoS research. This paper proposes a distance vector(DV) routing algorithm based on state stability (SSB-DV), which improves periodic update mechanism of traditional DV algorithm. Computer simulation and analysis indicate that, on the basis of guaranteeing important routing performances like efficient throughput ratio etc, SSB-DV can timely update network state which varies distinctively at little cost.

【Key words】 QoS; Distance vector; Trigger update; State stability

1 概述

QoS路由作为网络QoS机制的关键问题之一,涉及2个方面的基本任务^[1]: (1)收集状态信息并保持更新; (2)搜索状态信息以建立路径。其中,第(1)个任务直接关系到路由算法的性能。网络中的大多数路由算法通过距离向量(DV)或链路状态(LS)等算法来维护网络状态信息。

DV算法作为基于Bellman-Ford算法的分布式版本,已经在实际网络中得到了广泛的应用。在算法中,路由器节点完整的距离向量路由表信息被定期地发送到直接相邻的网络邻节点中。该表包含了路径目的地址、代表向量方向的下一跳节点地址、路由向量距离等路由信息。从邻节点接收到此信息的路由器节点将其与自身的路由表相比较,经过比较,如果该节点找到了一条新路由或比当前路由更好的路由,它将对路由表进行更新,并把自身的距离向量加入到表中。以此类推,邻节点间通过路由信息的相互交换和学习,达到网络状态的收敛。

由于网络中的业务突发、网络资源变化以及有限的更新频率,使得重大的网络状态变化难以在周期更新机制下得到及时通告,因此,路由器收集的状态信息在较大程度上是不准确的,难以对到来的业务,准确地寻找出满足QoS请求的路径^[2]。状态信息的不准确性造成了慢收敛现象,使节点间维护的网络状态数据库不一致,可能产生路由环路,并可能出现计数到无穷等现象,进一步延长了网络的收敛时间。如何减轻状态信息的不准确性成为了QoS路由中的研究重点。不少距离向量算法通过限制节点间的最大路径距离值来防止计数到无穷现象的发生。采用毒性逆转水平分割、抑制计时

等措施来消除两个节点构成的环路问题^[3]。但是为了减少3个或更多个节点构成的路由环路,一些DV算法也采用触发更新及其改进策略^[4-6]来加快信息的更新速度,提高状态的准确性。这些方法大都与周期更新配合使用,但很少从状态的稳定程度角度考虑“如何减轻周期更新为网络性能带来的开销”。

本文提出了基于状态稳定性更新的距离向量路由算法(SSB-DV)。该算法是在考虑路径状态稳定性的基础上,对周期更新机制进行改进。即当一个周期更新时刻到来时,当前节点并非向其邻节点发送包含完整的路由信息表的路由更新信息,而是根据路由表中的路径的状态变化状况决定是否发送该路由信息。SSB-DV能够在信息准确性与路由开销之间进行有效的折中。在同等更新开销下,可以提高状态的更新速度,这将有助于多个路由节点的有效协同,快速消除慢收敛和路由环路等负面影响,为寻路提供可靠的依据。

2 基于状态稳定性的更新算法

本文的研究对象是由若干节点和双向通信链路构成的有限连接的通信网络。用有权图表示为 $G(V, E)$, 其中, V 和 E 分别为节点集合和链路集合。网络具有较好的连通性,任意两个节点可以通过直接或间接的链路相互到达,且任意两个相邻节点至多通过一条直接的双向链路连接。业务在节点处以先入先出FIFO的调度方式得到服务。

作者简介: 李 原(1976-),男,博士生,主研方向: QoS 网络; 马正新,副教授; 曹志刚,教授、博导

收稿日期: 2006-06-28 **E-mail:** liyuan02@mails.tsinghua.edu.cn

每个节点 N_i 具有独一无二的标识符，通过邻接链路 $l_{i,j} \in E$ 到达邻节点 N_j ，相邻节点间的距离表示为 $D_{i,j}$ ，反映了路由的等级以及网络的决策，可通过某些策略或链路特性对其进行定义为跳数、延时抖动、其它希望得到优化的加性 QoS 参数。本文采用节点间的延时作为距离衡量算法的性能。

当前节点延时和邻接链路延时之和为

$$D_{i,j} = D_{i,j}^{\text{node}} + D_{i,j}^{\text{link}}$$

其中，节点延时 $D_{i,j}^{\text{node}}$ 包括协议处理时间和排队延时，链路延时 $D_{i,j}^{\text{link}}$ 是数据包通过链路的传播延时。假设一条无环路的路径从源节点 N_s 到达目的节点 N_t ，因为 $D_{i,j}$ 是非负实值的加性 QoS 参数，所以路径的延时可以定义为

$$D^{\text{path}} = \sum_{l_{i,j} \in P} D_{i,j}$$

假设节点在 t 时刻的状态为 $B(t)$ ，节点状态的保持概率 $P_{B(t)}(\tau)$ 如式(1)所示。当到达的业务突发度较大时，本文通过对网络中节点状态的保持时间进行统计，发现 $P_{B(t)}(\tau)$ 具有随维持时间长度 的增大而快速下降趋势。说明了路由信息的更新直接关系到每个节点保留信息的准确性。信息更新越频繁，节点获得的信息准确性越高，引入的信息开销也越大。

$$P_{B(t)}(\tau) = P(B(t+\tau) = b / B(t) = b) \quad (1)$$

信息准确性和路由开销必须有效地均衡，在 SSB-DV 算法的节点路由表中，各个路径信息中包含了与最优路径相对应的稳定参数 s ， $s \in S = \{1, 2, 3, \dots, M-1\}$ 。该参数标识了路径信息的 3 类状态：(1) $s=1$ 表示当前节点 N_i 到达目的节点 N_t 的路径距离显著变化；(2) $s=2$ 表示路径距离发生显著变化，且需要接收此更新信息的邻节点 N_k 向 N_s 发出其路由表中对应目的节点 N_t 的路由信息；(3) $s \in [3, M]$ 表示当前路径信息未经发布的周期计数。

路由器节点可以在有限的时间内获取与邻节点间的向量距离信息。当周期更新触发到来，当前节点 N_s 检查其路由表中与每一个目的节点 N_t 的对应信息：

(1) 若该目的节点 N_t 为节点 N_s 的邻节点，获取邻接链路 $l_{s,t}$ 的距离 $D_{s,t}$ 。若经过比较，没有发生路径更替，且与上次更新触发周期时的路径距离相比， $D_{s,t}^{\text{path}}$ 的状态未发生显著变化时，该路径的稳定性参数在 $s \in [3, M]$ 进行累积计数。若 $D_{s,t}^{\text{path}}$ 明显减小，修改稳定性参数为 $s=1$ ，若 $D_{s,t}^{\text{path}}$ 明显增大，修改稳定性参数为 $s=2$ 。如果当前 $l_{s,t}$ 不作为 N_s 与邻节点 N_t 之间的最佳路由，且需要发生路径更替，则修改该路径的稳定性参数为 $s=1$ 。

(2) 若目的节点 N_t 不是节点 N_s 的邻节点，对应的下一跳为邻节点 N_k 。节点 N_s 获取链路 $l_{s,k}$ 的距离 $D_{s,k}$ ，修改当前路由表中的对应路径的距离 $D_{s,t}^{\text{path}}$ 。若与上次更新触发周期时的对应路径距离相比， $D_{s,k}^{\text{path}}$ 未发生显著变化，且未发生路径更替，该路径的稳定性参数在 $s \in [3, M]$ 进行累积计数。若 $D_{s,k}^{\text{path}}$ 明显减小，修改稳定性参数为 $s=1$ ；若 $D_{s,k}^{\text{path}}$ 明显增大，修改稳定性参数为 $s=2$ 。

对应 $s=1$ 或 $s=2$ 的路径信息被包含在本次周期更新信息中发布到邻节点。如果路由表中某条路径的稳定参数为 $s \in [3, M]$ ，那么该条路径信息将被摒弃在本次周期更新信息之外，不发布到邻节点。如果 s 的计数值超过 M ，则转化稳定参数为 $s=1$ 。这意味着该条路径信息经过了 M 个发布更新周期尚未发生发布和更新，需要在下一周期强制发布。改进 DV 算法在最坏情况下的路由信息更新开销等同于传统的 DV 算法。

当邻节点 N_k 发来的更新信息到达节点 N_s 时，根据距离向量算法，对路由表中当前对应的距离或下一跳节点等信息进行修改。路径状态显著变化与否可以采用门限触发方式来衡量，当满足式(2)时，认为该路径的状态发生了显著的变化。

$$|D^{\text{new}} - D^{\text{old}}| / D^{\text{old}} > S_T \quad (2)$$

其中， D^{old} 和 D^{new} 分别是描述上次更新和当前的路径状态的向量距离值； S_T 是稳定性门限。

另外，为了更有效地避免路由环路，在 SSB-TU 距离向量算法中，采用毒性逆转水平分割来配合基于状态稳定的更新机制减少网络中的路由环路。

3 仿真试验

仿真试验中使用的 MCI 拓扑如图 1 所示。该结构是在 QoS 问题中大量被引用的网络拓扑。其中， $R_0 \sim R_{17}$ 是核心路由器，相邻的路由器通过物理链路连接，链路总数 $N=60$ 。 $S_0 \sim S_{17}$ 是子网，在网络中作为业务源生成业务。所有路由器间的链路是双向的，并具有 1Mb/s 相同的带宽。

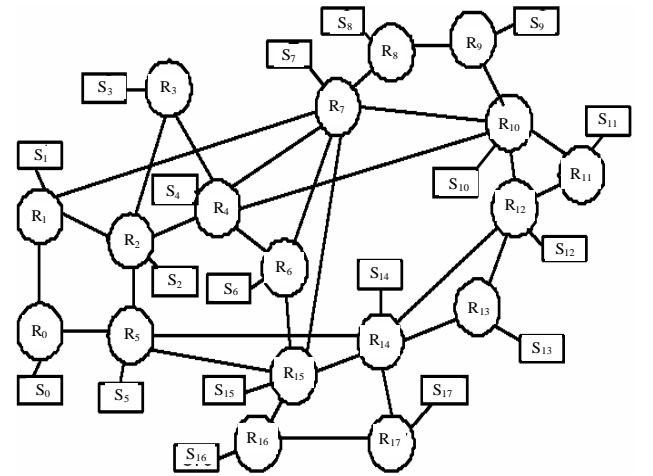


图 1 MCI 仿真拓扑

网络负荷可用式(3)来计算。

$$\rho = \frac{DIN_s N_f \bar{h}}{\tau N_f C} \quad (3)$$

其中， C 是网络中链路的链路容量； N_s 、 N_f 和 N_t 分别是网络中的子网数目、每个子网的平均业务流数目及网络中的链路数目； \bar{h} 是节点间平均距离(以跳数计)，对 MCI 拓扑， $\bar{h} = 2.33$ ； \bar{l} 和 τ 分别代表包的长度和包内部到达间隔的均值， D 为业务持续期在仿真期中所占的比例。

仿真中分别采用泊松和叠加的 ON/OFF 2 种业务源，来模拟算法在不同突发性业务情况下的性能。本文着眼于比较网络性能、网络资源耗费状况，分别用 P_{rej} 、 $P_{\text{tran_fail}}$ 和 G_{suc} 代表业务拒接率、业务失败传输率和网络吞吐量，定义如式(4)~式(6)。

$$P_{\text{rej}} = \text{拒连接数} / \text{请求连接数} = N_{\text{rej}} / N_s \cdot N_f \quad (4)$$

$$P_{\text{tran_fail}} = \text{失败的连接数} / \text{接入的连接数} = N_{\text{fail}} / [N_s \cdot N_f \cdot (1 - P_{\text{rej}})] \quad (5)$$

$$G_{\text{suc}} = N_s \cdot N_f \cdot (1 - P_{\text{rej}}) \cdot (1 - P_{\text{tran_fail}}) \quad (6)$$

G_{suc} 是最关键的网络性能标准之一，为成功传输的业务连接数目。

网络有效吞吐率为

$$R_{\text{eff}} = (1 - P_{\text{rej}}) \cdot (1 - P_{\text{tran_fail}})$$

可以用来衡量算法的路由性能。路由更新开销比率 R_{overhd} 用来反映算法的网络资源消耗状况，定义为算法的路由更新开销与普通周期更新 DV 算法的路由信息更新开销的比值。

在不同的网络负荷下(见图 2)，业务延时 QoS 要求为

$D_{QoS} = 100ms$ 时,将同等更新周期的SSB-DV算法、普通DV算法(DV)和具有毒性逆转水平分割的环路控制DV算法(DV Loop Control)的 R_{eff} 进行比较。因为环路控制等措施减少了网络中的业务误接率,所以具环路控制的周期更新DV算法的有效吞吐率相对高于普通DV算法。与具环路控制的周期更新的DV算法相比,SSB-DV算法的有效吞吐率差别并不明显,但却大大降低了网络中的路由信息的更新开销,这一结果可以从图3中看出。图3列出了不同的网络负荷下,两种业务源所对应的SSB-DV算法的 R_{overhd} 曲线。随着业务负荷的增加,网络中节点的状态稳定性有所下降,路由更新开销增加。

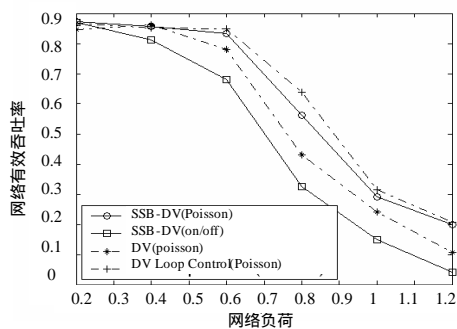


图2 不同网络负载下几种DV算法网络有效吞吐率

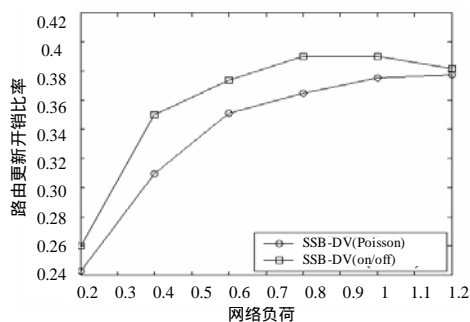


图3 不同网络负载下几种DV算法的路由更新开销比率

图4和图5分别是业务负荷为 $\rho=0.8$ 时,不同的 D_{QoS} 所对应的 P_{rej} 和 R_{overhd} 曲线。随着 D_{QoS} 的增大,满足到来业务QoS请求的路径增多,接入网络的业务增多,且倾向于具有更高的路径代价,拒接率下降,同时网络的不确定性有所上升,算法的路由更新开销略有增大。

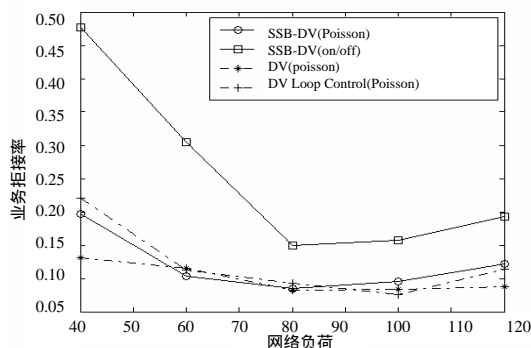


图4 不同 D_{QoS} 下几种DV算法的业务拒接率

图6和图7分别是不同稳定触发门限 S_T 下SSB-DV算法的 P_{tran_fail} 和 R_{overhd} 曲线。随着 S_T 的增加,SSB-DV算法对状态变化的反应趋于迟缓,网络状态的不准确有所增加,导致了业务失败传输率的增加。同时减慢了路由信息的更新速度,路由更新开

销显著下降。这些趋势可以从图2~图7看出,应当根据需要,在路由更新开销与网络的性能之间进行折中。

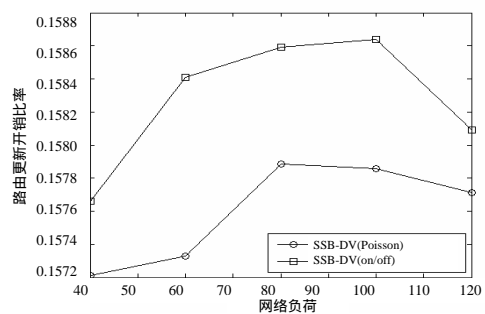


图5 不同 D_{QoS} 下几种DV算法的路由更新开销效率

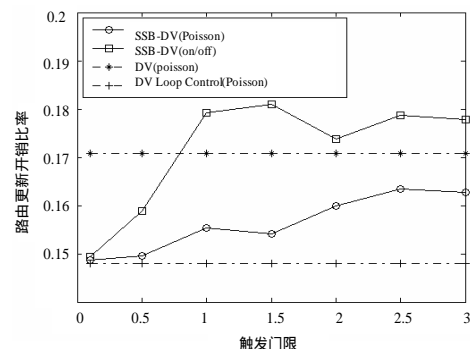


图6 不同触发门限下SSB-DV算法的业务失败传输率

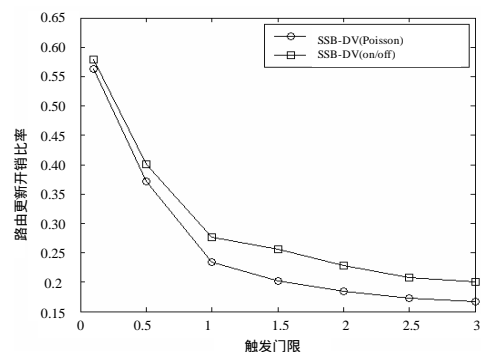


图7 不同触发门限下SSB-DV算法的路由更新开销比率

另外,从这些图中可以看出,叠加的ON/OFF的业务源的突发性增加了网络状态的不确定性,信息的不准确进一步增加了网络误接和漏接概率,采用突发业务源的对应曲线的有效吞吐率和状态信息更新开销相对高于泊松业务源。

4 结论

本文提出了一种基于“状态稳定性更新”的距离向量路由算法。大量的分析和仿真实验表明,SSB-DV能够以相对较小的路由状态更新开销实现与传统的DV算法大致相当的网络性能。在与传统DV算法同等开销下,SSB-DV则可以拥有较高的状态信息周期更新频率,从而加快路由算法的收敛速度,对多个路由节点进行有效的协同,缓解环路问题,在网络有效吞吐率等重要的网络性能上表现出较为明显的优势。

参考文献

- Shigang C, Nahrstedt K. An Overview of Quality-of-service Routing for the Next Generation Speed Networks: Problems and Solutions[J]. IEEE Network, 1998, 12(6): 64-79.

(下转第113页)