

基于时延和跳数的 Ad hoc 网络流量分配算法

孙丹丹¹, 李 新², 苗建松¹, 丁 炜¹

(1. 北京邮电大学 电子工程学院,北京 100876; 2. 江苏省邮电规划设计院,南京 210006)

摘要:提出一种基于时延和跳数的 Ad hoc 网络流量分配算法。该算法根据每个链路的时延和跳数进行流量分配,采用动态分配流量的方法来实现流量的均衡,优化网络资源的利用。仿真结果表明,该算法可动态调整每个链路之间的流量分配,使网络资源占用达到最小。

关键词:通信技术;Ad hoc 网络;时延;跳数;流量分配;资源占用

中图分类号:TN915.01 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2007)04-0881-04

Traffic allocation algorithm based on delay and hops in Ad hoc networks

Sun Dan-dan¹, Li Xin², Miao Jian-song¹, Ding Wei¹

(1. College of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;
2. Jiangsu Posts and Telecommunications Planning and Designing Institute, Nanjing 210006, China)

Abstract: A dynamic traffic distribution algorithm based on delay and hops in Ad hoc networks is proposed. The algorithm is based on delay and hops in allocating traffic and adopts the dynamic traffic distribution to make traffic-balanced which optimize network resource utilization. Simulation demonstrated that the algorithm could dynamic adjust the traffic distribution between paths that can achieve the aim of the minimum utilization of resource.

Key words: communication; Ad hoc network; delay; hops; traffic distribution; utilization of resource

移动 Ad hoc 网络设想能在网络中提供有线网络所支持的有服务质量保证的各种业务,但由于 Ad hoc 网络受带宽有限、拓扑动态变化和无线链路可靠性差等现实因素的影响,使 Ad hoc 网络中 QoS 具有挑战性。文献[1]指出了多条路径发现方案,通过一次路由探测过程,能在源目节点间发现多条不交叠的路径,弥补了 Ad hoc 网络中传统的路由协议只能发现单条路径的不足。由于多条路径的存在,总的带宽得到提高,可以将总流量进行多径分配,从而实现负载均衡或优化网络性能的目的。Widjaja 等^[2]首次提出了自适应流量工程的概念,但是只是简单地从避免拥塞的

角度出发将流量从高拥塞的链路转移到无拥塞的链路。仿真表明在整个网络负荷很小的时候能够很好地工作,随着网络负荷的增加,收敛性变得很差^[2,3]。由于文献[3]中的算法是面向有线网络的,其接收和发送链路不会相互影响,不适合链路共享的 Ad hoc 网络。文献[4]提出了根据路径的拥塞程度分配流量的算法,与单径相比,有效地提高了总流量的平均时延性能。但是在文献[4]的方案中,将网络的通信状态设想为静态不变的,实际上网络的带宽能力和流量状况是实时变化的。作者在参考以上几种流量分配算法^[2-5]的基础上,结合 Ad hoc 网络无线链路的特点,把时延和

收稿日期:2006-06-26.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372101).

作者简介:孙丹丹(1978-),女,讲师,博士研究生. 研究方向:宽带通信网络. E-mail:soarchao@tom.com

通讯联系人:丁炜(1935-),男,教授,博士生导师. 研究方向:宽带通信网络. E-mail:dingwei@bupt.edu.cn

跳数作为流量分配的参数,提出了一种新的适合 Ad hoc 网络的流量分配算法,目标是使整个网络的时延跳数积最小,充分利用网络资源。通过仿真验证了该算法的有效性。

1 理论分析

自适应流量工程(Adaptive traffic engineering)的主要目的是增加网络运行效率,提高其可靠性,同时优化网络资源的使用和流量性能。在一源目节点之间作者采用动态分配流量的方法来实现流量的均衡,如图 1 所示。从源节点 s 进入的流量为 λ ,通过 s 来把这些流量动态分配到各条链路上,从而实现流量的均衡。

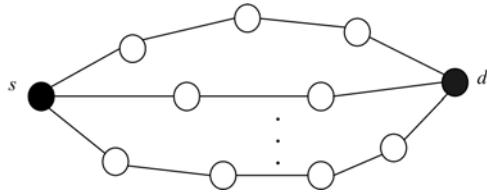


图 1 流量分配网络模型

Fig. 1 Model of traffic distribution network

设流量分配的代价函数为

$$F = \sum_k f_k(\lambda_k) \quad (1)$$

式中: λ_k 为分配到路径 k 上的流量,且 $\lambda_k \leq C_k$,其中 C_k 为路径 k 的容量,并且有 $\sum_k \lambda_k = \lambda$ 。

在网络中,时延、丢包率与带宽成反比,跳数则反映网络的资源占用情况,同样的数据流经过的跳数越多,其资源占用就越大。因此,可用带宽和跳数作为流量分配的基准。但在实际网络中,一条路径的剩余带宽很难用简单方法实时测得,而时延的测量却比较容易,只需要一条链路的源目节点间发送检测分组即可。

对于一条路径 k ,令其平均时延为 D_k ,跳数为 N_k ,定义 $X_k = D_k \times N_k$ 作为流量分配的基准,则流量分配的代价函数可表示为

$$F = \sum_k X_k = \sum_k D_k(\lambda_k) N_k \quad (2)$$

其中约束条件为 $\lambda = \sum_k \lambda_k$ 。分配流量的目标是使网络的时延跳数积达到最小,即网络的资源占用达到最小,也就是使代价函数 F 达到最小。对于方程(2)有最小值的充分条件是函数 F 为凹函数,此时存在一组值 $(\lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_k^*, \dots, \lambda_n^*)$,使得 F 最小。

对 Ad hoc 网络中的单个节点来说,通信时延

来源于排队时延、处理时延和传输时延等。对于单个数据包而言,处理时延和传输时延较为固定,而排队时延受网络的拥塞程度影响,变化较大。在排队论里,节点的接收和发送可以用马尔可夫 M/M/1 服务模型^[6]来分析。根据 Little 公式可知,数据包的平均时延符合以下关系:

$$D = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (3)$$

式中: λ 为数据包到达速率; μ 为数据包发送速率,且 $\mu \geq \lambda$ 。

在有线网络中,路由节点的接收和发送能力固定不变,而且不相互影响。而在 Ad hoc 网络中,节点的接收和发送共享相同的无线信道,相互影响。设节点的带宽能力为 B (接收和发送共享),那么 $\mu = B - \lambda$,所以数据包的平均时延关系式变为^[7]:

$$D = \frac{\lambda}{(B - \lambda)(B - 2\lambda)}, \lambda \leq \frac{B}{2} \quad (4)$$

对于参数为 λ_k 的 $D_k(\lambda_k)$ 函数来说, $D_k(\lambda_k)$ 是单调递增的。根据最优化理论,在约束条件下,为求函数 F 的最小值,可得到如下拉格朗日方程:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dF}{d\lambda_1} = 0 \\ \vdots \\ \frac{dF}{d\lambda_n} = 0 \\ \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \end{array} \right. \quad (5)$$

上面的方程组有 $n+1$ 个方程, n 个变量($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$),所以解存在。解得 $\lambda_k^* = a_k \lambda$, $\sum_k a_k = 1$,根据 a_k 进行基于时延跳数积最小即网络资源占用最小的流量分配。

2 算法描述

在利用上述算法进行求解时,只要建立合理的时延数学方程,如式(4)所示,调整函数(2)中的参数即可得到优化解。但是式(4)依赖于路径的有效带宽和固有流量,在 Ad hoc 网络中,它们都是动态变化且缺乏有效的办法来测量,故在实际网络中,仅根据式(4)来求解是不可行的。式(2)仅可用于从理论上分析流量分配问题,实际网络的平均时延通常与式(4)有一定偏差,根据式(4)进行动态流量分配是不精确的。为此,提出了可用于实际网络中的自适应流量分配算法,将资源占用作为直接目标。鉴于路径时延和跳数是实际可测的,作者使用类似于 IGMP 的 PING 功能测量路径的时延及跳数,并将两者的乘积作为流量

分配标准,实现总流量在 k 条路径上的动态分配。

算法的具体执行过程描述如下:

(1)根据文献[1]中的方法,在源目节点间探测多条路由路径。

(2)启动初始化状态,设分配因子 $a_{k,0} = L/N$, N 为路径数目, L 为待分配的总流量。

(3)启动检测时延分组。启动时延分组的实现类似于 IGMP 的 PING 功能。源节点沿各条已知的路由路径发送检测分组,并打上时戳 D_i ,目的节点收到分组后直接按原路径回复,并打上时戳 D_j ,则平均时延应该是 $E(D_j - D_i)$ 。

(4)将流量从时延跳数积高的链路转移到时延跳数积低的链路。根据测得的第 k 条路径在 j 时刻的时延 $D_{k,j}$ 与相应的跳数 $N_{k,j}$ 相乘就可以得到资源占用参数 $R_{k,j}$,即定义网络资源占用参数为: $R_{k,j} = D_{k,j} \times N_{k,j}$ 。将 $R_{k,j}$ 从大到小排列并将最大值与最小值看作一对,次大值与次小值看作一对,以次类推。可设有 M 对,从 $\max(R_{k,j})$ 到 $\min(R_{k,j})$ 的转移流量为 β_m ,依此类推,每一对的转移流量为 β_i , β_i 的大小可以人为控制且随时可变,从而实现流量的重新分配。

(5)延迟一个测量间隔后,重复执行(3)。

该算法一直在运行,不需要终止,对于网络中固有流量和待分配流量的变动,算法能够自适应调整,从而达到流量均衡的目的,最终使网络的资源占用达到最小,从而优化了网络性能,使网络一直工作在最优状态。

3 仿真分析

为了进一步验证本文算法的有效性,建立仿真实验进行验证分析。如图 2 所示,源节点到目的节点的路径有 4 条,记为 L_1 、 L_2 、 L_3 和 L_4 。每条路径上的固有背景流量分别为 120、80、150 和 150 kb/s,并随时间发生缓慢的动态变化。4 条路径的服务速率依次为 400、500、600 和 400 kb/s。现有从源节点到目的节点的流量为 100 kb/s,作者对各路径跳数在不同情况下进行了仿真。第一种情况为 $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 5$ 。第二种情况为 $N_1 = 3, N_2 = 4, N_3 = 5$ 和 $N_4 = 6$ 。

在相同跳数的情况下, L_1 和 L_4 的处理速度小于 L_2 和 L_3 的处理速度,因此它们分配到的流量在逐渐减少,但是随着仿真的进行, L_1 和 L_4 的固有流量呈下降趋势,而 L_2 和 L_3 的固有流量逐渐增加,当这两条路径的网络资源占用大于 L_1 和

L_4 时,它们分配的流量逐渐减少,而 L_1 和 L_4 上分配的流量在逐渐增加,如图 3(a)所示。在不同跳数的情况下,如图 3(b)所示,各路径的流量分配的大致趋势相同,图 3 给出了不同情况下各路径的流量分配示意图。只不过在不同的仿真时刻,受跳数不同的影响,各路径上的流量分配的数

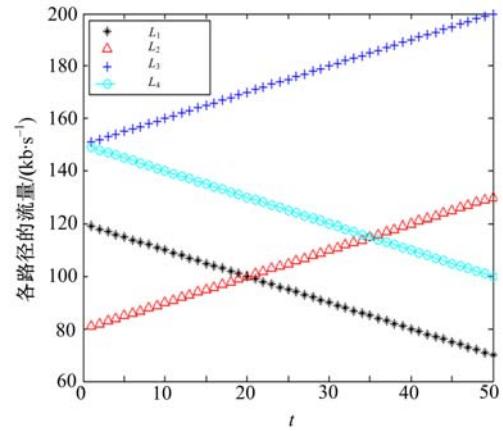


Fig. 2 Traffic variations of different paths

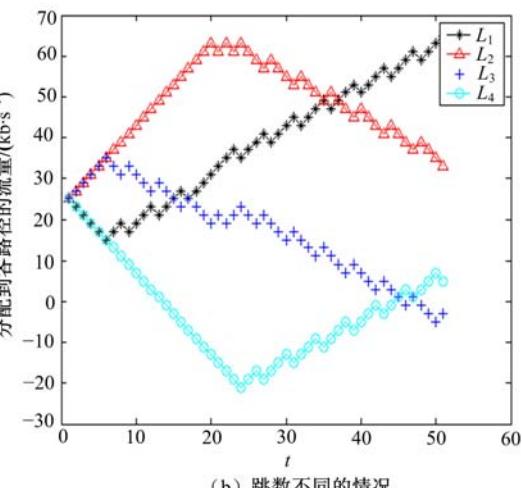
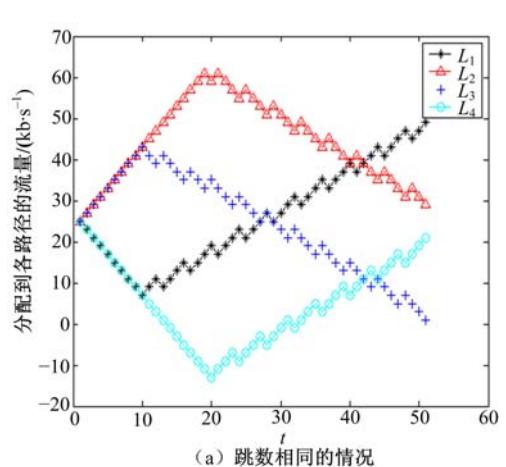


Fig. 3 Traffic distribution of different paths

Fig. 3 Traffic distribution of different paths

值有所区别。跳数越大,分配的流量就越少。

图4为各路径上的资源占用情况。从图中可以看出,随着仿真的进行,各路径上的资源占用逐渐趋于相同。当各路径上的资源占用趋于相同时,整个网络的资源占用也趋于达到最小值^[8],即实现了作者进行流量分配的目的。图5对比了基于资源占用最小的流量分配算法与基于平均分配的算法的网络资源占用情况。从图5可以看出,本文算法可以实时保证网络资源占用低于基于平均分配流量的网络资源占用,故可以保证网络的资源占用达到最小,实现了对网络的优化。

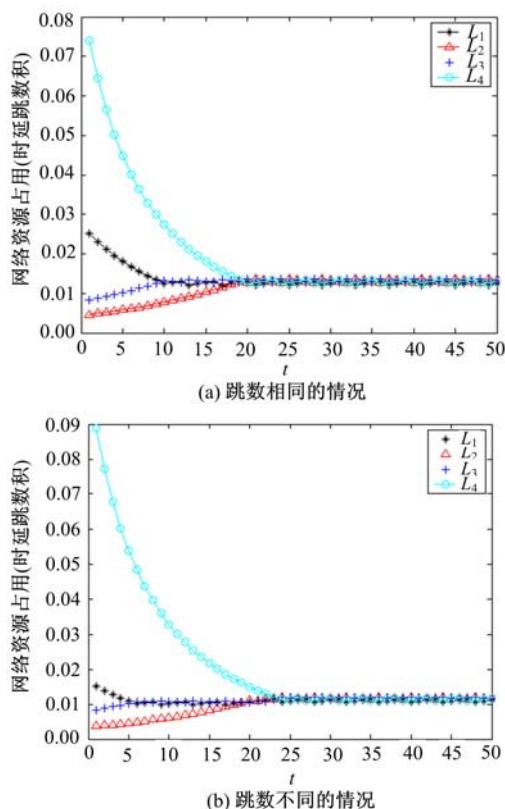


图4 各路径上的资源占用情况

Fig.4 Utilization of resources of different paths

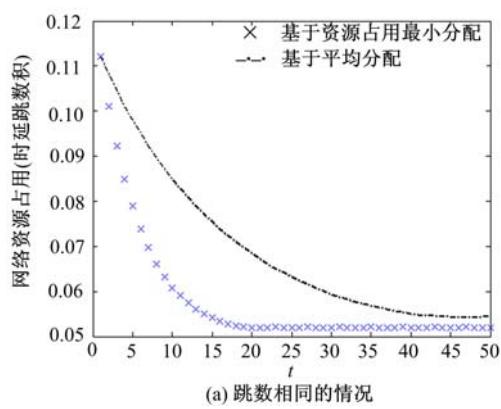


图5 网络资源占用情况比较

Fig.5 Comparison of utilization of network resource

4 结束语

作者提出的算法实现了基于时延跳数积即以网络资源占用最小为目的的流量分配。仿真结果表明,该算法可以在各路径上动态地进行流量的合理分配,达到使整个网络资源占用最小的目的,从而实现了网络性能的优化。

参考文献:

- [1] Mahesh K M, Das S R. On-demand multipath distance vector routing in Ad hoc networks[C]// Ninth International Conference on Network Protocols, Washington D. C., USA, 2001:14-23.
- [2] Widjaja Indra, Elwalid Anwar. MATE :MPLS adaptive traffic engineering[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM2001, Alaska: IEEE, 2001:1300-1309.
- [3] Elwalid A, Jin C, Low S, et al. MATE: MPLS adaptive traffic engineering[C]// Proc INFOCOM'01, 2001.
- [4] Sheng M, Li J, Shi Y. Routing protocol with QoS guarantees for Ad-hoc network[J]. Electronics Letters, 2003, 39(1): 143-145.
- [5] 崔丙峰,杨震,丁炜. 一种资源占用最小的并行LSPs流量分配算法[J]. 北京邮电大学学报,2005,28(2): 21-24.
Cui Bing-feng, Yang Zhen, Ding Wei. A parallel label switch paths traffic allocation algorithm based on minimum utilization[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications , 2005, 28(2): 21-24.
- [6] David M. QoS and Traffic Management in IP and ATM Networks [M]. California, USA: The McGraw-Hill Companies Inc, 2000:203-226.
- [7] 冯美玉. 移动Ad hoc网络关键技术研究[D]. 北京:北京邮电大学电子工程学院,2005.