

一种基于信道阻力的 Ad hoc 网络多路径路由算法

刘永广^{①②} 叶 梧^① 冯穗力^①

^①(华南理工大学电信学院 广州 510640)

^②(广东轻工职业技术学院管理系 广州 510300)

摘 要: 该文提出了一种基于信道阻力的 Ad hoc 网络多路径动态源路由算法。算法中定义了信道阻力的概念, 并以信道阻力为依据来进行多条路径的流量分配, 由于信道阻力计算中综合考虑了链路质量的各个度量参数, 因此能够根据各条路径的传输能力合理分配数据流量。NS2 环境下的仿真表明, 新算法能够有效地平衡网络负载, 提高网络的吞吐量。

关键词: Ad hoc 网络; 信道阻力; 多路径; 路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)02-0476-04

A Multipath Routing Algorithm for Ad hoc Networks Based on Channel Resistance

Liu Yong-guang^{①②} Ye Wu^① Feng Sui-li^①

^①(Institute of Electronics & Telecommunications, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

^②(Management Engineering Department, Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China)

Abstract: A multipath dynamic source routing algorithm based on channel resistance is presented. In the algorithm, the concept of channel resistance is defined and used for distributing data flow between different paths. Because the parameters of link quality are comprehensively considered in calculating channel resistance, the algorithm can reasonably distribute data flow to different paths according to their transmission ability. Simulations under NS2 environment prove that the new algorithm has better performance in balancing the network load and improving network throughput.

Key words: Ad hoc network; Channel resistance; Multipath; Routing

1 引言

移动 Ad hoc 网络路由是一个关键问题。现行的路由算法大多是按需单路径路由协议, 如 DSR^[1]、AODV^[2]等。这些算法都采用单路径方式传送数据, 控制包开销和网络延迟较大, 当负载较大时, 将面临网络拥塞的问题。针对以上协议的问题, 提出了一些多路径路由算法。文献[3,4]中的多路径源路由协议对 DSR 协议进行了改进, 能有效地提高网络的吞吐量。文献[5]提出了移动网络多路径结构及其分析模型, 从理论上对多路径路由进行了研究。文献[6]提出了利用网络分簇的层次结构来搜索并建立多路径传输流量的方法。文献[7]提出了一种利用网络最大流理论设计的多路径路由算法, 提高了网络的吞吐量。

目前提出的多路径算法各有优缺点^[5], 这些算法都需要研究路由的发现机制、数据的多路径发送方法以及提取高效的路径集等问题。这些算法中普遍存在的一个问题是在多个

路径上分配数据时没有考虑到各个路径上链路状态的影响或者只考虑某一状态(如延迟)的影响, 因此难以根据链路的负载和综合传输情况在各个路径上做出合理的数据量分配。本文针对这些问题, 参考流体传输理论, 提出了一种基于信道阻力的多路径路由算法, 因此首先简要介绍一下流体传输基本理论。

2 流体传输理论基础

流体在管道流动时产生摩擦阻力^[8]。并有如下计算关系式:

$$H = RQ^2 \quad (1)$$

式中 H 为摩擦阻力; R 为阻力系数, 是一个反映管道特征

的参数; Q 为流量。

$$\sum Q_i = 0 \quad (2)$$

式中 Q_i 为节点处流入和流出的流量。

对于网络中的任意两个并联管路 i 和 j 有

$$H_i = H_j \quad (3)$$

式中 H_i, H_j 分别为管路 i 和 j 的摩擦阻力。

2007-09-29 收到, 2008-05-11 改回

广东省自然科学基金项目(31391)和 2006 年粤港关键领域重点突破项目(20060104-2)资助课题

由于信息流的传输和流体的传输在传输介质和传输形式上有着本质的区别。因此,采用流体理论来研究数据流在网络中的传输前,做以下假设:(1)数据在网络传输过程中是不丢包的,从而保证源节点到目的节点传输过程中流量的守恒;(2)数据的传输过程可以看成是连续的,数据在中间节点上的行为特性可以看作是传输链路的特性,比如队列延迟等。

3 信道阻力

3.1 信道阻力的定义

定义 1 对于传输链路,定义信息流在其中传输产生的阻力为信道阻力。并且:

$$h = rq^\alpha \quad (4)$$

式中 h 为信道阻力; r 为阻力系数; q 为数据流量; α 为流量指数。

3.2 信道阻力系数

定义 2 式(4)中的 r 称为阻力系数,该系数是一个反映信道传输特性的综合参数,和信道传输过程中的带宽、延迟特性、抖动特性、丢包率等有关,即

$$r = k \frac{D^b J^c L^a}{W^d} \quad (5)$$

式中 D 为延迟时间; J 为抖动时间; L 为丢包率; W 为信道带宽; k 为成正比系数; a, b, c, d 均为指数。此处的丢包率和前面的不丢包的假设并不矛盾,因为此处的丢包率看成了链路的固有特性,而假设是数据传输前为了链路流量分配计算而设定的。

3.3 信道阻力的物理意义

根据定义,信道阻力是一个用来表征信息流在一段链路上传输难易程度的一个物理量。如果一段链路的阻力比较大,说明信道的阻力系数 r 大或者通过的数据量比较大。 r 大,则说明该条链路要么带宽小、要么延迟大或者抖动性大,这些都表明此条链路不适宜进行传输,因此应该分配较小的流量在这些链路上,使它的信道阻力值降下来。如果某段链路的信道阻力比较小,说明可以分配更大的数据流量在其上面。所以当各条链路的 r 一定,在源和目的节点间的链路上分配数据流量时,最优的分配方法应使各条链路的信道阻力总和最小,这样才能保证每条链路根据它的传输能力分配到合适的流量。

如果设总的流入数据量为 Q , 则对于 n 条并联链路有

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = Q \quad (6)$$

各个链路的信道阻力和为

$$S = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n r_i q_i^\alpha \quad (7)$$

通过拉格朗日乘数法求 S 的最小值,得到以下结论:

$$r_1 q_1^{\alpha-1} = r_2 q_2^{\alpha-1} = \dots = r_n q_n^{\alpha-1}$$

在上式中令 $\beta = \alpha - 1$, 并用 H_i 来表示其中的每一项,则有

$$H_i = r_i q_i^{\alpha-1} = r_i q_i^\beta \quad (8)$$

此处称 H_i 为链路 i 的等效信道阻力,并得到链路 i 分配到的流量为

$$q_i = \frac{Q}{1 + \sum_{j=1, j \neq i}^n \left(\frac{r_j}{r_i} \right)^{1/\beta}} \quad (9)$$

由信道阻力的物理意义可知,在信道阻力小的链路上应该分配较多的流量,而在信道阻力大的链路上应该分配较少的流量。式(8)的结论在 $\alpha > 1$ 的条件下正好验证了这一原则,因此规定式(8)中的指数 $\alpha > 1$ 。

4 基于信道阻力的多路径路由算法

根据以上结论,本文设计了一种多路径源选路由算法(Multipath Routing Based on Channel Resistance, MRBCR),该算法选择源和目的节点间的多条节点不相交并联路径^[4]传输数据,各路径数据量分配满足式(9),以下是算法的关键过程。

4.1 路由发现和维护

在本算法中,采用了文献[4]路由发现和维护的方法。所不同的是,考虑到路由信息的开销,在协议中规定对同一源节点的同一请求,回复报文数量不多于6条。如果回复数目已经达到6条,则再到达的路由请求报文就会被丢弃。

4.2 链路状态维护和阻力系数计算

算法中仅考虑链路的带宽和延迟两个参数,为了使用式(5)计算每跳的 r 值,设 $k = 1$, $b = d = 1$, 并采用了文献[9]的延迟带宽估计方法。本算法的信道阻力系数,是为了表示某段信道在数据传输上的难易程度,因此应该是一个累积值。据此,带宽和延迟计算时节点中保存的历史值设定权重 0.8, 当前测量值权重 0.2, 即

$$D = 0.8D_{\text{history}} + 0.2D_{\text{current}}, \quad W = 0.8W_{\text{history}} + 0.2W_{\text{current}} \quad (10)$$

源节点向目的节点传送数据报文时,经过的每个中间节点把每跳 r 追加在报文中,数据报文到达目的节点时,延迟一段时间,如果在此段时间内有目的节点到源节点的数据,则捎带这些链路的 r 到源节点,如果超过延迟时间,则独立地发送一个报文把每跳 r 传送到源端。

4.3 路径选择

定理 1 在 m 条并联路径中选择 n 条等效信道阻力和最小的路径,当且仅当这 n 条路径的阻力系数和最小。

证明 定义 $R_i = \sum_{j=1}^k r_j$ 为第 i 条路径的阻力系数和,其

中 k 为该路径的跳数, r_j 为第 j 跳的阻力系数。根据式(9), n 条最小阻力系数的路径的等效信道阻力和可用其中的一条路径 x 的等效信道阻力表示: $h_s(x) =$

$$\frac{nR_x Q^\beta}{\left(1 + \sum_{i=1, i \neq x}^n \left(\frac{R_x}{R_i} \right)^{1/\beta} \right)^\beta}$$

。由于对 R_x 的导数 $h'_s(x) > 0$, 所以从剩下的 $m - n$ 条路径中选择任意一条路径 y 替换路径 x , 由

于 $R_y > R_x$ ，所以必然有 $h_s(y) > h_x(x)$ ，定理得证。

当源端有数据要发送且路径多于3条时，算法根据定理1在缓存中选择3条路径。

5 仿真和性能分析

5.1 仿真环境和算法参数

所有的仿真都在NS-2.31环境下进行，每个节点的传输半径约250m，Mac层使用IEEE 802.11 DCF，信道带宽2Mbps，节点移动采用Random Waypoint模型。性能评估上，通过和两种典型的源选路由算法DSR^[1]，SMR^[4]进行比较来考察算法的性能。表1对三者在实现上的不同进行了比较。

表1 MRBCR和DSR, SMR在实现上的比较

优化方法	DSR	SMR	MRBCR
允许流状态	是	否	否
中间节点使用缓存中的路径应答ROUTE_REQUEST报文	是	否	否
分析侦听到的任何源路由	是	否	否
采用路径压缩	是	否	否

5.2 β 值确定

在此，通过实验确定一个 β 值，使网络的端到端吞吐量最大。实验时设式(5)中的带宽和延迟指数为1，实验场景1500m×1500m，36个节点，移动速度在0~40m/s之间，暂停1s，18个CBR流，发送速率每流每秒1个报文，报文大小512个Byte。针对每个场景让 β 取不同的值进行10次仿真，每次仿真时间为500个仿真秒，结果如图1所示。

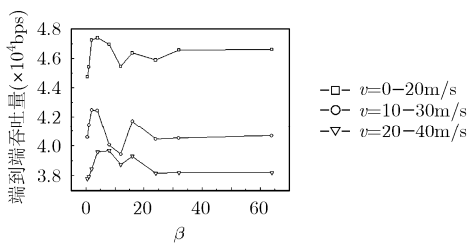


图1 β 变化对端对端吞吐量的影响

由该图可以看到，随着 β 值的不同，端对端吞吐量出现较大的波动。但是在 $\beta = 4$ 附近都能达到或接近最大值，因此选择 $\beta = 4$ 作为流量指数。

5.3 性能评估

在性能方面主要比较3个指标：端对端平均延迟、端对端平均吞吐量和丢包率。采用的仿真场景如表2所示。仿真中节点数36个，暂停1s，除5号场景外，其余每个场景产生18个CBR流，发送速率每流每秒1个报文，报文大小512Byte。

表2 性能仿真场景

场景编号	场景说明
0	场地1000m×1000m，速度0-5m/s
4	速度40-50m/s，其余同上
2	场地1500m×1500m(下同)，速度20-30m/s
3	速度30-40m/s
1	速度10-20m/s
5	速度10-20m/s，20个CBR流，每流每秒2个报文，报文大小1kByte

图2是3个算法在端到端吞吐量上的比较，由图可以看出，在节点处于静止或者半静止状态下，DSR的吞吐量最大，MRBCR最小，这是由于这种状态下协议的主要额外开销是报头开销，DSR的流状态使数据报头开销大幅度减小。而MRBCR算法还要有链路的阻力信息，额外开销最大，有效吞吐量最低。随着节点移动性的增加，控制报文成为网络的主要额外开销，DSR协议路由发现过程的频繁进行导致开销增大，相反两个多路径算法由于不需要频繁的路由发现，控制报文导致的开销要小的多。本文的MRBCR算法虽然和SMR算法一样采用了3条路径进行传输，但吞吐量却高于SMR，这是由于：(1)在路径的选择上MRBCR算法依据定理1动态选择3条综合传输性能最好的路径，而不是SMR算法使用路由缓存中固定的3条路径；(2)在数据量的分配上，不同于SMR平均分配数据量，MRBCR综合考虑了链路的延迟和带宽特性，在更优质的链路传输更多的数据量，所以端到端吞吐量最大。

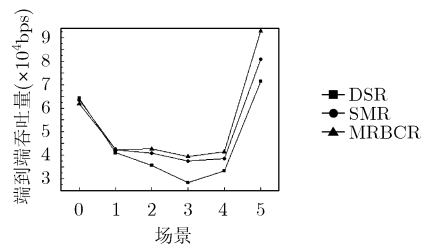


图2 不同算法端到端吞吐量的比较

图3显示本文算法的延迟要高于SMR，这是因为该算法的总体额外开销要远高于SMR。图4对3种算法的丢包率做了比较，可以看出吞吐量越大，丢包率越低。另外，场景5和场景1的仿真结果对比，说明当网路负载增加后，集中在一条链路上发送数据就容易出现拥塞和冲突，此时根据链路的传输能力把更多数据分配到阻力系数小的链路上就更能提高网络的性能。

在场景3下对每个节点转发的数据量(不包括控制报文)进行了统计，如表3所示。可以看到，DSR标准差最大、均衡性最差。MRBCR能够把流量引向阻力系数小更适合传输

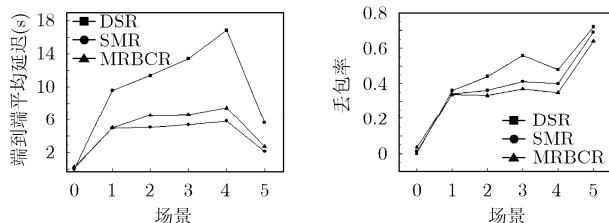


图3 不同算法端到端平均延迟的比较 图4 不同算法丢包率的比较

表3 转发数据量统计

算法	均值(Byte)	标准差(Byte)
DSR	493704.3	83019.6
SMR	257554.1	54196.8
MRBCR	254614.2	46878.5

的链路,所以MRBCR的标准差最小,均衡性好。

6 结束语

本文在建立了信道阻力模型的基础上,提出了一种多路径源选路由算法,实现了一种新颖的多路径分流计算方法。仿真表明,算法能够达到平衡网络资源、提高网络吞吐量的目的。算法测量方法、更新方式等方面可以做进一步研究。

参考文献

- [1] Johnson D and Maltz D A. The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPv4. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>, 2006, 1.
- [2] Perkins C E and Royer E M. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, 2006, 1.
- [3] Wang L, Zhang L F, and Shu Y T, *et al.* Multipath source routing in wireless ad hoc networks [C]. Canadian Conference

On Electrical and Computer Engineering, Edmonton, Canada, 2000: 479-483.

- [4] Lee S J and Gerla M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in Ad hoc networks [C]. IEEE ICC2001, Helsinki, Finland, 2001: 3201-3205.
- [5] Banner R and Orda A. Multipath routing algorithms for congestion minimization [J]. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 2007, 15(2): 413-424.
- [6] 安辉耀, 卢锡城, 彭伟. 移动自组网中一种基于簇的多路径路由算法[J]. 软件学报, 2007, 18(4): 987-995.
- [7] 陈跃泉, 郭晓峰, 曾庆凯, 等. AMR: 一个基于网络最大流的Ad-hoc多路径路由算法[J]. 电子学报, 2004, 32(8): 1297-1301.
- [8] Chen Yue-quan, Guo Xiao-feng, and Zeng Qing-kai, *et al.* AMR: A multipath routing algorithm based on maximum flow in Ad-hoc networks [J]. *Acta Electronic Sinica*, 2004, 32(8): 1297-1301.
- [9] 徐瑞龙. 通风网络理论 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993: 12-23.
- [10] Xu Rui-long. Theory of Ventilation Networks[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1993: 12-23.
- [11] Kliazovich D and Granelli F. Cross-layer congestion control in ad hoc wireless networks [J]. *IEEE/ACM Trans. on Ad hoc Networks*, 2006, (4): 687-708.

刘永广: 男, 1972年生, 博士生, 高级工程师, 研究方向为通信网络路由算法、业务建模等。

叶梧: 男, 1938年生, 教授, 主要研究方向为通信网络理论与技术、多媒体信号传输与处理等。

冯穗力: 男, 1955年生, 教授, 主要研究方向为通信网络理论与技术、多媒体信号传输与处理等。