

Ad Hoc 网络中基于节点相关因子的多路径路由算法^①

骆华强¹, 王万良², 姚信威¹

¹(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

²(浙江工业大学 计算机科学与技术院, 杭州 310023)

摘要: 针对 Ad hoc 多径路由网络中各路径相互干扰的问题, 提出了一种基于节点相关因子模型的多路径路由算法 (AOMDV-LR)。该算法利用中间节点能够监听邻近节点接收报文的特性, 结合邻近节点路由请求包数量的信息来计算每个中间节点的相关因子, 得到总相关因子最小的节点不相交路径, 保证各路径的数据传输干扰程度为最低。仿真结果表明, AOMDV-LR 算法能显著增加数据包的投递率, 降低端到端的传输时延。

关键词: Ad hoc 网络; 多径路由; 节点不相交路径; 相关因子

Node-Disjoint Multipath Routing over Ad Hoc Networks Based on Node Correlation Factors

LUO Hua-Qiang¹, WANG Wan-Liang², YAO Xin-Wei¹

¹(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

²(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The paper presents a new multi-path routing algorithm (AOMDV-LR) based on the model of node correlation factors to solve the problem of paths' interference in Ad hoc multi-path routing network. This algorithm uses the character that intermediate nodes have the ability of monitoring adjacent nodes' information of receiving packets, and combines the packets' amount of the request from adjacent nodes routing to calculate the correlation factor of each intermediate node. The aim of this algorithm is to get the minimum disjoint path of the sum of correlation factors to ensure the interference degree of the paths' data transmission is the lowest. Simulation results show the proposed algorithm can improve the packet delivery rate uncommonly, and reduce the end to end transmission delay.

Key words: ad hoc network; multi-path routing; node-disjoint path; correlation factor

Ad Hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的多跳临时性自治系统。由于其具有自组织性、网络拓扑的动态变化性和移动终端的便携性等特点, 在军事、传感网络以及商业等方面已经得到了广泛的应用。

多路径路由能够有效平衡载荷, 提高容错能力并且具有较高的总带宽。近年来, 在对多路径路由的研究上国内外学者们已经展开了深入的研究。文献[1-3]提出的多路径路由算法是对单路径路由算法 AODV、DSR 的扩展, 都能将报文传输分散到多条路径上进行, 因而可以实现载荷平衡。但是, 多路径路由还需考虑 Ad Hoc 网络的物理特性, 尤其是无线链路层的影响。

当多条路径在传输报文时, 由于各节点要共享信道, 所以多条路径之间会相互干扰, 发生严重的冲突, 甚至可能导致报文传输失败, 致使多路径的传输效率并不高。

“相关因子”可用来描述两条节点独立路径间的相互传输干扰程度。两条节点独立路径的相关因子即为连接两条独立路径的链路条数。近年来, 国内外大量学者都结合相关因子来选择路由路径。文献[4-5]把相关因子与能量模型相结合, 降低能耗的同时显著降低了报文传输时的丢包率。文献[6]把两条独立路径的相关因子的考虑推广到多条节点独立路径, 从多条节点独立路径中选择相关因子最小的路径。但文献[4-6]

① 基金项目:国家自然科学基金(61070043)

收稿时间:2011-02-23;收到修改稿时间:2011-03-21

都是在得到多条路径以后再利用路径间的相关因子来筛选路径,没有在路由发现过程中充分利用相关因子。文献[7]则把相关因子提前到路由回复阶段,从而及时剔除干扰度大的节点,提高各路径的独立性。但文献[7]优先选择了跳数值最小的路径,在此基础上再在路由回复过程中结合相关因子来选择其它节点独立路径,并未优先考虑相关因子。

因此本文结合 Ad Hoc 网络的特性,提出一种基于节点相关因子的多径路由算法 AOMDV-LR。该算法把相关因子提前到了路由请求阶段,结合本文提出的概率模型,计算出每个中间节点的相关因子数,进而得出每条独立路径的抗干扰能力,从而选出相互干扰比较小的多条节点独立路径,仿真表明该路由算法提高了数据传输的成功率,减小了时延。

1 问题描述

1.1 网络模型及多路径路由描述

定义 1. Ad Hoc 网络中的节点集合 V 和节点间的双向链路集合 E 构成了一个双向图 $G=(V, E)$ 。对于 V 中任意两个节点(源节点 S 和目的节点 D), 寻找一个有向序列 (v_1^i, \dots, v_n^i) 满足:

- 1) $v_1^i = S, v_n^i = D, \forall i; 1 \leq i \leq n$
- 2) $(v_j^i, v_{j+1}^i) \in E; \forall i, j; 0 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n-1$
- 3) $v_j^i \neq v_l^k; \forall i, j, k, l; 1 \leq i, j, k, l < n, i \neq k, j \neq l$

定义 2. 源节点 S 到目的节点 D 的 n 条节点不相交的数据链路称为节点独立的多路径路由。如图 1 所示, 路径 $S-a-b-D$ 、 $S-c-D$ 和 $S-e-f-D$ 即为节点独立的多路径路由。

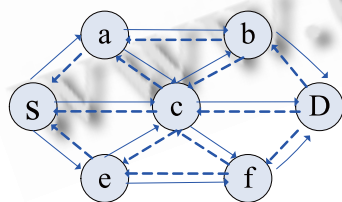


图 1 双向网络模型图

1.2 节点干扰问题对多路径路由传输的影响

由于 Ad Hoc 网络中的节点在无线媒介上进行通信, 当一个节点在发送报文时, 则它的相邻节点可接收到该发送报文, 但同时无法接收其它节点的发送报文。在采用多路径路由中的多条路径进行报文发送时,

如果多条路径上的某些节点处在相同的碰撞区域内, 则节点间就会进行信道竞争, 那么就会导致多条路径相互干扰。如图 2 所示, 两条节点独立路径为:

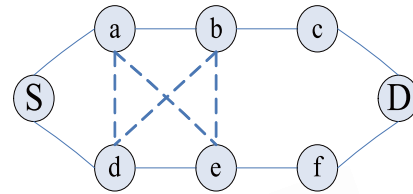


图 2 独立路径的节点冲突模型

$S-a-b-c-D$ 和 $S-d-e-f-D$ 其中虚线表示两节点在相互通信范围内。若节点 S 在给节点 d 发送报文时, 节点 a 也正在向节点 b 发送报文, 此时节点 a 和节点 d 就会发送信道竞争, 两个发送就会在节点 a 处发生碰撞, 从而会导致节点推迟发送, 直到信道空闲时才恢复发送。因此在选择多条独立路径的时候应尽量避免彼此节点的相互冲突, 保持报文在独立路径传输中的顺畅性, 从而减少网络时延, 提高整个网络的吞吐量。

在双向网络模型中, 如果中间节点 i 有 m 个邻居节点, 则 m 个邻居节点的报文发送都会对该节点 i 的报文发送产生干扰, 因此在路由选择时, 节点 i 的邻居节点与节点 i 被选为路由节点的概率会成非线性反比关系。如图 2 所示, 若节点 a 的邻居节点 d 选为节点独立路径的一个中间节点的概率比较大时, 由于节点 d 发送报文会对节点 a 发送报文产生干扰, 因此在选择路径节点时为了避免两个节点发生节点冲突, 节点 a 被选为路径中的中间节点的概率就相对比较小。反之, 若节点 d 选为节点独立路径的一个中间节点的概率比较小时, 节点 a 被选为路径中的中间节点的概率就相对比较大。

1.3 节点干扰因子模型的提出

为了量化节点干扰问题对多路径路由传输产生的重大影响, 描述出两条节点独立路径间的相互传输干扰程度, 国内外学者提出了“相关因子”这个概念, 并在此基础上做了大量的研究^[4-7]。

文献[7]中的 AOMDV-PD 算法是根据路由回复中某中间节点监听到邻居节点接收到 RREP 包的个数作为相关因子的参数, 来决定该中间节点是否参加路由, 进而决定该节点是否转发 RREP 包。该种算法利用了无线 Ad Hoc 网络的节点监听特性, 通过监听邻居节点

接收 RREP 包的个数，同时在选择路由路径时设定中间节点接收 RREP 包的阈值 α ，从而可以及时丢弃相关因子大的节点。但是从模型中可以发现，在目的节点最先回复路由请求的反向路径中的中间节点，由于是最早建立反向路由，其邻居节点并未收到 RREP 包，所以这些中间节点都未参与监听邻居节点的 RREP 包，而是直接作为反向路径中的参与节点，因此该算法不能体现节点参与路由选择的公平性。同时，中间节点的剔除只是考虑了该节点接收 RREP 包的个数，并未对该节点的邻居节点接收 RREP 包的情况进行综合考虑，忽略了网络拓扑的全局性。

为了更好地实现节点参与路由选择的公平性，本文提出了节点相关因子模型，把相关因子提前到了路由请求过程，利用中间节点 i 监听邻居节点 $j_{i,n}$ 接收 RREQ 包的次数作为相关因子的参数。当第一个 RREQ 包到达目的节点时，开启响应时间，在等待时间 T 后发送 RREP 包，在路由回复过程中累加各节点的相关因子数，从而使各节点都公平地参与路由中间节点的选择，避免 AOMDV-PD 算法中第一条反向路径的中间节点直接作为路由中间节点的不公平性。同时，该节点相关因子模型通过监听邻居节点 $j_{i,n}$ 收到 RREQ 包的个数，并结合自身收到 RREQ 包的个数，综合计算出中间节点 i 的相关因子数，利用得到的相关因子数来表示节点 i 参与路由的概率，从而达到整体考虑邻居节点 $j_{i,n}$ 对节点 i 的影响的目的。

1.4 节点相关因子模型描述

在图 3 中，所示的 8 个节点是网络节点的一部分，每个节点边上所注的数字是该节点接收 RREQ 包的个数，直线表示两端节点是可以互相监听的。

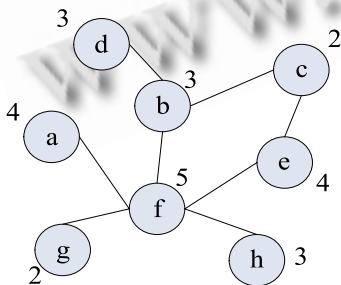


图 3 节点相关因子模型的例图

如图 3 所示，节点 f 是节点 b 的邻居节点，节点 f 共收到了 5 个 RREQ 包，多于邻居节点 a 、 b 、 c 、 g 、 h 所收到的 RREQ 包，说明节点 f 相对于邻居节

点被路由探测的次数频繁，倘若被选为独立路径的中间节点，则影响周围邻居节点的概率就相对于比较大，因此在路由选择中，尽量避免节点 f 参与路由。因为相关因子数越大表示节点选为路由节点的概率越小，于是节点 f 收到 RREQ 包的个数与本节点的相关因子 μ_i 成正比，即中间节点的相关因子与本身收到的 RREQ 包的个数成正比。

同时，如 2.2 节所述，由于节点 f 参与路由的概率小，则其周围邻居节点 f 参与路由的概率就大，因此节点接收到 RREQ 包的个数与节点 b 的相关因子成反比，即中间节点的相关因子与邻居节点接收到的 RREQ 包的个数成反比。

综上所述，中间节点的相关因子应该与自身收到的 RREQ 包的个数成正比，同时与邻居节点收到的 RREQ 包的个数成反比。

因此，中间节点 i 的相关因子的计算公式为：

$$\mu_i = \frac{\lambda}{n} \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{1}{w_{i,j}} + (1 - \lambda)w_i, 0 \leq \lambda < 1 \quad (1)$$

其中 $w_{i,j}$ 为节点 i 的邻居节点 $j_{i,n}$ 接收到 RREQ 包的个数， w_i 为节点 i 接收到 RREQ 包的个数， λ 为平滑因子，相关因子 μ_i 越大则表示该节点参与路由的可能性越小。

但考虑到 Ad hoc 网络的无线特性会导致某些节点未收到 RREQ 包，因此在公式 (1) 中把邻居节点收到的 RREQ 包加 1，以免 μ_i 变为无穷大。

从而中间节点 i 的相关因子的计算公式修正为：

$$\mu_i = \frac{\lambda}{n} \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{1}{1 + w_{i,j}} + (1 - \lambda)w_i, 0 \leq \lambda < 1 \quad (2)$$

因此，每条节点独立路径的总节点相关因子为：

$$Int f_i(S, D) = \sum_{i=1}^n \mu_i = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\lambda}{n} \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{1}{1 + w_{i,j}} + (1 - \lambda)w_i \right] \quad (3)$$

那么网络优化目标应该为 $\min Int f_i(S, D)$ ，即所选择的节点独立路径的总节点相关因子数为最小。

2 AOMDV-LR协议的算法描述

AOMDV-LR 是基于 AOMDV 的改进，在路由发现过程中增加了节点相关因子部分。为了得到节点独立的多径路由，在 RREQ 分组中增加一个称为 (FIRSTHOP) 的新组成域，用于表示该 RREQ 分组经过的第一跳（源节点的相邻节点）。每个节点另外添

加一张记录自身和邻居节点接收 RREQ 包次数的路由表 α 。

在路由请求阶段,中间节点收到 RREQ 包和监听邻居节点收到 RREQ 包的反应以及路由回复中对路由表 α 的处理过程如下:

a) 中间节点 i 接收到 RREQ 包,首先判断是否是第一次接受:(1)如果是第一次接受,则添加节点 i 的 IP 地址到路由包中且跳数值加 1,在其路由表 α 中建立该节点到发起节点的反向路径,并在路由表中初始化该节点 RREQ 包接收数为 1;(2)如果不是第一次接受,则继续判断收到的 RREQ 中的跳数值是否小于原来 RREQ 包的跳数,若是则保存,建立反向路由并把自身节点的 RREQ 包接收数加 1,然后丢弃 RREQ 包,若不是,则直接丢弃 RREQ 包不作处理。

b) 中间节点 i 监听到邻居节点接收到 RREQ 包,判断是否是第一次监听到:(1)若是第一次,则初始化路由表 α 中所对应节点的 RREQ 包数为 1;(2)若不是第一次,则对应节点的 RREQ 包数加 1。

c) 目的节点接收到第一个 RREQ 包时,开启响应时钟接收后来到达的 RREQ 包,在等待预定时间后对接收到的 RREQ 包进行回复发送 RREP 包。

d) 中间节点接收到 RREP 时,根据公式(2)计算该节点的相关因子数累加到 RREP 包中,传送给反向路由的下一节点。

e) 源节点收到 RREP 后,根据公式(3)计算每条路径的总节点相关因子数,从而选择总节点相关因子数最小的 3 条节点独立路径发送报文。

下面对算法的时间复杂度进行分析。假设在双向图 G 中有 n 个中间节点,源节点至目的节点有 m 条节点不相交的反向路径。因为整个网络中有 n 个中间节点,则可知在源节点至目的节点的中间节点数为 $(n-2)$ 个,每个中间节点的邻居节点数至多为 $(n-3)$ 个,所以相关因子的计算复杂度为 $O((n-2)(n-3))$,因此 m 条节点不相交的反向路径运行的时间为 $O(m(n-2)(n-3))$,时间复杂度为 $O(n^3)$ 。

3 仿真实验与分析

3.1 模拟环境及参数设置

本文采用 NS2 模拟平台进行仿真,仿真模拟了一个具有 50 个节点的网络,随机地分布在 $1000\text{m} \times 600\text{m}$ 的区域里,主机的无线通信范围为 250m,应用层业务

为 CBR,每个包大小为 512 字节,MAC 层采用 IEEE802.11 协议,无线信号传输模型使用 TwoRayGround,仿真的时间为 900 秒,节点之间的连接数为 1 至 20 之间,每个连接的数据包的发送速率为 20 个数据包/s,节点运动到一个目的地后的停留时间为 0 或 10s,节点的随机运动的最大速度为 0m/s 至 20m/s 之间,平滑因子 λ 为 0.35。

3.2 模拟结果及分析

实验一对算法在不同的节点移动速度下的分组交付率进行测试,结果如图 4 所示。从图中可知,随着节点运动速度的增大,3 种算法的分组交付率都随着降低。AOMDV 算法的下降幅度最大,从 0.96 降低到 0.78,而 AOMDV-LR 算法的下降幅度最小,从 0.97 降低到 0.87,分组交付率最好可改善 11.6%,这是因为 AOMDV-LR 不仅利用了节点多路径并发传输数据的优势,而且把多条路径间中的中间节点的碰撞可能性概率降到了最小,尽量避免了多路径之间的相互干扰,从而取得了更高的分组交付率。而 AOMDV-PD 算法虽然对相关因子进行了考虑,但它还是首先选择跳数值最小的路径,多路径之间的干扰程度仍高于 AOMDV-LR 算法。

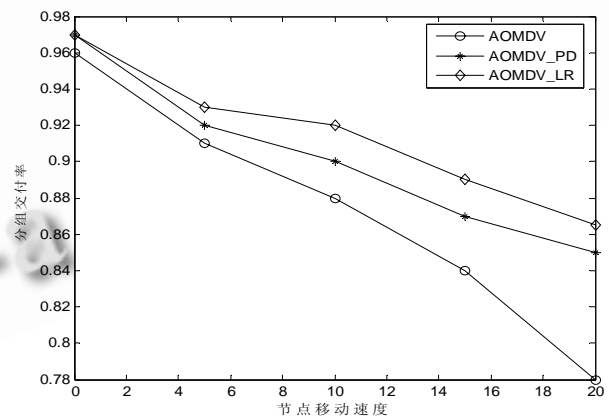


图 4 分组交付率

实验二对算法在不同的节点移动速度下的端到端时延进行测试,结果如图 5 所示。随着节点移动速度的增大,网络拓扑变化频繁,路由重构次数增加,路由控制分组数量增多,导致数据分组竞争信道、等待传输的时间变长,因此 3 种路由算法的传输时延都有不同程度地增加。从图中可知,AOMDV 算法的传输时延增加幅度最大,从 0.048 增加到 0.198,而 AOMDV-LR 算法的传输时延增加幅度最小,从 0.039

增加到 0.127, 传输时延最好可改善 36.8%, 这是因为该算法对节点信道竞争的问题进行了考虑, 相比较其它两种算法所选择的路径干扰程度小, 减少了节点排队等待的时间, 降低了等待传输的时间。

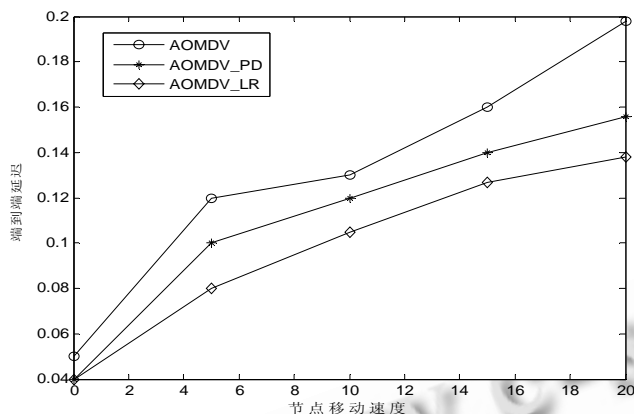


图5 端到端的时延

实验三对算法在不同的节点移动速度下的路由开销进行测试, 结果如图 6 所示。随着节点移动速度的增大, 网络拓扑变化频繁, 路由失效概率增加, 从而路由重构次数增加, 因此 3 种算法的路由开销都有不同程度地增加。从图中可知, 在节点移动速度小于 15m/s 的时候, AOMDV-LR 的路由开销比其它两种算法要大一些, 这是因为 AOMDV-LR 算法中的中间节点要维持着自身节点和相邻节点 RREQ 包次数的一张路由表 α , 花费了一定的路由开销。但再随着移动速度的增加, AOMDV-LR 算法的路由开销与其它两种算法基本持平, 这是因为 AOMDV-LR 算法中的节点独立路径具有更好的独立性, 减小了路由断开的概率, 减少了路由发现过程的次数, 所减少的路由开销大于自身维护路由表所花费的开销。

4 总结

针对 Ad Hoc 网络中多路径路由之间会存在相互干扰的问题, 本文提出了一种基于节点相关因子模型的多路径路由算法 (AOMDV-PL)。该算法即保留了 AOMDV 算法多路径传输数据的优点, 又对于传输数据的多条节点独立路径的相互干扰性进行了充分的考虑, 通过设计节点相关因子模型, 使得每条路径的相

互冲突的可能性降低, 从而提高了整个网络的分组交付率, 减小了时延。下一阶段的工作中, 我们希望能进一步研究节点的移动性对 AOMDV-PL 协议的具体影响, 使得 AOMDV-PL 协议在动态环境下具有更好的稳定性。

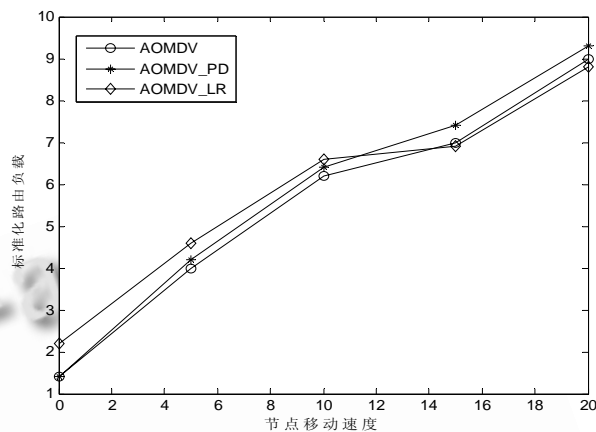


图6 路由负载

参考文献

- 1 Tekaya M, Tabbane N, Tabbane S. Multipath Routing with Load Balancing and QoS in Ad hoc Network. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 2010, 10(8):280-286.
- 2 Javan NT, Kiaeifar R, Hakhmaneshi B, Dehghan M. ZD-AOMDV: A New Routing Algorithm for Mobile Ad-Hoc Networks. 2009 Eighth IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, 2009.852-857.
- 3 Yoo M, Lee J, Kim Y, Jung S. Link Stability-Aware Ad Hoc Routing Protocol with Multiple Sampling Rates. *Lecture Notes in Computer Science*, 2009, 5764:323-333.
- 4 杨俊丽,刘明.移动自组网络中基于相关因子的多路径节能路由算法. *计算机应用*, 2006, 26(7):1542-1545.
- 5 杨俊丽,刘明,张兴艳.基于相关因子的节点不相交的 Ad Hoc 多路径路由算法. *小型微型计算机系统*, 2006, 27(9): 1669-1672.
- 6 徐亦璐.移动 Ad Hoc 多径路由算法的研究与优化[硕士学位论文].南昌:南昌大学, 2007.
- 7 范业仙.基于 AODV 的多径路由协议研究和改进[硕士学位论文].苏州:苏州大学, 2008.