

一种新的 Ad hoc 网络中基于位置的路由协议

彭玉旭 张力军

(南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003)

摘要 该文提出了一种新的恢复策略来替代基于位置的路由协议中的面遍历算法。结合贪婪的转发策略和新的恢复策略,形成一种新的基于位置的路由协议。通过 NS 仿真器对新的路由协议和贪婪的周边无状态路由协议(Greedy Perimeter Stateless Routing, GPSR)进行了评估。实验结果表明,新的路由协议在平均的端到端时延、吞吐量和包传送率方面优于 GPSR。

关键词 Ad hoc 网络, 面遍历算法, 虚拟中间目的节点, 贪婪转发, GPSR

中图分类号: TN915.04

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2006)09-1666-04

A Novel Location-Based Routing Protocol for Ad hoc Networks

Peng Yu-xu Zhang Li-jun

(Communications and Information Engineering College, Nanjing Univ. of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract A new method is proposed to replace face algorithm used in location-based routing protocols. The proposed routing and Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) are evaluated by NS. Performance results reveal that the new routing protocol performs better than the GPSR in term of average end-to-end delay, aggregate throughput and average delivery success rate.

Key words Ad hoc networks, Face algorithm, Virtual intermediate destination, Greedy forwarding, GPSR

1 引言

在过去的几年中,研究者提出了许多应用于Ad hoc网络的基于位置的路由协议^[1-11]。通过仿真分析认为^[6,11],基于位置的路由协议比传统的路由协议(如动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)^[12], Ad hoc 按需的距离向量路由(Ad hoc On-Demand Distance Vector routing, AODV)^[13,14]更具有优越性,它们有更高的包传送率、低的路由开销和可扩展性等,能适用于各种规模的Ad hoc 网络。

目前,大部分的基于位置的路由协议都是基于3种方法:基于方向的、基于距离的和基于前进距离的^[9]。Bose等提出用面遍历的方法来保证包的传输^[5],但是面遍历的方法容易选择图中短的边,产生更多的跳数。Data等提出一种捷径的方法来克服短边问题,但是它需要两跳内节点的位置信息^[7]。贪婪的周边无状态路由协议(GPSR)是一种结合贪婪的转发策略^[15]和面遍历算法的路由协议,它克服了单独采用面遍历方法带来的更多跳数问题。但是面遍历算法是基于平面图的,而产生平面图需要严格的条件。在实际环境中,由于无线传输的不稳定性,容易造成面遍历算法失败^[8]。

受锚概念^[1,9]的启发,本文提出一种新的恢复策略。与文献[1]不同的是,本文提出的恢复策略不需要节点间的信

息交换,只需要在数据包的头部增加几个额外字段,减少了无线带宽的消耗。结合贪婪的转发策略和新的恢复策略形成新的基于位置的路由协议。

2 新路由协议的基本内容

2.1 新恢复策略的基本思想

在基于位置的路由协议中,贪婪的转发策略是一种常用的策略。所谓贪婪的转发策略是指转发节点在邻居节点中选择一个到目的节点的距离最小的节点,并且这个最小距离要小于转发节点到目的节点的距离。如果最小距离大于等于转发节点到目的节点的距离,则称贪婪的转发策略失败,该转发节点被称为凹节点。当转发节点用贪婪的转发策略转发失败时,网络的空洞拓扑具有以下4种典型的形状,如图1。

在图1中, d 是目的节点, c 是凹节点,曲线是节点间链路组成的空洞拓扑的边缘。如果要从 c 到 d 传送数据包,则应沿着曲线附近的节点转发。以 c 为起点,有两种方式沿着曲线到达 d ,一种是用顺时针方向,如图1中(a)、(b)和(d)中虚线 cd 的上半部分曲线;另外一种是用逆时

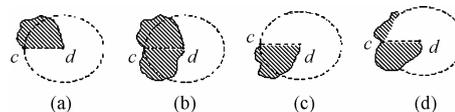


图1 网络的空洞拓扑形状 (阴影内没有节点)
Fig.1 Shape of void (no nodes in shadow area)

针方向，如图 1 中(b)和(c)中虚线 cd 的下半部分曲线。本文中优先选择顺时针方向。

在基于位置的路由协议中，贪婪的转发是向目的节点进行的。当用贪婪的转发策略向目的节点转发失败时，如果沿着空洞边缘计算一系列的点，然后临时地用贪婪的转发策略向计算的点转发，则可能找到一个比凹节点离目的节点更近的节点。这些计算的点被称为虚拟中间目的节点，它们是辅助转发的位置坐标，而不是网络中真实的节点。在向虚拟中间目的节点转发时，不断检查下面两个条件：(1)当前节点是否比凹节点离目的节点更近；(2)当前节点是否至少有一个邻居节点，该邻居节点比凹节点离目的节点更近。若两个条件的其中一个成立，则停止虚拟中间目的节点的计算，然后用贪婪的转发策略向目的节点转发。图 2 给出了一个简单的例子来说明我们的思想。

在图 2 中，左面的是网络拓扑图，右面的是网络拓扑的 Gabriel 图，它是一种平面图。实线表示节点间的链路。点画线表示以节点 9 为圆心，节点 2 和节点 9 之间的距离为半径的圆的一部分。假设节点 1 发送数据到节点 9。在节点 2，用贪婪的转发策略向节点 9 转发失败。如果用 GPSR 算法，节点 1 和节点 9 之间的完整路径是 1-2-1-3-4-5-6-7-9。如果利用 x_1 的位置信息和贪婪的转发策略，则整个路径是 1-2-4-6-7-9。 x_1 是根据局部信息计算的虚拟中间目的节点。图 2 的空洞形状与图 1 中的(c)类似。

为了实现新的基于位置的路由协议，需要在数据包的 IP 扩展头内增加额外字段，提供相应的信息来实现路由转发。新增字段有 LofD, LofR, LofC, Mode 和 Direction。它们的意义如下：LofD 是目的节点的坐标；LofR 是虚拟中间目的节点的坐标；LofC 是凹节点的坐标；Mode 用来判断包是向真实目的节点还是虚拟中间目的节点转发，当 Mode 为 1 时，数据包以贪婪的方式向真实目的节点转发，当 Mode 为 0 时，数据包以贪婪的方式向虚拟中间目的节点转发；Direction 表示沿拓扑空洞的搜索方向，其值为 1(顺时针)或 0(逆时针)。

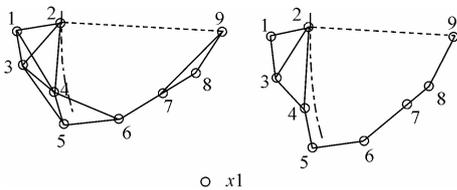


图 2 一个简单的例子
Fig.2 A simple example

2.2 转发流程图

路由协议收到数据包后，按图 3 的流程进行数据转发。

规则 1：用贪婪的转发策略向目的节点转发；

规则 2：用贪婪的转发策略向虚拟中间目的节点转发。

当创建数据包时，Mode=1。

3 计算虚拟中间目的节点的算法

为了描述虚拟中间目的节点的计算算法，本文给出如下符号的定义。

3.1 符号定义

n_c 表示当前要转发数据包的节点； n_d 是目的节点； n_r 是虚拟中间目的节点； n_n 是 n_c 的邻居节点；Mode 表示包的状态；Direction 表示节点的搜索方向； R 是节点的传输范围； $\angle n_r n_c n_d$ 表示向量 $\overline{n_c n_d}$ 和 $\overline{n_c n_n}$ 之间的夹角，其中向量 $\overline{n_c n_d}$ 是基向量； $|N_1|$ 是满足条件 $\{n_n | \angle n_r n_c n_d < \pi\}$ 的邻居节点数目； $|N_2|$ 是满足条件 $\{n_n | \pi \leq \angle n_r n_c n_d\}$ 的邻居节点数目。

3.2 选择虚拟中间目的节点的规则

本文设计了两条规则来选择虚拟中间目的节点：(1)虚拟中间目的节点离当前节点的距离为传输范围的 2 倍即 $2R$ ；(2)角度 $\angle n_r n_c n_d$ 由当前节点的位置信息、邻居节点的位置信息、目的节点的位置信息以及搜索方向决定。

一旦确定了角度 $\angle n_r n_c n_d$ 和搜索方向，就可以计算虚拟中间目的节点的坐标。它是两个圆的交点中的一个。一个圆的圆心是当前节点，半径是 $2R$ 。另外一个圆的圆心是目的节点，半径根据当前节点到目的节点的距离、 $\angle n_r n_c n_d$ 和半径 $2R$ ，在三角形 $\triangle n_r n_c n_d$ 中用三角公式求出。在两个交点中，如果 Direction 是顺时针，则 $\angle n_r n_c n_d$ 小于 π ；如果 Direction 是逆时针，那么 $\angle n_r n_c n_d$ 大于 π 。从图 1 中，可以得出这个结论。

3.3 搜索方向的转变以及 $\angle n_r n_c n_d$ 计算

在新的路由协议中，搜索方向的转变以及角度 $\angle n_r n_c n_d$ 的计算是关键的部分。本文提出了角度 $\angle n_r n_c n_d$ 的计算算法和搜索方向改变的条件。在凹节点，包的初始搜索方向为顺时针。

(1) 在凹节点，如果 $|N_1| > 0$ ，则搜索方向为顺时针。在这种情况下，角度 $\angle n_r n_c n_d$ 按规则 3 选择。

规则 3 if $\min(\angle n_r n_c n_d) < 2\pi/3$, then $\angle n_r n_c n_d = \min(\angle n_r n_c n_d)/2$; else $\angle n_r n_c n_d = \min(\angle n_r n_c n_d) - \pi/3$ 。

(2) 在凹节点，如果 $|N_1| = 0$ 并且 $|N_2| > 0$ ，则搜索方向为逆时针。在这种情况下，角度 $\angle n_r n_c n_d$ 按规则 4 选择。

规则 4 if $(2\pi - \max(\angle n_r n_c n_d)) < 2\pi/3$, then $\angle n_r n_c n_d = (2\pi - \max(\angle n_r n_c n_d))/2 + \max(\angle n_r n_c n_d)$, else $\angle n_r n_c n_d = (\max(\angle n_r n_c n_d) + \pi/3)$ 。

(3) 在凹节点，如果 $|N_1| = 0$ 并且 $|N_2| = 0$ ，丢包。因为是孤立点。

(4) 在中间节点，如果 Mode=0, Direction=1(顺时针)， $|N_1| = 0$ 并且 $|N_2| > 0$ ，则搜索方向由顺时针变为逆时针。

(5) 在中间节点，如果需要计算新的虚拟中间目的节点的坐标，则根据搜索方向确定选用规则 3 或规则 4，顺时针方向用规则 3，逆时针方向用规则 4。

(6) 在顺时针或逆时针方向搜索时，如果选择的下一跳是上游节点(发送数据包给转发节点的节点)，则丢包，因为可能存在环，使包不停地在两个节点间重复传输，但是在

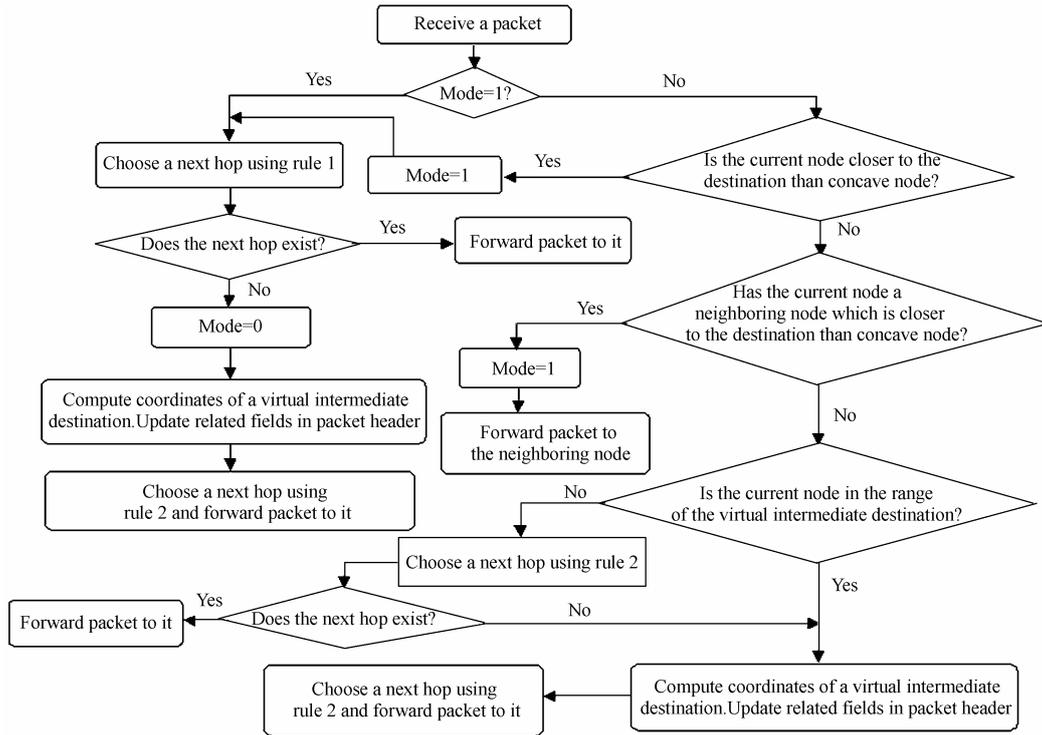


图 3 数据包转发流程图

Fig.3 Flow chart of forwarding packet

由顺时针转为逆时针时，则不丢包，而且大部分情况下选择的下一跳是上游节点。

选择虚拟中间目的节点的一个原则，就是能够由当前节点向虚拟中间目的节点用贪婪的转发策略转发并尽可能的减小 $\angle n_r n_c n_d$ ，使得虚拟中间目的节点尽可能在空洞内部。

图 4 给出了新的基于位置的路由协议的一个实例。网络拓扑是用随机图的方式生成的，图 4(a)是网络的拓扑全图，实线表示节点间的链路。假设从节点 37 向节点 47 发送数据。节点 37 为凹节点，黑方框标志是第一个虚拟中间目的节点。在节点 28，由于其距虚拟中间目的节点的距离小于传输范围，因此，重新计算一个新的虚拟中间目的节点，即图中的黑圆标志。因此，路径为 37-33-36-28-2-5-6-47，图 4(b)是网络拓扑的平面化后的 Gabriel 图。根据 GPSR 协议，整个路径为 37-33-36-28-7-25-2-26-6-47。

4 性能评估

为了验证本文提出的路由协议的有效性，本文采用伯克利大学开发的 NS2.28^[16]。我们在 NS2.28 的基础上实现了 GPSR 和新的路由协议，其中 GPSR 的代码由 GPSR 的作者提供，我们在 GPSR 的基础上实现了新的路由协议算法。仿真的基本设置如下：

网络中的节点数 n 为 50 和 112；MAC 协议是 802.11；链路带宽为 1Mbps；节点传输范围为 250m；流量类型为 CBR；包大小为 64byte；流量产生速率为 4packet/s；随机选择 30 个流量对；仿真时间为 200s；HELLO 包的间隔为 0.5s；运动模型为改进的 random waypoint model^[17]；为了获得不同的节点密

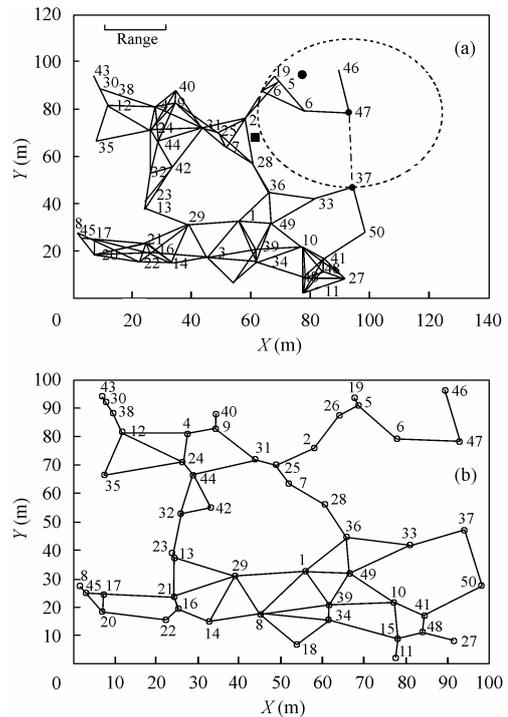


图 4 路由协议示例图

Fig.4 An example for our routing protocol

度，本文采用 4 个仿真区域大小，分别为 1500×300 ， 2000×300 ， 2500×300 和 $3000 \times 300(m^2)$ 。图 4 中的每个数据点都是 20 次实验平均的结果，实验中保持流量文件不变，改变场景文件。

图 5-图 7 分别是不同节点密度和节点数目下两种协议

的性能比较，其中端到端的时延是对每一个流求其平均时延，然后对所有流的平均时延再进行平均，每个流的平均时延=该流所有到达包的时延和/所有到达的包数；汇聚吞吐量是对每一个流求其吞吐量，然后把所有流的吞吐量求和。每一个流的吞吐量=该流接收包的总数×包的大小×8/1024/(仿真时间-流开始时间)。

从图中可以看出本文提出的路由协议与 GPSR 协议相比，具有一定的优越性，能够提高网络的性能。这些性能的提高与端到端的平均跳数减少有关，减少端到端的跳数也意味着减少包冲突概率，减少排队时延。

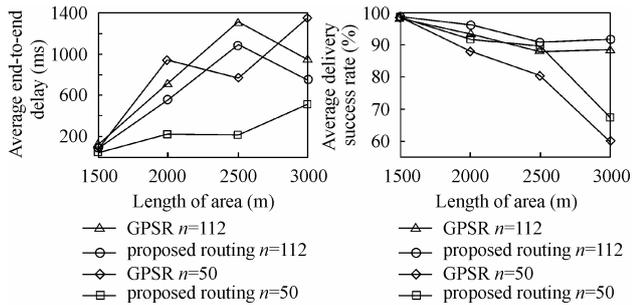


图 5 不同节点密度和节点数目下平均端到端的时延比较

Fig.5 Comparison of average end-to-end delay

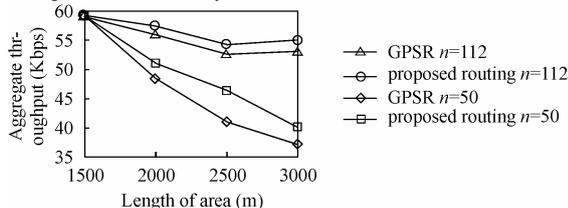


图 6 不同节点密度和节点数目下平均传送率比较

Fig.6 Comparison of average delivery success rate

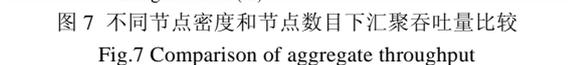


图 7 不同节点密度和节点数目下汇聚吞吐量比较

Fig.7 Comparison of aggregate throughput

5 结束语

通过对面遍历算法的分析，受锚的概念的启发，本文提出了一种新的基于位置的路由协议，该协议不采用面遍历算法，而只用贪婪的转发策略。通过实验证明，新的路由协议在平均的端到端时延、吞吐量和包传送率方面优于 GPSR，但是仍有一些不足之处，需要进一步的研究：在一些特殊拓扑情况下，路由会失效，需要研究失效概率，仍需设计更好的虚拟中间目的节点选取规则；本文中 GPSR 协议没有考虑面遍历失败的因素，因此研究实际环境下，两种协议的性能比较，也是下一步的工作内容，但需要搭建实际的测试平台。

参 考 文 献

[1] Blazevic L, Giordano S, Le Boudec J Y. Self organized terminode routing. *Cluster Computing*, 2002, 5(2): 205-218.
 [2] Ko Y B, Vaidya N H. Location-Aided Routing (LAR) in mobile Ad hoc networks. Proc. of the forth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom'98), Dallas, 1998: 66-75.

[3] Jain R, Puri A, Sengupta R. Geographical routing using partial information for wireless Ad hoc networks. *IEEE Personal Communication*, 2001, 8(1): 48-57.
 [4] Tseng Y C, Wu S L, Liao W H. Location awareness in wireless mobile Ad hoc networks. *IEEE Computer*, 2001, 34(6): 46-52.
 [5] Bose P, Morin P, Stojmenovic I, et al.. Routing with guaranteed delivery in Ad hoc wireless networks. *Wireless Networks*, 2001, 7(6): 609-616.
 [6] Karp B, Kung H T. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks. Proc. of the sixth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiComm'00), Boston, 2000: 243-254.
 [7] Datta S, Stojmenovic I, Wu J. Internal node and shortcut based routing with guaranteed delivery in wireless networks. *Cluster Computing*, 2002, 5(2): 169-178.
 [8] Barriere L, Fraignaud P, Narayanan L. Robust position-based routing in wireless Ad hoc networks with unstable transmission ranges. Proc. of the fifth International Workshop On Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, Rome, 2001: 19-27.
 [9] Cheng X, Huang X, Du DZ. Ad hoc wireless networking. Kluwer: Kluwer Academic Publishers, 2003:103-136.
 [10] Frey H. Scalable geographic routing algorithm for wireless Ad hoc networks. *IEEE Network*, 2004, 18(4): 18-22.
 [11] Mauve M, Widmer J, Hartenstein H. A survey on position-based routing in mobile Ad hoc networks. *IEEE Network*, 2001, 15(6): 30-39.
 [12] Johnson D B, Maltz D A, Hu Y C. The dynamic source routing protocol for mobile Ad hoc networks (DSR). <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>, 2005, 6.
 [13] Perkins C, Belding Royer E, Das S. Ad hoc on-demand distance vector(AODV) routing. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, 2005, 6.
 [14] Broch H J, Maltz D A, Johnson D B, et al.. A performance comparison of multi-hop wireless Ad hoc network routing protocols. Proc. of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'98), Dallas, 1998: 85-97.
 [15] Kleinrock L, Silvester J. Optimum transmission radii for packet radio networks or why six is a magic number. Proc. of IEEE National Telecommunications Conference, Birmingham, 1978: 4.3.1-4.3.5.
 [16] The Vint Project. The ns-2 network simulator. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, 2005, 5.
 [17] Yoon J, Liu M, Noble B. Random waypoint considered harmful. Proc. of the Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (Infocom'03), San Francisco, 2003: 1312-1321.

彭玉旭：男，1977 年生，博士生，研究方向为无线 Ad hoc 网络、移动 IP 和无线通信技术。
 张力军：男，1942 年生，教授，博士生导师，研究方向为无线数据、宽带无线 IP 接入技术与系统、移动无线网络、移动计算和移动媒体信息网等。