Ad hoc网络局部路由发现算法

赫 阳 张 挺 陈真勇 熊 璋

(北京航空航天大学 计算机学院, 北京 100191)

摘 要: 针对自组(ad hoc)网络按需路由协议采用全网络广播方式来进行路由发现带来的网络路由开销较大问题, 提出一种减少网络路由开销的局部路由发现算法. 路由附近节点根据当前路由上发送的数据报文计算到达目的节点的最小跳数; 当路由发生中断时, 路由发现请求报文将在中断路由附近节点间按照最小跳数减小的方式传递, 从而合理限制路由发现范围; 通过增大中断链路附近节点转发路由发现报文跳数的方式, 扩大局部搜索范围, 提高路由发现成功率. 仿真实验结果表明, 本算法最多可以减少约60%的网络路由开销, 降低约70%的平均网络延迟, 提升约10%的数据报文发送成功率. 此外, 任何基于广播方式进行路由发现的路由协议都可以使用这种算法优化性能.

关 键 词: 移动通信系统; 无线通信系统; 多跳自组网络; 路由协议; 算法

中图分类号: TP 393

文献标识码: A 文章编号: 1001-5965(2008)06-0669-04

Novel local route discovery algorithm in ad hoc networks

He Yang Zhang Ting Chen Zhenyong Xiong Zhang

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract In ad hoc networks, to solve the high level of routing overhead problem while on-demand routing protocols using full-net query flooding during route discovery, a local route discovery algorithm was proposed to reduce the routing overhead. Nodes around every route calculated the minimal hop counts to the destination node based on data packets through the route. When one route was broken, the route discovery request packets would be relayed only by nodes around the broken route in the way of the minimal hop counts decreased, which reasonably restricted route discovery region. The route discovery range would be enlarged by adding hop counts of route discovery request packets relayed by nodes around the broken link, which increased local route discovery success rate. The experimental results by simulation indicate this algorithm could contribute to reducing the routing overhead by about 60%, cutting down the average end-to-end delay by about 70%, and increasing the packet delivery ratio by about 10% at most. In addition, any routing protocol depending on flooding based routing discovery can use this algorithm for performance optimization.

Key words: mobile telecommunication systems; wireless telecommunication systems; multihop ad hoc network; routing protocol; algorithms

移动自组(ad hoc)网络(MANET, Mobile Ad hoc Network)具有无中心、自组织、自修复的特点, 在军事及民用方面有广泛的应用需求. 目前MANET中的路由协议大概分为2类: 先应式表驱动路由协议, 如DSDV, WRP, FSR等; 反应式按需路由协议, 如动态源路由协议(DSR, Dynamic Source Routing)[1], AODV, TORA等. 表驱动路由协议需要节点间周期的更新路由信息以适应网络拓扑结构的动态变化, 虽然在节点发送数据时延时较小, 但由于维护了过多的无需通信节点间的路由状态, 所以会产生大量多余的网络路由开销; 而按需路由协议只有当节点需要通信时才建立路由, 无

收稿日期: 2007-05-28

作者简介: 赫 阳(1979-), 男, 辽宁沈阳人, 博士生, heyanghappy@sina.com.

需频繁的交换路由信息, 节省网络资源, 因此在 ad hoc网络中被广泛使用. 按需路由协议一般由路由发现和路由维护 2个阶段组成. 在路由发现阶段, 源节点通常采用全网络广播方式发送路由发现请求 (RREQ, Route Request)报文, 中间节点逐跳转发 RREQ报文到目的节点. 这种方式可以有效的建立源节点到目的节点的路由路径, 但需要网络中大多数节点参加到路由发现过程中. 为了减小路由发现的网络路由开销, 一些路由发现的优化算法被提出. 文献 [2]将历史路由路径上的节点加入到 RREQ 报文中, 路由发现查询范围被限制在这些节点的若干跳内, 有效限制了路由发现的搜索范围, 但却增加了 RREQ 报文的长度. 文献 [3]分 2个阶段路由发现, 首先标定路由发现区域, 然后在这个区域内进行路由发现, 虽然控制了路由发现范围, 但 2个阶段路由发现的过程给网络带来多余的负载和延迟. 文献 [4]在路由发现阶段建立网络中所有节点到达目的节点的跳数, 路由重建将沿着跳数减小的方向进行, 这种方式只限制 RREQ 报文的传播方向, 无法限制范围, 在路由发现阶段建立的跳数关系, 无法根据节点的运动而实时更新, 因此不适合节点运动性较大的 ad hoc网络. 文献 [5- 7]则利用 GPS信息和有向天线的特性限制路由发现的查询位置和方向, 这些算法都需要特殊硬件的支持, 而且算法性能会受到硬件精度的影响. 另外, DSR[1]协议采用缓存应答和邻居节点查询的优化机制减少参与路由发现的节点数量, 降低网络路由开销.

本文以 DSR协议为基础, 提出一种基于目的节点跳数的局部路由发现算法 LDDSR(Local Discovery based Dynamic Source Routing). 该算法在路由维护阶段计算路由路径附近节点到达目的节点的跳数; 路由中断后, RREQ 报文被限制在原路由附近范围内, 并在节点间按照最小跳数减小的方式传递; 在中断链路附近, 通过增加中断链路附近节点转发 RREQ 报文跳数的方式, 增加路由发现的局部搜索范围, 提高路由发现成功率.

1 网络模型

将 MANET网络抽象成一个无向图 $G=(V, E)$, 其中, V是移动节点的集合, E是无线链路边的集合. 每个移动节点都分配有一个全网唯一标识符 i, $i\in V$. 若节点 i与节点 j在通信范围内, 则存在一条从 i到 j的边 $E(i, j)$, $E(i, j)\in E$, 无线链路发生改变, 集合 E 也随之变化. $N(i)$为节点 i 的邻居节点集合, $N(i)=\{j \mid E(i, j)\in E\}$. 节点序列 $(s, x, \cdots, i, j, \cdots, y, d)$, 若相邻节点组成的边都包含在集合 E 中, 即 $E(s, x)\in E\wedge \cdots\wedge E(i, j)\in E\wedge \cdots\wedge E(y, d)\in E$, 则表示节点 s与节点 d之间存在一条路径, 用 $P(s, x, \cdots, i, j, \cdots, y, d)$表示. $H(s, \cdots, d)$, $C(s, \cdots, d)$分别表示路径 $P(s, \cdots, d)$ 上节点 s到节点 d的跳数及路径包含的节点个数, $H(s, \cdots, d)=C(s, \cdots, d)-1$.

2 LDDSR算法

DSR对网络拓扑结构的变化能够快速适应, 网络路由开销小, 尤其适合 MANET网络. 协议由路由发现和路由维护 2个阶段组成, 源节点广播 RREQ 报文查询路由, 目的节点单播路由发现应答 (RREP, Route Reply)报文回复路由, 源节点在数据报文路由头中加入完整的路由信息, 中间节点根据路由头依次转发数据报文到目的节点. DSR协议包括基本协议和各种优化机制, 基本协议采用全网络广播方式发现路由; 而优化机制包括缓存应答、邻居节点查询、数据抢救、路径缩短等.

本文提出的 LDDSR 算法, 针对 DSR 协议的路由发现过程进行优化. 算法分 3个阶段: 第 1阶段为全网络广播路由发现阶段. 首次路由发现, 网络中的节点尚未建立到达目的节点的跳数信息, 不能进行局部路由查询, 需采用全网络广播方式建立源节点到目的节点的路由路径. 第 2阶段为跳数表建立阶段. 路由路径建立后, 节点将工作在混合模式下, 可以旁听到邻居节点发送的报文, 路径上的节点及附近节点根据数据报文路由头, 计算到达目的节点的跳数, 更新跳数表. 第 3阶段为局部路由发现过程. 当链路发生中断时, 源节点根据跳数表初始化 RREQ 报文并发送, 中间节点分别采用限制跳数转发方法和局部跳数增强方法转发 RREQ 报文, 目的节点收到 RREQ 报文, 则回复 RREP报文到源节点. 源节点收到 RREP报文, 则路由重建成功, 算法转入第 2阶段; 若路由重建失败, 算法将转入第 1阶段. 下面对算法的关键部分进行详细说明.

2.1 跳数表建立

首次路由发现结束后, 源节点 s与目的节点 d之间建立了路由路径 $P(s, \cdots, d)$, 源节点 s将 $P(s, \cdots, d)$加入数据报文路由头中进行发送, 中间节点 i每次收到数据报文, 根据路由头信息计算到达目的节点 d的跳数 $H_i(s, \cdots, d)$, 并更新跳数表.

$$H_i(s,\cdots,d)=\begin{cases}H(i,\cdots,d) & i\in P(s,\cdots,d);\\ H(j,\cdots,d)+1 & i\notin P(s,\cdots,d)\wedge j\in P(s,\cdots,d)\wedge i\text{从 }j\text{收到数据报文};\\ +\infty & i\notin P(s,\cdots,d)\wedge i\text{未收到数据报文};\end{cases}\quad(1)$$

当节点 i在路由路径 $P(s,\cdots,d)$上时, $H(i,\cdots,d)$即为节点 i到达目的节点 d的最小跳数. 当节点 i不在路由路径 $P(s,\cdots,d)$上时, 节点 i采用旁听方式可能从邻居节点 j收到发送给目的节点 d的数据报文, 邻居节点 j到达目的节点 d的最小跳数为 $H(j,\cdots,d)$, 则节点 i通过邻居节点 j到达目的节点 d的跳数为 $H(j,\cdots,d)+1$. 由于节点 i的邻居节点集合 $N(i)$中, 可能会有多个节点包含在 $P(s,\cdots,d)$, 节点 i会从不同邻居节点得到数据报文, 并计算通过这些节点到达目的节点 d的跳数, 之后, 节点 i会从中选择最小的一个作为到达目的节点 d的最小跳数 $\min H_i(s,\cdots,d)$. 若节点 i从未收到发给目的节点 d的数据报文, 则认为节点 i到达目的节点 d的最小跳数为 $+\infty$. 根据式(1), 可得到:

$$\min H_i(s,\cdots,d)=\begin{cases}H(i,\cdots,d) & i\in P(s,\cdots,d);\\ \min\limits_{1\leqslant k\leqslant n}[H(j_k,\cdots,d)+1] & i\in P(s,\cdots,d)\wedge j_k\notin P(s,\cdots,d)\wedge i\text{从 }j_k\text{ 收到数据报文};\\ +\infty & i\notin P(s,\cdots,d)\wedge i\text{未收到数据报文};\end{cases}\quad(2)$$

另外, 若跳数表中保存的跳数信息在时间 $T_{\text{HopTimeout}}$内未被更新, 则超时失效, 失效的跳数信息将从跳数表中清除.

2 2　限制跳数转发

当源节点 s到目的节点 d的路由中断, 无法进行通信时, 采用限制跳数转发方法进行局部路由发现:

1) 源节点 s在 RREQ 报文中增加 H_{RREQ}字段, 同时根据本地跳数表, 将到达目的节点 d的最小跳数值 $H(s,\cdots,d)$赋予 H_{RREQ}, 广播发送 RREQ 报文.

2) 中间节点 i收到非重复的 RREQ 广播报文, 则取出报文中 H_{RREQ}字段的值, 查询本地跳数表, 若 $\min H_i(s,\cdots,d)<H_{\text{RREQ}}$, 则将 $\min H_i(s,\cdots,d)$赋予 H_{RREQ}转发 RREQ报文; 否则不转发 RREQ 报文.

3) 目的节点 d收到 RREQ 报文, 则根据采集路由路径的反向路径发送 RREP报文到源节点 s.

源节点 s开始局部路由发现时, 需要设置一个超时时间 $T_{\text{RREQ-Timeout}}$. 若在 $T_{\text{RREQ-Timeout}}$内收到 RREP报文, 则路由发现成功, 等待结束; 否则采用全网络广播方式重新路由发现. $T_{\text{RREQ-Timeout}}=T_a\times H(s,\cdots,d)$, 其中 T_a为常量, 表示单位跳数的等待时间.

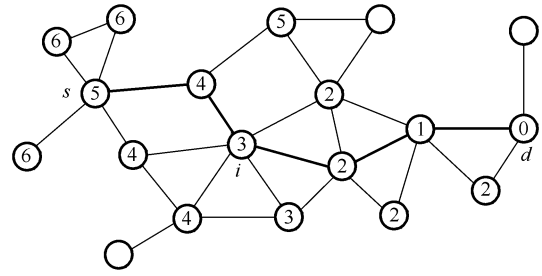
2 3　局部跳数增强

采用限制跳数转发方法在原路由路径的中断链路附近转发 RREQ 报文时, 往往由于满足转发条件的节点较少而导致局部路由发现失败, 为了提高成功率, 在中断链路处采用局部跳数增强方法.

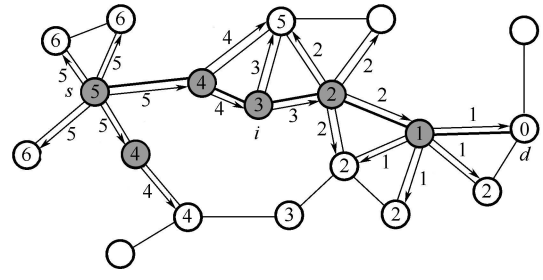
路由路径 $P(s,\cdots,i,j,\cdots,d)$, 若链路 $E(i,j)$中断, 当 RREQ 报文到达节点 i时, 节点 i从本地跳数表中得到最小跳数 $H(i,\cdots,d)$, 将 $H(i,\cdots,d)+H_{\text{inc}}$赋予 H_{RREQ}, 并转发 RREQ 报文. 其中, H_{inc}表示增加的跳数.

2 4　样　例

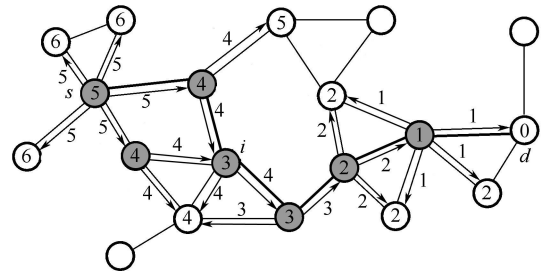
图 1说明了在一种简单场景下, 使用局部路



a　建立到达目的节点 d最小跳数的网络



b　采用限制跳数转发方法重建路由



c　采用限制跳数转发和局部跳数增强方法重建路由

图 1　局部路由发现样例

由发现算法重建路由的过程. 图 1a中, 黑色粗实线表示源节点 s与目的节点 d之间建立的一条路由路径 $P(s, \cdots, d)$, 节点中的数字表示节点到达目的节点 d的最小跳数. 由于节点 i移动造成网络拓扑发生变化, 路由路径 $P(s, \cdots, d)$中断, 图 1b和图 1c分别表示节点 i移动到不同位置的两种情况. 图 1b仅采用限制跳数转发方法重建路由, 而图 1c增加采用局部跳数增强方法, 在节点 i处增加跳数 $H_{\text{inc}} = 1$重建路由. 图中灰色节点表示参加 RREQ 报文发送的节点, 箭头表示发送的 RREQ 报文, 附近的数字表示 RREQ 报文的 H_{RREQ} 值. 从图 1中可以看出, 若使用全网络广布方式发现路由, 网络中几乎所有节点都会参与 RREQ 报文的转发, 而使用局部路由发现算法, 网络中参与 RREQ 报文转发的节点数目明显减少, 这将减少网络路由开销. 另外, 图 1c中若仅采用限制跳数转发方法发现路由, 会在节点 i处失败, 局部跳数增强方法的使用, 增加了局部路由发现的成功率.

3 仿真实验与分析

本文采用仿真方法对算法的有效性进行验证. 仿真实验基于 NS-2平台, 仿真参数设置如下: 50个节点随机分布在 1500m × 300m的矩形区域内, 节点按 Waypoint模型随机移动, 移动速度 0~20m/s, 节点两次运动之间的静止时间为 0~900s, 无线信号传播采用 Two-ray ground reflection 模型, 传播半径 250m, MAC 协议为 IEEE802.11, 带宽 2Mbit/s, 传输层采用 CBR 业务, 每包 512B, 发送速度 4包/s, 仿真时间 900s, 节点在仿真前 200s内随机产生 20个数据连接并持续到仿真结束. 为了保证仿真具有代表性, 分别针对每个测试场景随机产生 20个场景文件, 仿真共使用 140个场景文件.

仿真基于 DSR 基本协议 DSR-BASE 和优化协议 DSR-OPT 实现了 LDDSR-BASE 与 LDDSR-OPT. 一些预置参数分别设置如下: $T_{\text{HopTimeout}} = 5$s, $T_{\alpha} = 0.2$s, $H_{\text{inc}} = 1$. 仿真分别在网络路由开销、平均网络延迟、数据报文发送成功率 3个方面进行比较, 仿真结果如图 2~图 4所示.

从仿真结果可以看出, LDDSR-BASE较 DSR-BASE 减少了约 60% 的网络路由开销, 降低了约 70% 的平均网络延迟, 在数据报文发送成功率方面也提升了约 10%, 这表明算法在路由发现阶段对 RREQ 报文的 合理控制, 给网络带来较大的性能提高. 同时, 与 DSR-BASE 相比, 虽然加入多种优化机制的 DSR-OPT 性能有大幅度提高, 但局部路由发现算法仍可以进一步提高协议性能. LDDSR-OPT较 DSR-OPT最多可以在网络路由开销方面减少 30%, 在平均网络延迟方面降低 20%, 在数据报文发送成功率方面也有所提高. 这充分说明了局部路由发现算法的有效性. 另外, 随着网络运动性的增强, 局部路由发现算法表现出更好的性能优化趋势.

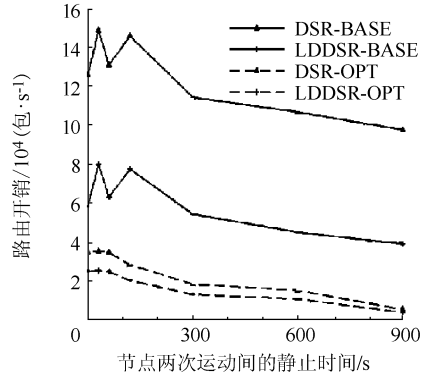


图 2 网络路由开销

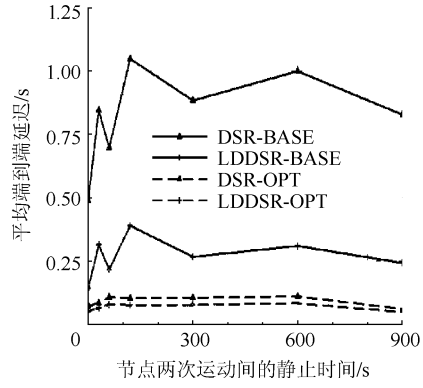


图 3 平均网络延迟

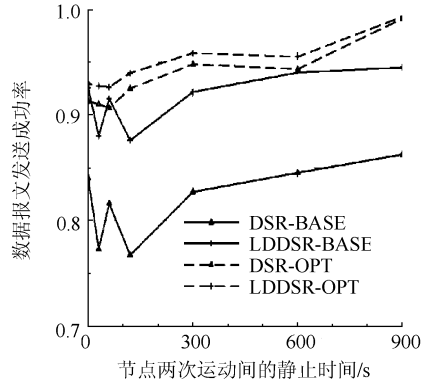


图 4 数据报文发送成功率

(下转第 676页)

估计的互相关-FFT方法. 该方法通过一次 FFT 计算即可估计出最大不模糊区间内的任意速度值, 且估计误差可通过 FFT点数调整, 可极大减少计算量. 计算机仿真结果表明该方法对目标径向速度估计准确, 同时具有较强的抗干扰能力.

参考文献 (References)

[1] Wehner D R. High-resolution radar[M]. Norwood: Artech House, 1987: 159-160

[2] 彭刚, 田进军, 王振荣. 双通道脉间变频外场 RCS测试雷达的研究[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(9): 1582-1585
Peng Gang, Tian Jinjun, Wang Zhenrong. Research on two-channels pulse to pulse frequency shifting outdoor RCS measurement radar[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2006, 28(9): 1582-1585 (in Chinese)

[3] 龙腾. 频率步进雷达信号的多普勒性能分析[J]. 现代雷达, 1996, 18(2): 31-37
Long Teng. Doppler performance analysis of frequency stepped radar signal[J]. Modern Radar, 1996, 18(2): 31-37 (in Chinese)

[4] 蒋楠稚, 王毛路, 李少洪, 等. 频率步进脉冲距离高分辨一维成像速度补偿分析[J]. 电子与信息学报, 1999, 21(5): 665-670
Jiang Nanzhi, Wang Maolu, Li Shaohong, et al. Compensation methods for stepped frequency radar HRR Imaging[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 1999, 21(5): 665-670(in Chinese)

[5] 刘静, 李兴国. 毫米波高分辨率雷达运动补偿研究[J]. 现代雷达, 2004, 26(7): 21-23
Liu Jing, Li Xingguo. Research on motion compensation in MMW high resolution radar[J]. Modern Radar, 2004, 26(7): 21-23(in Chinese)

[6] 刘峥, 张守宏. 步进频率雷达目标的运动参数估计[J]. 电子学报, 2000, 28(3): 43-46
Liu Zheng, Zhang Shouhong. Estimation of rargetmotion parameter in a stepped frequency pulses radar[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(3): 43-46(in Chinese)

[7] 牛涛, 陈卫东. 脉冲步进频率雷达的一种运动补偿新方法[J]. 中国科学技术大学学报, 2005, 35(2): 161-166
Niu Tao, Chen Weidong. A new method ofmotion compensation for pulse stepped-frequency radars[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2005, 35(2): 161-166(in Chinese)

[8] 彭刚, 梁沂, 王振荣. 目标速度对脉间变频格式 RCS测试的影响[J]. 北京航空航天大学学报, 2005, 31(11): 1190-1193
Peng Gang, Liang Yi, Wang Zhenrong. Object's velocity effect on pulse to pulse frequency shifting RCS measurement[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2005, 31(11): 1190-1193(in Chinese)

(责任编辑: 娄 嘉)

(上接第 672页)

4 结束语

按需路由方式在 MANET网络中得到广泛应用, 而路由中断频繁触发的路由发现过程给网络带来了较大的开销. 本文提出的局部路由发现算法通过限制路由发现搜索范围, 降低路由发现过程的网络开销, 进而提高网络性能, 该方法适合任何基于广播方式进行路由发现的按需路由协议. 在降低网络路由开销的同时, 如何得到最短路径及带宽最优路径, 将是本文下一步的研究内容.

参考文献 (References)

[1] Johnson D B, Maltz D A. The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks[EB/OL]. Internet-draft, draft-ietf-manet-dsr-10. txt, http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-dsr-10, 2004

[2] Castaneda R, Das S R. Query localization techniques for on-demand routing protocols in ad-hoc networks[C]//The 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 1999: 186-194

[3] Hu Xuhui, Liu Yong, Lee M J, et al. Route update and repair in wireless sensor networks[C]//IEEE Consumer Communications and Networking Conference. New York: IEEE Press, 2004: 82-87

[4] Liu Yuhua, Zhu Haiyan, Xu Kaihua, et al. An improved route repair approach of wireless sensor networks[C]//The First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences, 2006, 2(1): 662-665

[5] Ko Young-Bae, Nitin H, Vaidya. Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks[J]. Wireless Networks, 2000, 6(4): 307-321

[6] Velmurugan A, Rajaram R. Adaptive multiagent routing protocol using location sensing - hybrid wireless networks[C]//Proceedings of 2005 International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing. ICISIP05. 2005: 25-31

[7] Gossain H, Rishikesh, Joshi Tarun, De Morais Cordeiro Carlos, et al. DRP: an efficient directional routing protocol for mobile ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(12): 1438-1451

(责任编辑: 吴 琼)