

基于 AODV 的延长网络生存时间的路由协议

吴丽杰,钱雪忠,窦维江

WU Li-jie, QIAN Xue-zhong, DOU Wei-jiang

江南大学 信息工程学院,江苏 无锡 214122

School of Information Technology, Southern Yangtze University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

E-mail: wlljj.my@163.com

WU Li-jie, QIAN Xue-zhong, DOU Wei-jiang. Routing protocol for prolonging network's lifetime based on AODV. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(19): 164-166.

Abstract: This paper optimizes routing discovery procedure based on AODV, then proposes a routing protocol which can prolong network's lifetime (LL-AODV). The node's energy and the link available time are considered in the routing discovery procedure. The AODV and LL-AODV protocols are simulated in the same scenes by Network Simulator 2 (NS-2). The simulation analysis indicates that the network's lifetime of LL-AODV is much better than AODV.

Key words: Ad hoc networks; AODV routing protocol; the received signal strength; energy mean value

摘要: 在 AODV 基础上优化了路由发现过程, 提出了延长网络生存时间的路由协议 (LL-AODV)。该协议在路由发现时考虑了链路可用时间的约束和节点的能量, 并且通过网络模拟器 (NS-2) 对相同场景下 AODV 与 LL-AODV 路由协议进行了模拟。仿真结果表明新的路由协议在延长网络生存时间方面有明显改善。

关键词: 自组网; AODV 路由协议; 信号接收强度; 平均能量值

文章编号: 1002-8331(2007)19-0164-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

1 引言

自组网^[1]是一组带有无线收发装置的移动节点组成的一个无线移动通信网络, 它不依赖于预设的基础设施而临时创建, 网络中移动的节点利用自身的无线收发设备交换信息, 当相互之间不在彼此的通信范围之内时, 可以借助其他中间节点中継来实现多跳通信。自组网主要用于没有网络基础设施支持的环境中, 或者现有网络无法满足移动性、机动性等要求的场合, 例如军事战场环境、救灾现场、临时会议等。

AODV^[2]是比较经典的一种按需路由协议, 采用最短路由, 即最小跳数路由。该协议没有考虑能量^[3]因素, 并且研究^[4]表明: 最短路由具有不稳定性。因此如何在能量有限的基础上寻找一个较稳定的路由来最大化网络的生存时间成为自组网中研究的难点。该文利用链路可用时间约束来发现稳定路由, 根据能量大小设置不同的 RREQ 延迟时间等处理有效地延长了网络的生存时间。

2 AODV 路由协议

AODV 协议是 DSDV^[5]协议和 DSR^[6]协议的结合, 它使用 DSDV 协议中的“目的节点序列号”防止缓存的路由信息过期以及环路的产生, 路由建立是基于 DSR 协议中所采用的方法, 不同点在于 AODV 协议是逐跳路由而不是源路由。AODV 路由协议定义了三种消息类型: 路由请求 RREQ, 路由应答 RREP,

路由错误 RERR。这些消息使用标准 IP 报头, 由 UDP 协议封装, 通过 654 端口进行通信。

当源节点发送数据包或者转发数据包到目的节点时, 源节点检查路由表, 如果没有找到目的节点或者路由表项已经过期, 源节点将广播一个路由请求分组 (RREQ), 收到 RREQ 的中间节点根据 RREQ 中的信息, 建立源节点的路由——在路由表中增加一个路由条目——称为“反向路由”。反向路由条目的目的节点是广播 RREQ 的源节点, 下一跳节点是将 RREQ 发送给本节点的邻节点。然后它向周围节点广播此分组。如果目的节点收到 RREQ 则向源节点回复路由应答分组 (RREP), RREP 沿着刚刚建立的反向路由向源节点传送, 在此过程中, 收到 RREP 的节点建立到目的节点的路由——在路由表中增加一个路由条目——称为“正向路由”。正向路由条目的目的节点是 RREP 的源节点, 下一跳是将 RREP 发送给本节点的邻节点。节点的移动可能导致原来的路由不可用, 针对以上情况, AODV 协议中有两种处理方式: 本地修复和源节点重建路由。

3 延长网络生存时间的路由协议

3.1 利用接收信号强度推算节点间的链路可用时间

两节点的接收信号强度 (RSS) 只与两节点间的距离有关, 距离越近, RSS 越强, 否则 RSS 越弱。该协议利用接收信号强度 RSS 和接收信号强度变化率 ΔRSS 来预测两节点间的链路可

基金项目: 网络教育安全强认证技术专项基金 (教技[2001]750)。

作者简介: 吴丽杰 (1983-), 女, 硕士生, 研究方向: 无线自组网; 钱雪忠, 男, 副教授, 硕导, 研究方向: Web 服务及计算机网络应用; 窦维江, 男, 硕士生, 研究方向: 无线自组网。

用时间 ALT 。链路可用时间 ALT 代表了两节点能保持多长时间的联系。

将节点 i 在时间 t 接收到节点 j 的接收信号强度记为: $RSS_{i,j}(t)$, 由对称性得: 节点 j 在时间 t 接收到节点 i 的接收信号强度记为: $RSS_{j,i}(t)$, $RSS_{i,j}(t) = RSS_{j,i}(t)$ 。从 t_1 到 t_2 时间内接收信号强度变化率记为: $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2)$, $t_2 > t_1$ 时 $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2) = \frac{RSS_{i,j}(t_2) - RSS_{i,j}(t_1)}{t_2 - t_1}$ 。

由 $RSS_{i,j}(t) = RSS_{j,i}(t)$ 得: $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2) = \Delta RSS_{j,i}(t_1, t_2)$
 $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2) > 0$ 表示从 t_1 到 t_2 时间内节点 i 和节点 j 在向彼此靠近对方的方向运动; $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2) < 0$ 表示从 t_1 到 t_2 时间内节点 i 和节点 j 在向彼此远离对方的方向运动。

通常, $RSS_{i,j}(t)$ 的大小依赖于节点 i, j 在 t 时刻时的距离, 而 $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2)$ 的大小依赖于节点 i, j 的相对速度的大小。

将节点 i 和 j 初始链接到对方的时间设为 t_1 , 所以, 可将 $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2)$ 简写为: $\Delta RSS_{i,j}(t_2)$ 。不失一般性, 可用 $\Delta RSS_{i,j}(t)$ 代表在时间 t 和节点 i, j 初始链接到对方的时间之间的 RSS 变化率。令 $D_{i,j}(t)$ 代表节点 i, j 在时刻 t 时之间的距离; $V_{i,j}(t)$ 代表节点 i, j 在时刻 t 时的相对速度; TR 为移动节点的传播范围。

若 $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2) > 0$, 节点 i, j 在向靠近对方的方向移动, 则它们移动到相距最近点所用的时间大约为: $(D_{i,j}(t))/|V_{i,j}(t)|$; 到达最近点后, 节点 i, j 会彼此远离对方直到超出传播范围而失去链接, 从开始远离到失去链接所用的时间大约为: $TR/|V_{i,j}(t)|$ 。可推得节点 i, j 在时刻 t 时的可得链接时间大约为: $(D_{i,j}(t))/|V_{i,j}(t)| + TR/|V_{i,j}(t)| = (TR + D_{i,j}(t))/|V_{i,j}(t)|$ 。

同理, $\Delta RSS_{i,j}(t_1, t_2) < 0$ 时, 节点 i, j 在向远离对方的方向移动, 到超出传播范围失去链接的时间约为: $(TR - D_{i,j}(t))/|V_{i,j}(t)|$ 。所以节点 i, j 在时刻 t 时的链路可用时间即为: $(TR - D_{i,j}(t))/|V_{i,j}(t)|$ 。

所以, 链路可用时间 $ALT_{i,j}(t)$ 为:

$$ALT_{i,j}(t) = \begin{cases} \frac{TR + D_{i,j}(t)}{|V_{i,j}(t)|} & \Delta RSS_{i,j}(t) > 0 \\ \frac{TR - D_{i,j}(t)}{|V_{i,j}(t)|} & \Delta RSS_{i,j}(t) < 0 \end{cases}$$

令: $RSS_{i,j}(t) = \frac{1}{[D_{i,j}(t)]^2}$ ^[7], 所以: $D(t) = (RSS(t))^{-\frac{1}{2}}$, $\Delta RSS \approx$

$$\frac{dRSS}{dt} \propto \frac{dD^{-2}}{dt} = -2D^{-3} \frac{dD}{dt} = -2D^{-3} V(t), \text{ 所以:}$$

$$V(t) \propto D^3 \Delta RSS \left(\frac{1}{\sqrt{RSS}} \right)^3 \Delta RSS$$

将: $D(t)$ 、 $V(t)$ 带入 ALT 得:

$$ALT_{i,j}(t) = \begin{cases} \frac{TR + (RSS_{i,j}(t))^{-\frac{1}{2}}}{\left((RSS_{i,j}(t))^{-\frac{3}{2}} * \Delta RSS_{i,j}(t) \right)} & \Delta RSS_{i,j}(t) > 0 \\ \frac{TR - (RSS_{i,j}(t))^{-\frac{1}{2}}}{\left((RSS_{i,j}(t))^{-\frac{3}{2}} * \Delta RSS_{i,j}(t) \right)} & \Delta RSS_{i,j}(t) < 0 \end{cases}$$

可见, 节点不需要任何其他信息就可以推算出链路可用时

间 ALT 。

3.2 LL-AODV 的路由协议

首先根据链路需要传送字节的大小和链路的数据传输率估算数据传输时间。例: 链路需要传输字节的大小为: M Byte, 数据传输率为 N b/s, 则数据传输时间为: $M * 8 / N$ 。以估算出的数据传输时间作为链路可用时间 ALT 的约束, 即: 所选路径上的任意两节点之间的 ALT 不小于此传输时间。

在 RREQ 分组中新增一个字段, 用于存储节点的剩余能量值, 并将其传输到网络。当节点要传送数据时先查找路由表, 如果有到目的节点的路径, 则按路由表的下一跳转发数据; 若没有, 则源节点向邻居广播 RREQ, 满足 ALT 约束的邻节点建立或更新反向路由, 然后再把 RREQ 广播出去, 直到找到目的节点。目的节点接收到 RREQ 后不立即回复路由应答 RREP, 而是等待 $3 * \text{NODE_TRAVERSAL_TIME}$, 接收传送给此节点的 RREQ, 把参与到路径的节点的剩余能量值相加, 得到的总的能量值除以参与到路径的节点数(节点数=跳数+1), 即得到路径的平均能量值 E_a 。获得平均能量值 E_a 后, 目的节点沿着反向路径单播 RREP, 改进后的 AODV 在 RREP 中添加新的字段存放平均能量值, 并将广播到网络。路径上的节点收到 RREP 后存储平均能量值 E_a , 平均能量值 E_a 的保存时间为 ACTIVE_ROUTE_TIMEOUT, 当收到别的源节点路由发现 RREP 时就更新平均能量值。

初始路由发现建立路径时, 存储在节点中的剩余能量值与路径的平均能量值 E_a 进行比较, 如果剩余能量值小于 E_a , 将 RREQ 消息的延迟时间设为 0.05 ms, 否则设为 0.5 ms。

路由维护过程与 AODV 协议的过程相似, 只是在路由发现时增加 ALT 约束, 在路由建立时根据节点的不同剩余能量, 设置了不同的 RREQ 消息延迟。

4 NS 仿真分析

用模拟实验来验证 LL-AODV 路由协议的性能。比较的对象是 AODV 协议, 使用的模拟器是 NS-2(ns-allinone-2.28)^[8]。

模拟实验的场景为 500 m * 500 m 的矩形区域, 实验节点数为 50, 节点的移动采用 Random Waypoint 策略, 即在指定的范围内, 节点选择某个目标后, 在预先设定的最大速率和最小速率中随机选择一个速率以匀速的方式前进。该仿真设置的最大速度为 12 m/s, 最小速度为 0; 流量模式为 CBR 流; 信道为 Wireless Channel/Wireless Physical; 队列模型为 Drop-Tail/Priority Queue; 传播模型为 Two-ray Ground reflection Model; MAC 协议为 IEEE 802.11; 无线传播范围: 250 m; 节点的初始能量为 10 J; 发送功率为 600 mW; 接收功率为 300 mW。

从理论上讲, LL-AODV 路由协议综合考虑了整个网络的节点能量, 根据能量大小调节 RREQ 延迟时间, 从而均衡节点能量的消耗; 并用链路可用时间 LAT 限制进行路由选择, 所以所选路径相对稳定, 但也会导致路由发现时间相应延长。

图 1 给出了路由发现时间的实验结果, 实验结果表明 LL-AODV 的路由发现时间略长于 AODV 的路由发现时间。速度越大, LL-AODV 的路由发现时间越长, 在最大速度为 12 m/s 时相差还不到 0.05 s。

图 2 给出了协议的网络生存时间, 可以看出在 AODV 中, 参与到路径的 31 个节点在 50 s 之内能量全部耗尽, 这些节点无法参与到网络, 因而无法工作, 导致网络分裂; 而在 LL-

AODV 中,随着时间的变化,耗尽能量的节点也在增加,但增加速度明显小于 AODV,到了 61 s 网络还没有分裂。这表明新路由由协议的网络分裂时间比 AODV 路由协议的晚了 11 s,也就是新路由由协议的网络生存时间延长了 11 s,11 s 相对于 60 s 意味着新协议的网络生存时间延长了大约 18.3%。

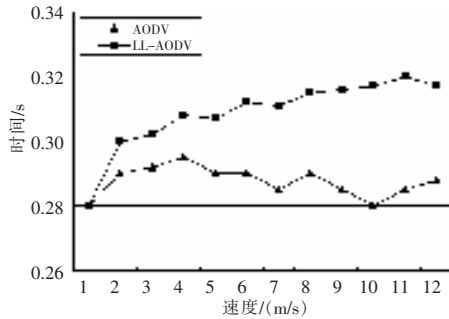


图1 路由发现时间

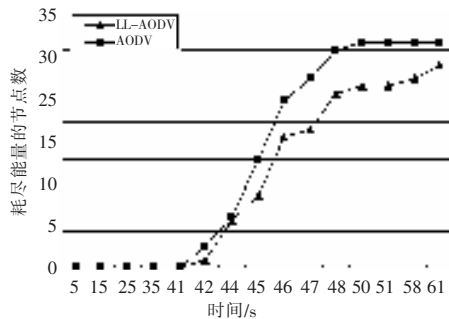


图2 最大速度为 12 m/s 时的网络生存时间

从模拟结果可以看出,LL-AODV 的网络生存时间与 AODV 相比有明显改善。虽然路由发现时间延长了,但代价不大。

(上接 147 页)

射功率, z 轴表示簇头的收益函数值。由图 2 可以看出当 2 个节点的发射功率组合为簇头提供的 s 组合时,簇头的收益函数值最大,即整个簇的能量有效性最大。

由表 1 可看出收益函数改进后节点的寿命延长了,并且各节点的寿命更趋向平均。主要原因是将节点的剩余能量引入到收益函数中,节点剩余能量越少消耗的能量也相对越少,所以在一定程度减缓了节点能量的消耗。

表 1 收益函数改进前后节点的寿命比较

各节点到簇头的距离/m	收益函数改进前节点的寿命/h	收益函数改进后节点的寿命/h
50	3.803	4.362
60	3.026	4.244
70	2.057	4.098
80	1.885	3.893
90	1.303	3.724
100	1.083	3.583
120	0.998	3.250
130	0.202	2.998
140	0.088	2.870
150	0.024	2.614

仿真时为方便起见只假设 $n=2$,其实 n 可为任意数。

5 结语

该文提出的 LL-AODV 路由协议,考虑了节点的剩余能量和由数据传输时间定义的链路可用时间 ALT 约束,延长了网络的生存时间。在以后的研究中,其他参数可以加入到 ALT 约束中使之更加精确,比如带宽等,使新的协议更加完善。(收稿日期:2006 年 11 月)

参考文献:

- [1] 于宏毅.无线移动自组织网[M].北京:人民邮电出版社,2005.
- [2] Perkins C, Belding-Royer E, Das S. RFC3561 Ad hoc On-demand Distance Vector(AODV) Routing[S], 2003.
- [3] Tseng Yu-Chee, Hsieh Ten-Yueng. Fully power-aware and location-aware protocols for wireless multi-hop ad hoc networks. IEEE ICCCN, 2002.
- [4] Awerbuch B, Holmer D, Rubens H. High throughput route selection in multi-rate ad hoc wireless networks[C]//First Working Conference on Wireless On-demand Network System, 2004.
- [5] Perkins C, Bhagwat P. Highly dynamic Destination-Sequenced Distance Vector routing(DSDV) for mobile computers. ACM SIGCOMM, 1994.
- [6] Johnson D, Maltz D. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996: 153-181.
- [7] Walrand J, Varaiya P. High-performance communication networks 2[M]. [S.l.]: Morgan Kaufman, 2000: 316-317.
- [8] The Network Simulator ns-2[EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [9] Dube R, Rais C D, Wang Kuang-Yeh, et al. Signal Stability-based Adaptive routing(SSA) for ad-hoc mobile networks[J]. IEEE Personal Communications, 1997, 4(1): 36-45.

4 结语

因为无线传感器网络节点的能量有限,所以最大限度提高每焦耳能量的利用率即能量的有效性是网络设计的重要目标之一。本文将对策论中的 Stackelberg 策略运用到无线传感器网络的反向链路发射功率控制中,使得整个簇的能量利用率最大,同时通过改进文献[3]提出的收益函数,延长了网络寿命。所以这一理论具有一定的实际价值。

本文还需要一些后续工作:一是簇头需要及时地判断每一时刻哪一个节点发送数据和计算发射节点的路径增益 h_i ,这要求簇头的应变力增强,计算量加大,所以还需对 h_i 作进一步的处理;二是收益函数还需进一步完善来达到节点能量同时耗尽的理想情况。(收稿日期:2006 年 11 月)

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中.无线传感器网络[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [2] Fischer S G, Wysocki T A, Zepernick H-J. MAC protocol for a CDMA based wireless ATM LAN[C]//24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2005, 3: 13-17.
- [3] Shah V, Mandayam N B, Goodman D J. Power control for wireless data based on utility and pricing[C]//Proceedings of the 35th Southeastern Symposium, 2003: 432-436.
- [4] 金福德,井元伟, Khosrow Sohraby, et al. 基于优先权的多服务网络的最优定价策略[C]//2001 中国控制与决策学术年会论文集.沈阳:东北大学出版社,2001: 896-901.