

基于功率控制的 AODV 路由协议研究*

汪华斌¹, 罗中良²

(1. 惠州学院计算机科学系, 广东 惠州 516007;
2. 惠州学院电子科学系, 广东 惠州 516007)

摘要: 分析了功率控制和 AODV 协议的工作原理。针对无线传感器网络中的“热门”节点过早死亡及能量空洞的问题, 提出了一种跨层功率自适应的节能 AODV 路由协议。采用 RREQ 协议帧的扩展, 通过节点剩余能量对 RREQ 协议帧进行选择转发, 优化了 RREQ 广播过程。NS2 仿真结论表明, 在保证较低延时和较高吞吐率的同时, 该方案有效地降低了网络传输的能量消耗, 达到延长网络的生存周期的目的。

关键词: 无线传感器网络; 跨层设计; 功率控制; 路由发现; 剩余能量

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2011)05-0059-05

Research of AODV Routing Protocol Based on Power Control

WANG Huabin¹, LUO Zhongliang²

(1. Department of Computer Science, Huizhou University, Huizhou 516007, China;
2. Department of Electronic Science, Huizhou University, Huizhou 516007, China)

Abstract: In order to eliminate premature dead hotspots and energy holes in the wireless sensor networks, it designs a AODV routing protocol with self-adaptability across multi-tiers and energy balance was designed to optimizes the RREQ broadcast process with an extension of RREQ protocol and selectively routing the frames of RREQ protocol by residual power in the node. The result of NS2 simulation indicates that this solution dramatically cuts down the energy consumption during the network transmission to extend the network life circle, while still ensures the network with low latency and high throughput.

Key words: wireless sensor network; cross-layer design; power control; routing; residual energy

无线传感器网络是一种特殊的无线自组织 Ad Hoc 网络, 集成了传感器技术、嵌入式系统及无线通信技术等多项技术特点, 可用于现代化战场、环境监测、数据采集等领域。由于其应用上的潜在前景, 近年来已经成为研究热点^[1]。无线传感器网络的节点体积微小, 能量有限, 电池不易更换, 这些特点决定了能量消耗的问题是无线传感器网络设计时需要考虑的一个重要指标。在保证网络覆盖范围及网络连通性的前提下, 设计不仅要考虑节点的功率消耗, 还要考虑各节点间的能量均衡问题。

关于无线传感器网络的研究, 主要分为平面结构和簇状结构。有关功率控制及路由协议的节能问题, 已有一批学者做过相关的研究, 并取得了一定的成果^[1-11]。文献 [4] 提出的 CPC 协议的思想是取保证网络连通性情形下的最小发射功率值作为全网的统一发射功率, 从而达到降低网络能耗、延长网络生存周期的目的, 但其不具普遍适用性^[5]。文献 [6] 提出的 COMPOW 是在每个节点上使用若干个互不相同的发射功率的路由代理对网络进行探测, 每个路由由代理维护各自路由表, 完成全网探

* 收稿日期: 2011-03-19

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(10151601501000005); 广东高校优秀青年创新人才培养项目(LYM10122); 惠州市科技计划资助项目(2010B020008011, 2010B020008016); 惠州学院自然科学基金资助项目(C210.0308, C509.0206)

作者简介: 汪华斌(1978年生), 男, 讲师, 硕士; E-mail: whuab@hzu.edu.cn

测后, 对各个路由代理最后得到的路由表项数进行比较, 取其中发射功率最小且所形成的网络路由表项数和以最大发射功率所得的路由表项数一致的那个发射功率作为全网统一的发射功率^[7]。本文的研究基于网络层与物理层联合, 依据跨层设计的思想, 在网络层选路时依据能量相关的度量, 构造路由表, 在物理层依据路由表, 调整发射功率, 两者相辅相成, 达到实现降低全网能量消耗, 延长网络生存周期的目的。

1 功率控制

现今的无线传感器网络功率控制通常都基于理想条件下的, 如: 链路对称, 信号传输区域为标准圆形, 信号的发射功率与距离之间的简单函数关系等。功率控制在无线传感器网络中的研究主要有网络层和链路层。而实际的无线信道中, 信号的接收功率衰减为传输距离的幂函数关系, 并且与传播模型相关。

1.1 传播模型

目前的无线传感器通常选择 TwoRayGround (双地面反射) 模型, 如

$$Pr = \begin{cases} \frac{Pt * Gt * Gr * \lambda^2}{(4pd)^2 * L} & d \leq \text{crossover_dist} \\ \frac{Pt * Gt * Gr * ht^2 * hr^2}{d^4 * L} & d > \text{crossover_dist} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{crossover_dist} = \frac{4\pi * hr * ht}{\lambda} \quad (2)$$

其中 P_t 为发送端发出无线信号时的功率值, 即信号发射功率, P_r 为接收端收到来自发送端的无线信号的功率值, 即信号接收功率。 G_t 、 G_r 分别是发射天线和接收天线增益, 对于两个固定的节点来说这两个值都是常量。 L 是与传播无关的系统损耗因子, λ 为无线电波的波长。 h_t 、 h_r 分别是发送节点的发射天线高度和接收节点的接收天线的高度。 d 为发送端与接收端之间的距离。

为方便说明算法和模型的最优发射功率, 假设节点的最大传输距离为 $R1$, 当收发节点间的距离小于某一门限值 $r1$ 时, 采用自由空间模型 ($k * d^2$), 大于等于门限值 $r1$ 时, 采用多路衰减模式 ($k * d^4$), 如图 1 所示。

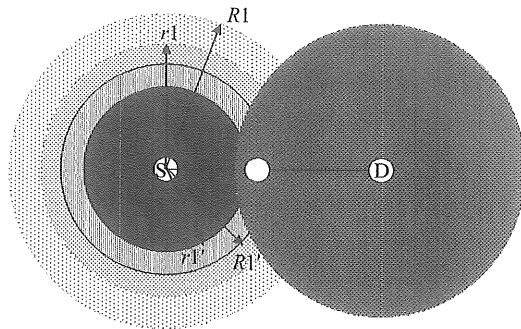


图 1 近似算法举例

Fig. 1 Approximation algorithm for example

1.2 最优发射功率推导过程

本文中的算法前后均采用双地面传播模型。即传播消耗的能量与距离的 4 次幂成比例。依据公式 (1) 进行推导得

$$Pr(i, j) = \frac{Pt(i, j) * Gt * Gr * ht^2 * hr^2}{d_{(i, j)}^4 * L} \Rightarrow$$

$$d_{(i, j)}^4 = \frac{Pt(i, j) * Gt * Gr * ht^2 * hr^2}{Pr(i, j) * L} \quad (3)$$

为使接收端能够顺利接收, 要求接收端的接收功率大于接收灵敏度 $P_{RXThresh}$ 。将公式 (3) 的 d^4 代入公式 (1) 得到

$$P_{RXThresh(i, j)} = \frac{Pt(i, j) * Gt * Gr * ht^2 * hr^2}{d_{(i, j)}^4 * L}$$

$$Pt(i, j) = \frac{P_{RXThresh(i, j)} * d_{(i, j)}^4 * L}{Gt * Gr * ht^2 * hr^2}$$

$$Pt(i, j) = \frac{Pt(i, j) * L * P_{RXThresh(i, j)} * Gt * Gr * ht^2 * hr^2}{d_{(i, j)} * Gt * Gr * ht^2 * hr^2 * L}$$

$$Pt(i, j) = \frac{Pt(i, j) * P_{RXThresh(i, j)}}{Pt(i, j)} \quad (4)$$

这样节点 i 和节点 j 进行通信所需要的最优发射功率即可由节点 i 处的发射功率与节点 j 处的接收功率计算得到。这是一种网络层与物理层结合的跨层设计思路, 可有效避免了距离测量问题, 也无需地理位置辅助信息。

2 改进的 Improved-AODV 路由协议

AODV 是无线自组织 Ad Hoc 网络中应用最广泛的一种按需路由路由协议, 它利用了 DSDV 的逐跳 (Hop-by-Hop) 路由和 DSR 的路由发现和维持机制。文献 [3] 已对增加能量要素后的 AODV 协议移植到无线传感器网络的可行性进行了相应的研究。

AODV 协议在源节点有数据要发送到目标节点且无可用的路由情况下（不存在路由或路由失效），通过 RREQ 路由请求，采用洪泛广播建立其路由。为避免环路，在 RREQ 中增加 TTL 值和广播号来判定是否可达或重复，目标节点收到 RREQ 后，通过单播 RREP 响应包沿原路返回，从而建立起通信节点间的路由。

本文在 AODV 协议中依据文献 [12] 增加剩余能量水平的度量和文献 [13] 增加概率转发的思路，提出一种功率自适应的 Improved-AODV 协议，该方案以传统的 AODV 协议为基础，结合 1.1 中物理层功率控制思想。做如下改进：

1) 在 Improved-AODV 中增设节点剩余能量水平 e ($e = \text{节点的当前能量} / \text{初始能量}$) 的门限值为 20%，当中间节点转发 RREQ 包时依据当前剩余能量水平 e 进行判断。如小于初始能量的 20%，则对 RREQ 包丢弃不进行转发。

2) 当中间节点能量水平高于 20% 时对 RREQ 进行转发，转发时依据剩余能量水平 e 进行延时，转发 RREQ 请求包的延时为： $0.01 * (1 - e) \text{ s}$ 。

3) 在 RTABLE 路由表项目中增加 LPower 项，用以保存在物理层计算出的到达下一节点的最优发射功率。为保证下一节点能够正确接收，考虑节点不移动或缓慢移动的情况下，在实际发送数据时，可使用 $C (C > = 1)$ 增益参数进行修正 $C * \text{LPower}$ 。

4) 在通信过程中，除业务流数据发送采用物理层所计算出的最优发射功率外，其余数据均采用最大功率发送，以保证无线传感器网络原有的连通性和覆盖范围。

通过上述措施保护一些“热点”节点因过度使用造成的能量空洞，从而达到能量均衡的目标。延长无线传感器网络的生存周期。选路的示意如图 2。

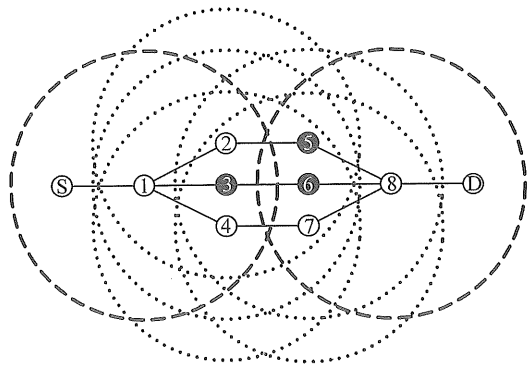


图 2 EAODV 选路示意图

Fig. 2 EAODV routing diagram

图 2 中，反色的节点 3、5、6 为“热点”，剩余能量水平较低，其它节点剩余能量水平较高。一般地，AODV 在选择路径时，有 3 种选择，即 S-1-2-5-8-D、S-1-3-6-8-D、S-1-4-7-8-D。而在 Improved-AODV 协议中选择所有节点能量水平较高的第三种 S-1-4-7-8-D。

3 仿真结果与分析

3.1 仿真场景与参数设置

利用 NS2 网络仿真软件，对改进后的 Improved-AODV 与传统的 AODV 作性能比较。本文构建的仿真场景，节点个数为 25 个，仿真拓扑为 $400 \text{ m} * 400 \text{ m}$ ，仿真时间 800 s。仿真采用 CBR 流，包大小 512 字节，每秒发送 1、2、5、10、12.5、25 个。如图 3#1 的持续时间为 (0~100 s)、#2 (100~200 s)、……#8 (700~800 s)。其它无线节点的参数设定如表 1。

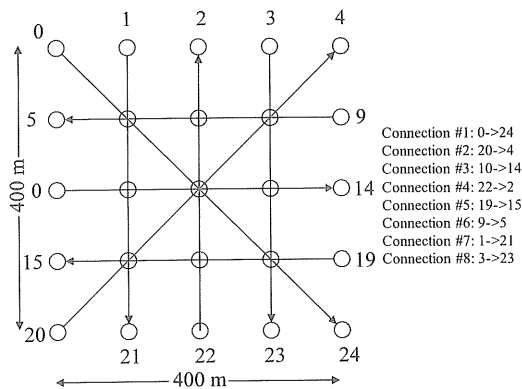


图 3 仿真场景拓扑

Fig. 3 Simulation scenario topology

表 1 无线节点的模拟参数

Table 1 Simulation Parameters of Wireless Nodes

参数	值	参数	值
无线传播模型	TwoRay Ground	节点的初始能量	50 J
电波传输距离	250 m	发送功率	0.660 W
电波干扰距离	550	接收功率	0.395 W
信道传输速率	2 Mb/s	监听功率	0.0 W

3.2 仿真结果和分析

通过改变 CBR 流的发送频率，对图 3 进行了多次仿真和比较，结果如图 4 所示。图 5 为剩余能量的对比图。

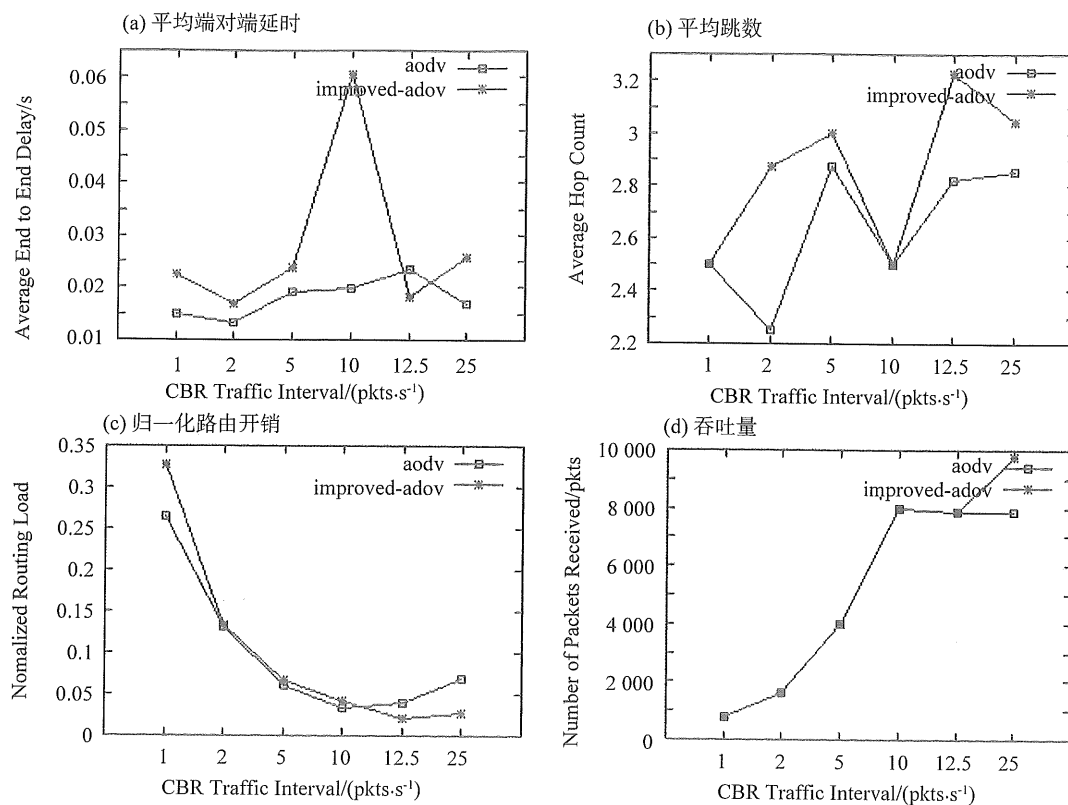


图 4 仿真结果

Fig. 4 Simulation results

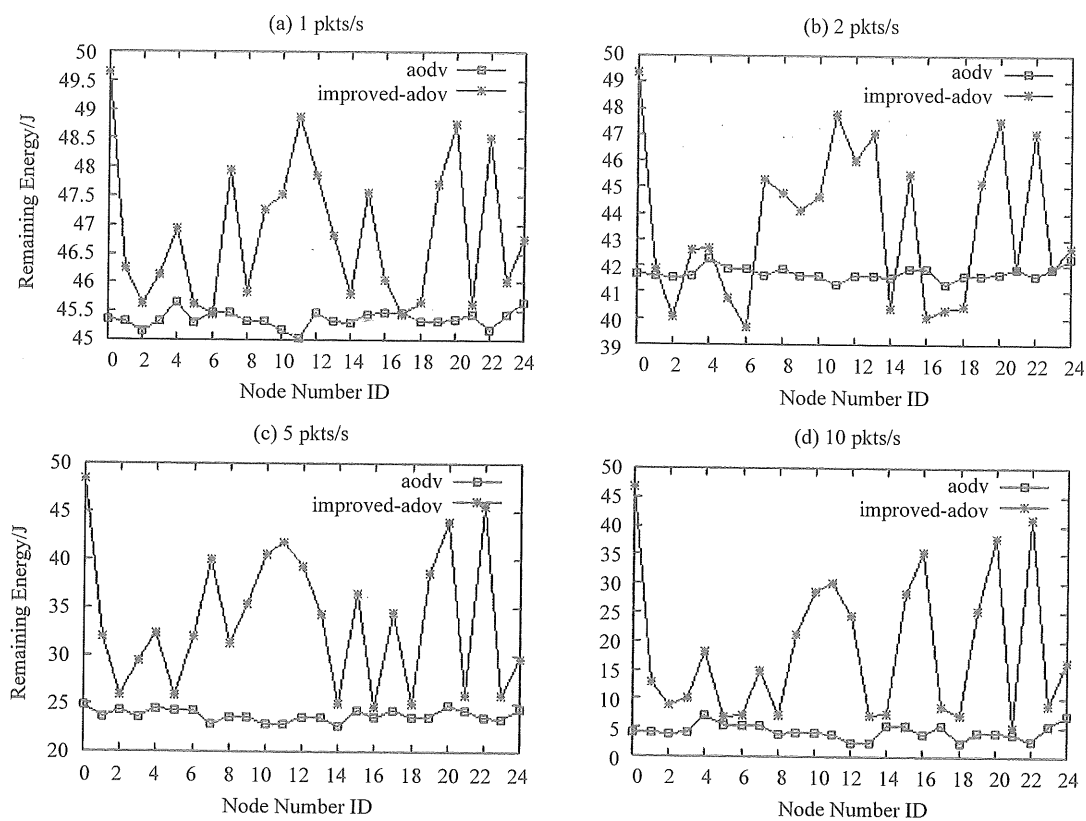


图 5 剩余能量对比

Fig. 5 Comparison residual energy

从图 4 结果看。由于 Improved-AODV 采用中间节点的剩余能量水平对 RREQ 包进行了控制性转发, 其端到端平均延时 (图 4 (a))、平均跳数 (图 4 (b)) 相对传统 AODV 稍高, 随着 CBR 发送频率的增大, 从 (图 4 (c)) 看, 其归一化路由开销减小, 吞吐量有所提高。从图 5 看, 仿真结束后, 节点的剩余能量较传统的 AODV 协议大提升, 延长了网络的生命周期, 达到的节能的目的。

4 结 语

基于节能的无线传感器网络的研究是目前的一个热点, 本文依据跨层设计思想提出的物理层功率自适应调节与网络层节能路由选择的协议算法, 理论分析和仿真实验表明, 在保证较低延时和较高吞吐率的同时, 较大幅度的减少了节点的能量消耗水平, 尤其在业务量较高的, 负荷较大的情况下, 效果更为显著。

参考文献:

- [1] 赵海, 程大伟, 孙佩刚, 等. 基于矩法估计量的无线传感器网络路由度量[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2008, 29(3): 320 - 323.
- [2] 黄景博. 移动 Ad Hoc 网络的节能路由技术研究[D]. 合肥: 中国科技大学, 2007.
- [3] 王冬青, 谭跃刚. AODV 协议在无线传感器网络中的应用[J]. 测试技术学报, 2008, 22(3): 274 - 277.
- [4] PARK S, SIVAKUMAR R. Load-Sensitive transmission power control in wireless ad-hoc networks[C]// Park J, ed. Proc. of the GlobeCom 2002. Taipei: IEEE Press, 2002: 42 - 46.
- [5] PARK S, SIVAKUMAR R. Quantitative analysis of transmission power control in wireless ad-hoc networks. [C]// Lilja D, ed. Proc. of the ICPP 2002. Vancouver: IEEE Computer Society, 2002: 56 - 63.
- [6] NARAYANASWAMY S, KAWADIA V, SREENIVAS R S. Power control in ad-hoc networks: Theory, architecture, algorithm and implementation of the COMPOW protocol[C]// Lenzini L, ed. Proc. of the European Wireless Conf. 2002. Florence, 2002: 156 - 162.
- [7] 李方敏, 徐文君, 刘新华. 无线传感器网络功率控制技术[J]. 软件学报, 2008, 19(3): 716 - 732.
- [8] 邓罡, 陈颖文, 徐明, 等. 无线传感器网络环境感知的节点定位方法[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47(6): 114 - 119.
- [9] 杨卫东, 周杰英, 张光昭. Ad Hoc 网络中一种基于权值的分簇算法[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(5): 5 - 9.
- [10] 王忠恒, 张曦煌. 移动 Ad Hoc 网络 AODV 路由协议的改进[J]. 计算机应用, 2010, 30(2): 333 - 336.
- [11] 潘云霞, 冀常精. AoDV 的能量策略研究[J]. 计算机工程, 2010, 36(22): 103 - 105.
- [12] 刘雯雯, 马锐, 许海滨. 均衡无线传感器网络能耗的 AODV 改进方案[J]. 计算机工程, 2008, 34(22): 143 - 144, 147.
- [13] 袁培燕, 高宏卿. 概率转发的移动自组织网络路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(24): 104 - 106.
- [9] WANG Guoyin, ZHAO Jun, AN Jiujiang et. al.. A comparative study of algebra viewpoint and information viewpoint in attribute reduction [J]. Fundamenta Informaticae, 2005, 68 (6): 289 - 301.
- [10] 李凡, 刘启和, 叶茂, 等. 不一致决策表的知识约简方法研究 [J]. 控制与决策, 2006, 21 (8): 857 - 862.
- [11] 黄国顺, 刘云生. 不一致决策表信息熵约简与代数约简的核计算与转化 [J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29 (2): 308 - 312.
- [12] 黄国顺, 刘云生. 不一致决策表各种属性约简的不一致性分析与转化 [J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29 (4): 703 - 708.
- [13] 黄国顺. 基于数据库系统的决策表核和属性约简算法 [J]. 计算机应用, 2008, 28 (5): 1180 - 1182.
- [14] 王国胤. 决策表核属性的计算方法 [J]. 计算机学报, 2003, 26 (5): 611 - 615.

(上接第 58 页)