

# 基于 ZigBee 网络的自适应剪枝能耗均衡路由算法

汪红, 曾繁迪, 田莎莎

(中南民族大学 计算机科学学院 武汉 430074)

**摘要** 在 ZigBee 网络中建立两个节点的通信时,为了既保证路径中总的能量耗费最低,又令路径中不包括剩余能量较少的节点,尽量延长网络的寿命,提出了基于 ZigBee 网络的自适应剪枝能耗均衡(AP-ECB)路由算法.该算法包括两个改进的策略:自适应剪枝策略和能耗均衡策略.自适应剪枝策略采用有效的剪枝策略令更多的节点进入休眠状态,节约了能耗;能耗均衡策略规避了将剩余能量较少的节点选入路径,保证了 ZigBee 网络的可用性.对 AODVjr 和 AP-ECB 路由算法进行了仿真验证.结果表明:AP-ECB 路由算法选择的路径能耗更少,同时遇到的死亡节点更少.

**关键词** 路由算法;自适应剪枝;能耗均衡;死亡节点

**中图分类号** TP274.5 **文献标识码** A **文章编号** 1672-4321(2017)02-0129-04

## Routing Algorithm of Adaptive Pruning and Energy Consumption Balancing Based on ZigBee Network

Wang Hong, Zeng Fandi, Tian Shasha

(College of Computer Science, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China)

**Abstract** A routing algorithm of adaptive pruning and energy consumption balancing based on ZigBee network was proposed to not only ensure the lowest energy consumption in the selected route, but also ensure the selected route do not contain the nodes which left energy is less, when communication was built between two nodes in ZigBee network. The algorithm includes two improved strategies: Adaptive pruning strategy and energy consumption balancing strategy. In adaptive pruning strategy, an effective pruning strategy is used to put more nodes to sleep and save the energy consumption. In energy consumption balancing strategy, the nodes that left energy is less, would not be selected into the route. This ensure the availability of the ZigBee network. By simulating and verifying the AODVjr and AP-ECB routing algorithm, it can be concluded that the route selected by AP-ECB routing algorithm save more energy and contains less death nodes.

**Keywords** routing algorithm; adaptive pruning; energy consumption balancing; death node

随着物联网行业的发展,ZigBee 无线传感器网络被越来越多地应用到环境监测、信息采集、工业控制等领域.在无线传感器网络中,有些 ZigBee 网络设备(例如野外投放的 ZigBee 网络设备)没有固定设施支持,不能由交流电持续供电,一般采取电池供电<sup>[1-2]</sup>.为了获得较长的生存期,需要对 ZigBee 网络进行能耗优化,降低 ZigBee 网络的能耗<sup>[3]</sup>.AODVjr 算法是结合 DSDV 和 DSR 算法之后的改进算法,可以降低网络的整体功耗.针对这一算法,学者们纷纷提出了一些改进的路由算法,旨在为数据的传送找

到最优的路径,从而令没有传送数据任务的节点处于休眠状态.文献[4]提出在路由选择时尽量避免能量较低的节点,并对 RREQ 分组的大致方向和传输距离进行控制.文献[5]针对 ZigBee 树路由和 AODVjr 分别提出了结合能耗均衡的 ZigBee 网络树路由算法和基于能量感知的 EA-AODV 算法.文献[6]提出了分层拓扑的思想来减少路由查找的开销.文献[7]提出了改进的 AODVjr 路由算法,将 RREQ 包添加到 Cluster-tree 路由算法中,从而令算法在死亡节点数目、整体能量损耗等方面有所改进.

收稿日期 2017-02-27

作者简介 汪红(1968-),女,副教授,研究方向:计算机系统结构,嵌入式系统,E-mail: wanghong\_2010@foxmail.com

基金项目 国家自然科学基金资助青年项目(61603420);湖北省自然科学基金资助项目(2014CFB413)

文献[8]用多层树路由协议与 AODVjr 算法实现了 ZigBee 网络层次协议. 然而上述算法无法兼顾最优路径和各节点功耗的均衡, 为此, 本文提出了自适应剪枝能耗均衡( AP-ECB) 路由算法.

## 1 ZigBee 无线传感器网络结构与能耗分析

ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议<sup>[9]</sup>. 作为传统的无线传感器网络中的一种, ZigBee 实现了低功耗、低数据吞吐量的无线连接. 在 ZigBee 网络中存在 3 种逻辑设备类型: 协调器( Coordinator)、路由器( Router) 和终端设备( EndDevice)<sup>[10]</sup>. 一个 ZigBee 网络由一个协调器以及多个路由器和多个终端设备组成, 如图 1 所示. 协调器负责整个网络的配置和管理, 路由器和终端负责采集和转发数据. 这 3 种逻辑设备构成了 ZigBee 无线传感器网络的众多节点.

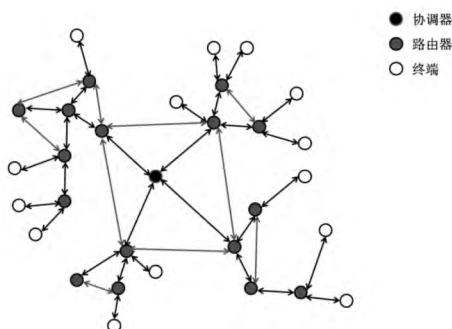


图 1 ZigBee 网络示意图

Fig.1 Schematic diagram of ZigBee network

每一个 ZigBee 无线传感器网络节点可分为两大部分, 即微程序控制器( MCU) 模块和射频( RF) 模块. 与 RF 模块相比, MCU 模块和传感器本身仅消耗小部分能量. 因此, 降低 ZigBee 无线传感器网络的功耗, 主要是降低 RF 模块的功耗. RF 模块可分为发送状态、接受状态、空闲状态和休眠状态. 实验表明: RF 模块在休眠状态下的功耗是其它 3 种状态下的 1/20, 因此降低 RF 模块的功耗, 关键是在不影响网络正常运行的前提下, 将无数据传送任务的 RF 模块置为休眠状态<sup>[11]</sup>.

## 2 AODVjr 路由算法及其分析

### 2.1 AODVjr 路由算法原理

AODVjr 算法有 3 种路由控制分组, 分别为: 路由请求( RREQ)、路由应答( RREP)、路由错误( RERR). 其工作过程如下.

(1) 源节点以洪泛方式广播一个 RREQ 路由控制分组;

(2) 收到 RREQ 的节点判断自己以前是否已经收到 RREQ 分组, 若是一个新的 RREQ 分组, 则在其路由表中建立一个反向路由; 若不是新的分组则将其丢弃;

(3) RREQ 传递到目的节点之后, 目的节点需要向源节点回复一个 RREP 控制分组, 此分组会按照步骤(2)中建立的反向路由, 从目的节点传送到源节点;

(4) 源节点收到 RREP 控制分组后, 将反向路由反向, 建立正向路由, 从源节点向目的节点传送数据.

### 2.2 AODVjr 路由算法分析

如图 1 所示, 为了建立任意两个节点的通信, 图中大部分节点都参与了通信路径的建立, 无法进入休眠状态, 造成了能量的损耗. 另外, 由于整个 ZigBee 网络中的节点众多, 有些节点可能已经能量耗尽, 处于死亡状态, 若找到的通信路径正好包含死亡节点, 将导致数据通信失败. 基于 AODVjr 路由算法的上述两个缺点, 本文提出了自适应剪枝能耗均衡路由算法.

## 3 自适应剪枝能耗均衡路由算法

自适应剪枝能耗均衡路由算法包括两个改进策略: 自适应剪枝策略和能耗均衡策略. 这两个策略一起保证了所选择的路径消耗能量较少且包含的死亡节点较少.

### 3.1 自适应剪枝策略

AODVjr 算法在执行过程中, 大部分节点都参与了通信路径的建立, 造成了能量的大量损耗. 造成这个结果有如下几个原因: 首先, ZigBee 网络中节点之间的联系都是双向的; 其次, ZigBee 网络中低层的节点可以对高层节点反向传送数据; 最后, 源节点与目的节点之间通信路径的建立是向各个方向发散的, 没有方向性. 基于上述原因, 本文提出了自适应剪枝策略, 该策略可描述如下.

(1) 将 ZigBee 网络中同层节点之间的网络链路暂时去掉, 以图 1 为例, 去掉同层节点之间的网络链路后如图 2 所示.

(2) 设源节点的网络深度为  $l_s$ , 目的节点的网络深度为  $l_o$ . 若  $l = l_s - l_o > 0$  则令源节点向上面  $l$  层处寻找父节点; 否则, 就令目的节点向上面  $l$  层处寻找父节点. 若源节点(目的节点) 上面  $l$  层处的父

节点即为目的节点(源节点),则保存此路径上的各个节点,并为这些节点添加(1)中去掉的网络链路,将此外的一切节点和链路剪去.若源节点(目的节点)上面 $l$ 层处的父节点不是目的节点(源节点),则分别查找源节点和目的节点到协调器节点处的路径,将这两个路径连通,并为这个路径上的节点添加(1)中去掉的网络链路,将此外的一切节点和链路剪去.此步采用自适应策略,根据目的节点和源节点之间的路径自适应剪枝.

(3) 利用 AODV<sub>jr</sub> 算法为剪枝之后的网络寻找源节点到目的节点的最佳路径.过程如图 3 所示.

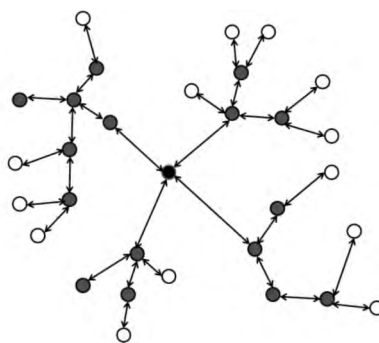


图 2 去掉同层节点间网络链路的 ZigBee 网络

Fig.2 ZigBee network cleared away network link between horizontal nodes

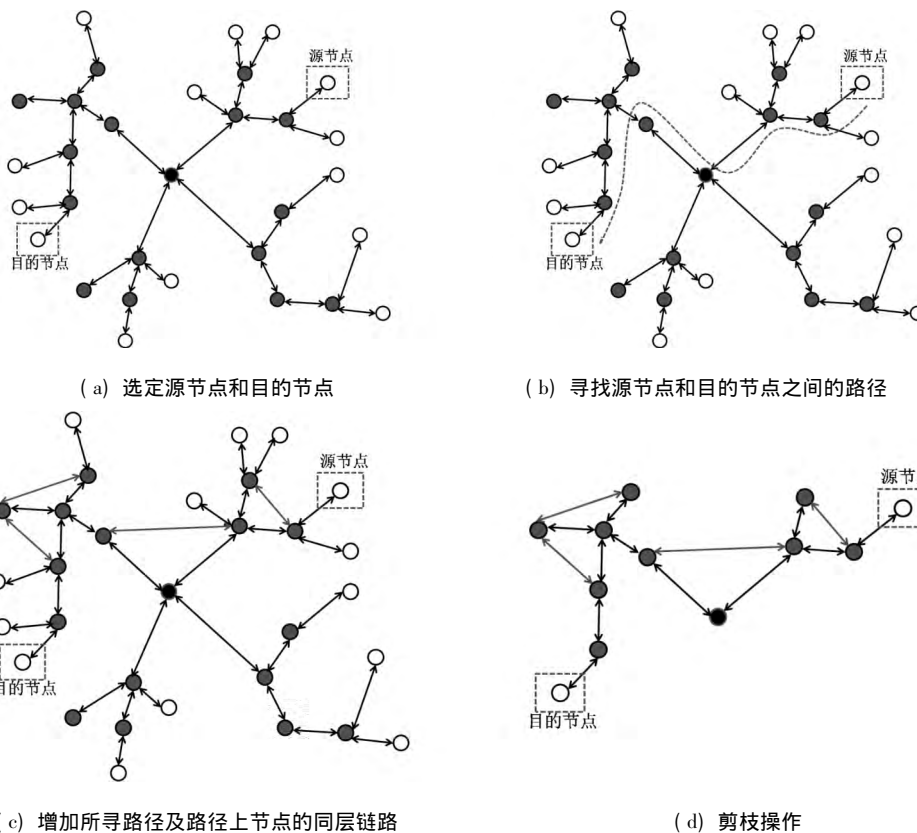


图 3 自适应剪枝算法实例

Fig.3 An example of adaptive pruning algorithm

### 3.2 能耗均衡策略

能耗均衡,即对于路由算法所寻得的路径,一方面要保证能耗较小,一方面要保证网络中每个节点的能耗均衡,避免由于部分节点剩余能量太低,引起网络分割,进而影响网络寿命.基于此,在 3.1 中描述的自适应剪枝策略的基础上提出能耗均衡策略.

假设源节点为  $n_s$ ,目的节点为  $n_e$ .经过自适应剪枝之后,源节点和目的节点之间有  $k$  条路径,设第  $i$  条路径上的能量消耗为  $Cost(i)$ ,其中  $i = 1, 2, \dots, k$ .第  $i$  条路径上剩余能量最低的节点的能量为  $Source(i)$ .为了既保证所选路径消耗能量少,又保证各节点的能耗均衡,

采用如下步骤进行路径选择:

- (1) 令  $m = \lfloor \frac{k}{2} \rfloor$ ;
- (2) 将  $Cost(i)$  按照升序排序,并保留前  $m$  个  $Cost(i)$  对应的路径;
- (3) 将  $Source(i)$  按照降序排序,并保留前  $m$  个  $Source(i)$  对应的路径;
- (4) 对步骤(2)、(3)中的结果取并集.若并集的结果为空,则令  $m = m + 1$  并返回步骤(2),否则进行步骤(5);
- (5) 设取并集之后的结果中包含  $h$  条路径,设选择

的路径为  $r$  则:

$$Cost(r) = \min \left( \frac{1}{\sum_{j=1}^h \frac{1}{Source(j)}} \times Cost(j) \right),$$

$$j = 1, 2, \dots, h. \quad (1)$$

从式(1)可以看出,路径的选择兼顾了路径的总能耗较低和路径中节点的能耗均衡.

## 4 实验与结果分析

为了验证算法的性能,基于 NS-2 模拟仿真软件对 AODVjr 路由算法和本文所提出的 AP-ECB 路由算法进行了仿真验证.网络中有路由器 10 个,终端 30 个,每个节点的总能量为 1000J.图 4 为两种算法在网络整体能耗方面的对比.由于改进算法通过剪枝操作,有效地控制了被唤醒的节点的数目,因而能耗较小.

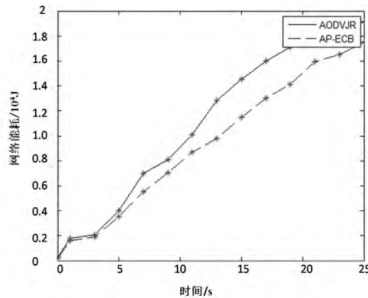


图4 AODVjr 和 AP-ECB 路由算法在网络能耗方面的比较

Fig. 4 Comparison of AODVjr and AP-ECB routing algorithm in network energy consumption

图 5 为 AODVjr 路由算法和本文所提出的 AP-ECB 路由算法在死亡节点方面的比较.因为路由选择过程中直接放弃了剩余能量很低的节点,所以死亡节点的数目大大减少.另外,由于减少了访问节点的数目,相比 AODVjr 路由算法,AP-ECB 路由算法大大降低了时间和空间开销.

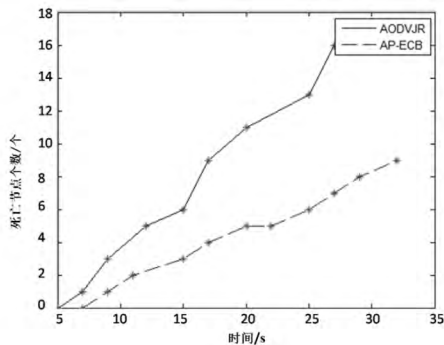


图5 AODVjr 和 AP-ECB 路由算法在死亡节点数目方面的比较

Fig. 5 Comparison of AODVjr and AP-ECB routing algorithm in death nodes numbers

## 5 结论

本文设计了一个基于 ZigBee 网络的 AP-ECB 路由算法.经过实验验证,可知该算法在能耗降低和网络寿命方面较 AODVjr 路由算法都有优势. AP-ECB 路由算法采用的自剪枝策略可以快速去除无用的路径,将尽量多的节点设置为睡眠模式,有效地节约能耗; AP-ECB 路由算法采用的能耗均衡策略兼顾了路径总能耗较少和路径上死亡节点较少,提高了网络的寿命,降低了网络被分割的可能性.该算法还可以扩展到其他网络中使用,提高其网络寿命.

### 参考文献

- [1] Akkaya K, Younis M. A survey on routing protocols for wireless sensor networks [J]. *Ad Hoc Networks*, 2005, 3 (3): 325-349.
- [2] Olivier B, Florenee M, Laurent M. Modeling and analysis of wireless sensor networks [EB/OL]. (2006-01-01). <http://pop-art.inrialpes.fr/~girault/Synchron06/Slides/samper.pdf>.
- [3] 张文静. 基于 CC2530 的 ZigBee 网络节点的低功耗设计 [J]. *机电信息*, 2014(9): 123-124.
- [4] 谢川. 基于 ZigBee 的 AODVjr 算法研究 [J]. *计算机工程*, 2011, 37(10): 87-89.
- [5] 罗华. 基于 ZigBee 的无线传感器网络路由算法研究 [D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [6] 刘艳凤. 基于 ZigBee 网络的分层网络框架体系分析 [J]. *信息与电脑: 理论版*, 2014(10): 89.
- [7] Li C, Zhang M, He H, et al. Research of improved ZigBee-based AODVjr routing algorithm in cloud manufacturing [J]. *International Journal of Online Engineering*, 2015, 11(2): 20-25.
- [8] Pan Q, Wu J, Wang Y, et al. Implementation of ZigBee network layer based on AODVjr and tree hierarchical route algorithms [J]. *Journal of Software Engineering & Applications*, 2011(4): 487-490.
- [9] 高守玮, 吴灿阳. ZigBee 技术实践教程: 基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 40-41.
- [10] 徐丽华, 王宜怀. 一种 ZigBee 网络的设计与实现 [J]. *微计算机信息*, 2007, 23(32): 72-74.
- [11] Feeney L M, Nilsson M. Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment [C]//IEEE. *Infocom 20th Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Pennsylvania: IEEE, 2001: 1548-1557.