

基于节点能量优化的 ZigBee 网络路由算法改进

窦文博,王卫东

(江苏科技大学 计算机科学与工程学院,江苏 镇江 212003)

摘要: 针对现有的 ZigBee 路由算法在能量均衡以及延长网络生存时间等方面的不足,在基于簇树路由算法与 AODVjr 算法的基础上,提出了一种改进的 ZigBee 路由算法。改进算法提出了重定义邻居表、划分能量等级以及目的节点的缓存机制,侧重于网络的能量优化。实验表明,改进算法在减少网络整体耗能、均衡网络负载、延长网络生存时间等方面表现良好。

关键词: ZigBee; 簇树路由算法; AODVjr 算法; 节点能量优化

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2014)04-0056-04

An improved ZigBee routing algorithm based on node energy optimization

Dou Wenbo, Wang Weidong

(School of Computer Science and Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: In view of the inadequacies of existing ZigBee routing algorithms in the energy balance and prolong the survival time of the network, this paper proposes an improved ZigBee routing algorithm based on the cluster-tree routing algorithm and AODVjr algorithm. The improved algorithm is proposed to redefine the neighbor table, dividing the energy level and the destination node caching mechanism, focuses on energy optimization of network. Experiments show that the improved algorithm performs well in reducing overall network energy consumption, balance the network load, prolong the survival time and other aspects.

Key words: ZigBee; cluster-tree routing algorithm; AODVjr algorithm; node energy optimization

ZigBee 是一种新兴的基于 IEEE802.15.4 无线标准开发的低成本、低复杂度、低功耗、自组织的组网通信技术,以 2.4 GHz 为主要频段,采用扩频技术^[1]。由于 ZigBee 节点体积小,且能自动组网,在应用上非常简单方便;而且网络中的节点都有很强的自愈能力,即使单个节点出现故障,也不会对整个网络造成影响,因此非常适合组建无线传感网络^[2]。然而高效的路由算法在降低节点能耗,均衡网络负载,延长网络生存时间等方面起着重要作用。开发高效的路由算法程序,并与其他网络进行连接扩充,是目前 ZigBee 领域研究的重点和热点问题。

常见的 ZigBee 网络路由算法有簇树(Cluster-Tree)路由算法^[3]、AODVjr 路由算法^[4]及 Cluster-Tree+AODVjr 的 ZBR 算法^[5]等,其中 Cluster-Tree 属于静态路由协议,不需要路由表。但容易造成传输时延的增加和额外消耗。AODVjr 属于动态路由协议,此算法寻找的路径是最优路径,但前提是需要大量的路由开销。由于两种算法的固有缺点,ZBR 算法在能量优化方面也存在不足。为此,

在 ZBR 算法的基础上,提出了一种改进的 ZigBee 网络路由算法。

1 ZigBee 路由机制

ZigBee 网络中的节点可以分为协调器(ZC)、路由节点(ZR)和终端节点(ZED),其中 ZC 和 ZR 是全功能设备(FFD),ZED 属于简化功能设备(RFD)。ZC 作为网络的控制中心,负责发起一个网络,每个 ZigBee 网络只能包含一个该设备。

1.1 网络地址分配机制

ZigBee 网络中,节点加入网络必须经过网络中的 FFD 设备,并由分布式算法根据网络自定义的参数来确定网络的地址分配原则。节点首先向父节点发送入网申请,待父节点同意后便会为新加入的节点分配一个网络中唯一的网络地址。如果 C_m 为每个父节点可以连接子节点的最大个数, R_m 为连接的子节点中路由器的最大个数,网络最大深度为 L_m ,则网络深度为 d 的父节点为其子节点分配的地址之间的偏移量 $C_{skip(d)}$ 可以根据式(1)计算求得,即:

网络与通信 Network and Communication

$$C_{\text{skip}(d)} = \begin{cases} 1 + C_m(L_m - d - 1), R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m}, \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

只有当节点的偏移量大于0时,该节点才有为其子节点分配网络地址的能力,即允许子节点的加入。具体的地址分配机制如下:如果父节点的地址为 A_p ,根据式(2)来确定分配给第 k 个子路由节点的地址 A_k ,根据式(3)来确定分配给第 n 个终端节点的地址 A_n :

$$A_k = A_p + C_{\text{skip}(d)} \times (k - 1) + 1 \quad (2)$$

$$A_n = A_p + C_{\text{skip}(d)} \times R_m + n \quad (3)$$

1.2 ZigBee 路由算法简介

1.2.1 Cluster-Tree

Cluster-Tree 是一种网络层和逻辑链路协议,它使用链路状态数据包来建立网络。如果一个深度为 d ,网络地址为 A 的路由器节点(FFD)要转发数据包至网络中的其他节点,设此节点的网络地址为 D 。首先该路由节点会依据式(4)来判断目的节点是否是其后裔节点;如果是,则该数据包将被转发到它的子节点 N ,根据式(5)来确定下一条节点的地址;如果不是,则将数据包向上传送至其父节点。

$$A < D < A + C_{\text{skip}(d-1)} \quad (4)$$

$$N = \begin{cases} D, & D > A + R_m C_{\text{skip}(d)} \\ A + 1 + \left[\frac{D - (A + 1)}{C_{\text{skip}(d)}} \right] \times C_{\text{skip}(d)}, & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

Cluster-Tree 算法按树形结构进行分层遍历,算法简单高效。然而由于采用非自适应算法,所选择的很可能不是最佳路径。而且由于靠近根节点的路由节点转发数据的使用率极高,能量消耗快,必需储备足够的能量^[6]。

1.2.2 AODVjr

AODVjr 算法是在 AODV 算法的基础上进行的简化改进,使其更适合应用在 ZigBee 网络中。其核心思想是通过传送 RREQ(路由请求包)和 RREP(路由回复包)来确定数据传输的路径。AODVjr 没有使用 AODV 中的目的节点序列号,并且只有目的节点才可以发送 RREP 分组,因此可以避免出现回路。另外 AODVjr 取消了 HELLO 信息的发送机制,改用 KEEP_ALIVE 连接信息来维持路由^[7]。目的节点定时发送连接信息,在一定时间内,若源节点没有收到信息,则认为目前的路径失去传送信息能力,之后再次运用 AODVjr 算法进行路径选择。虽说此算法能够找到一条最短路径,但容易产生 RREQ 广播风暴,使功耗增加^[8]。

1.2.3 ZBR 路由

ZigBee 网络中一般采用 Cluster-Tree+AODVjr 路由算法,此算法汇聚了两者的优点。网络中的 FFD 被分为两类:RN+和 RN-,它们都可以作为路由节点,RFD 由于是简化设备,只能充当终端节点。RN+可以启动 AODVjr 算法,通过发送 RREQ 分组主动寻找目的节点,而且它还可以通过路由代理的身份帮助其他节点寻找路由;RN-

由于功能限制,只可以使用 Cluster-Tree 的算法,在路径选择中通过计算公式来确定数据下一跳的路径(父节点或某个子节点)。但是由于两种算法固有的缺点,混合算法在负载均衡以及节省网络能耗方面还存在着不足。

2 改进算法设计

通过改进 AODVjr 算法和 Cluster-Tree 算法的缺点,使其优点发挥至最佳。本算法首先重定义邻居表,利用簇树结构减少路由的额外消耗,然后再通过对预先设定的节点能量等级的划分达到对 RREQ 分组的控制,缩小洪泛的范围,尽量避开能量偏低节点,达到均衡网络负载的目的。

2.1 邻居表

每个 ZigBee 设备都需要对一张自身的邻居表进行维护,邻居表记录着通信范围内(一跳)所有邻居节点信息。改进算法中邻居表除记录邻居节点的一些基本信息外,还应包括邻居节点的能量范围区间以及簇树结构深度 d 等信息。新入网的节点加入网络时,邻居节点会向其发送 Beacon 信息来获得邻居节点的相关信息。网络运行后会实时对邻居表中的信息进行更新。

2.2 节点能量等级

为了避免节点出现能量“空洞”,改进算法进行了节点能量等级的划分。按照节点剩余能量的多少将节点划分到两个不同的区域:

(1)安全区:此时节点的能量大于初始值的20%。新节点加入时父节点应优先考虑安全区内的节点;在路由算法中优先选择包含安全区节点多的路径。

(2)危险区:节点的能量值小于其初始值的20%。新的节点加入时父节点尽量避免危险区的节点;如果危险区内的节点为路由器,若目的节点是其后裔节点,则参与数据的转发,其他情况则不参与转发。

2.3 改进的路由算法

在网络的初始阶段,除 RFD 外的每个节点对自己的邻居表中的信息进行初始化;节点通过将自身的剩余能量值与节点能量等级定义的值进行比较,来判断所在的能量区域。

在 RREQ 分组中添加当前节点的“剩余能量”和“路径能量总和”字段,用来记录节点的剩余能量以及路径所经过节点的能量总和,并实时更新。新的路由算法中 RN-节点收到数据分组后还是使用 Cluster-Tree 算法进行处理。而 RN+节点在收到数据分组后,首先查找自己的路由表,如果存在到目的节点的信息,则按照路由表对数据进行转发。否则按下面的算法步骤进行:

(1)当前节点向目的节点转发数据。首先当前节点会搜索自己的邻居表,若当前节点的邻居节点(包含邻居节点的父节点)是目的节点,则将数据转发至邻居节点,即目的节点;否则,执行步骤(2)。

(2)当前节点利用式(4)来判断目的节点是否是当前节点的后裔节点。如果是,则根据式(5)来确定下一

网络与通信 Network and Communication

跳节点的地址;否则,执行步骤(3)。

(3)用与上步同样的方法计算目的节点是否为当前节点的邻居路由器节点的子孙。若是,则选择深度最大的节点作为转发节点;否则,执行步骤(4),利用改进后的 AODVjr 算法寻找转发路径。

(4)当前节点首先采用洪泛的方式发送 RREQ 分组,收到 RREQ 分组的节点先判断自身的剩余能量情况,如果处在危险区,则丢弃该 RREQ 分组,并向其所有邻居节点发送数据,使其邻居节点更新自己的邻居表项目;否则,执行步骤(5)。

(5)判断目的节点是当前节点的父节点还是后裔节点,若是父节点,则只向父节点转发 RREQ 分组;若是后裔节点,则只向后裔节点转发 RREQ 分组。若都不是,执行步骤(6)。

(6)判断跳数是否超过极限,按簇树路由算法计算,若源节点的网络深度为 L_s ,则源节点与目的节点间的最短距离不应超过 L_s+L_m ,当跳数超过该值时,丢弃该 RREQ 分组;否则,执行步骤(7)。

(7)在目的节点收到第一个 RREQ 分组后,启动一个延时函数。在此延时期间,目的节点将缓存所有收到的 RREQ 分组(一般为 2~3 个分组,这样能保证路径相对最短),并通过 RREQ 分组字段上的“路径能量总和”值的比较选取能量总和最大的一条路径返回 RREP 分组。当源节点接收到 RREP 分组后,此条路由由路径建立。图 1 为 RN+节点寻路流程。

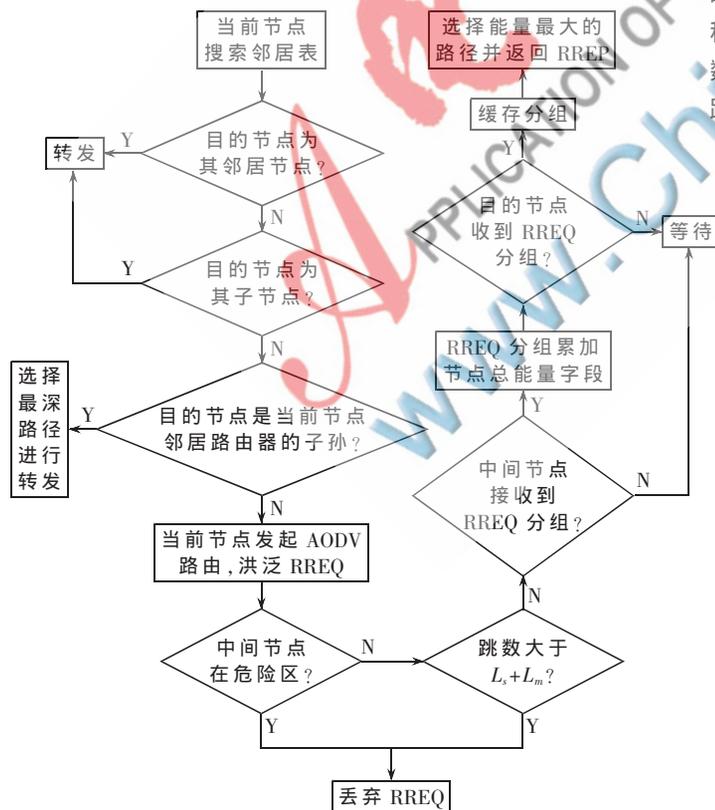


图 1 RN+节点寻路过程

3 改进算法分析及仿真结果

3.1 改进算法分析

本文的算法结合了 AODVjr 算法和 Cluster-Tree 算法的优点,并对它们的缺点进行了改进。RN+利用 Cluster-Tree 算法寻找下跳节点地址,减少了额外开销;同时限制 RREQ 分组的转发范围,保护了位于危险区的节点,避免产生网络“空洞”,而且还能降低能耗;使用目的节点对 RREQ 的缓存机制,均衡了网络的负载,路径相对最佳。

3.2 仿真结果分析

本文基于 NS-2 模拟仿真软件对路由协议进行仿真。NS 是面向对象的,主要用来研究网络方面的问题,能完整地模拟整个网络环境。本次试验的仿真环境和主要参数如表 1 所示。

表 1 NS2 仿真参数

仿真参数	设定值
网络分布面积/m ²	50×50
节点个数	50
节点初始能量/J	1 000
数据包长度/bit	128
数据流类型	CBR (Constants Bit Rate)
C_m	4
R_m	7
L_m	4

图 2 所示为网络运行后改进路由算法与 ZBR 算法的网络整体耗能对比图。由于改进算法在路由发现的过程中有效地控制了 RREQ 分组的洪泛范围,从而减少了数据的额外转发耗能,网络的整体耗能明显小于 ZBR 路由算法。

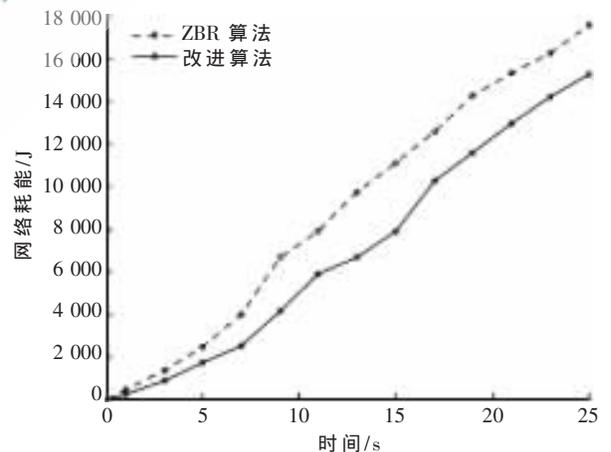


图 2 网络总体耗能对比

图 3 所示为网络运行后改进算法和 ZBR 算法的死亡节点情况的比较。由于避免了 RREQ 分组在危险区的节点的传播,同时还增加了目的节点的缓存机制,仿真结果显示,随着时间的增长,死亡节点出现的时间比 ZBR 算法要晚,而且在相同的时间段内,死亡节点的数量也比 ZBR 算法要低。

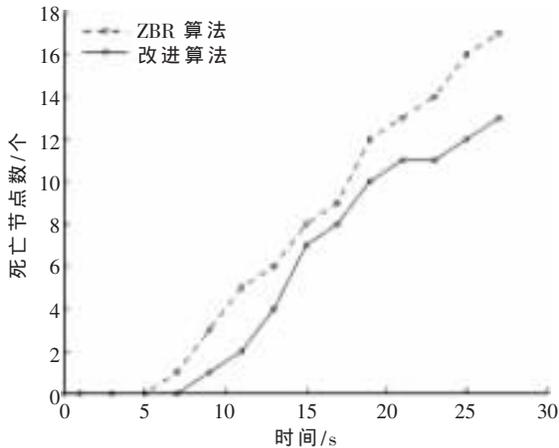


图3 死亡节点数对比

ZigBee 网络作为一种新兴的、高效的无线传感网络,对其路由算法进行深入研究并改进,对于提高网络的利用率、延长网络的生存周期具有重要意义。仿真结果显示改进算法较原算法有比较低的网络整体耗能,并能均衡网络负载,最大程度地延长了网络的生存周期。

参考文献

[1] WHEELER A.Commercial applications of wireless sensor net-works using ZigBee[J].IEEE Communications Magazine,

2007, 45(4): 70-77.

- [2] 高守玮,吴灿阳.ZigBee 技术实践教程[M].北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- [3] Ran Peng, Sen Maoheng, Zou Youmin.ZigBee routing selection strategy based on data services and energy balanced zigbee routing[C].Proceedings of the 2006 IEEE Asia-Pacific Conference on Services Computing, Washington DC, 2006.
- [4] CHAKERES I D, BERNDT K.AODVjr, AODV simplified[J]. Mobile Computing and Communication Review, 2002, 6(3): 100-101.
- [5] 杜焕军,张维勇,刘国田.ZigBee 网络的路由协议研究[J].合肥工业大学学报,2008, 31(10): 1617-1621.
- [6] 贺玲玲.ZigBee 传感网络 Cluster-Tree 改进路由算法研究[J].传感技术学报,2010, 23(9): 1303-1307.
- [7] 邹小武,徐杜,蒋永平,等.ZigBee 网络基础路由分析与改进[J].电脑知识与技术,2009, 5(33): 9242-9245.
- [8] 谢川.基于 ZigBee 的 AODVjr 算法研究[J].计算机工程, 2011, 37(10): 87-89.

(收稿日期:2013-10-30)

作者简介:

窦文博,男,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:物联网技术。