

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.03.012

改进的 ZigBee 路由算法在货运机车 轴温探测系统的应用

孙 晓¹, 刘永彬², 武宇龙¹, 卢祥江¹, 周 浩²

(1. 湖南工业大学 机械工程学院, 湖南 株洲 412007;
2. 湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘 要: 通过对 ZigBee 协议中传统的 Cluster-Tree 算法、AODVjr 算法和 Cluster-Tree+AODVjr 算法进行分析 and 比较, 提出了一种适用于货运机车这一特殊系统的“握手”优化算法。该算法通过 2 个节点间的握手连接来实现数据传输, 不仅能够降低节点的能耗, 而且克服了 ZigBee 技术短距离传输的缺点。

关键词: 路由算法; ZigBee; 货运机车; 握手连接

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)03-0056-04

Application of Improved ZigBee Routing Algorithm in the Axle Temperature Detecting System of Freight Machine

Sun Xiao¹, Liu Yongbin², Wu Yulong¹, Lu Xiangjiang¹, Zhou Hao²

(1. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;
2. School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Through the Analysis and comparison of the traditional Cluster - Tree algorithm, AODVjr algorithm and Cluster-Tree+AODVjr algorithm of the ZigBee protocol, a method of“handshake”optimization algorithm is presented for the special system of freight locomotive. This algorithm realizes the data transmission through the handshake connection between two nodes, and it not only saves the energy consumption of nodes, but also overcomes the disadvantages of ZigBee technology in short distance transmission.

Keywords: routing algorithm; ZigBee; freight locomotive; handshake connection

0 引言

ZigBee 技术是一种新的低功耗、高动态的组网形式, 广泛应用于各行各业, 如货运机车的安全检测。货运机车是我国目前货运的主要工具之一, 它的运输量大, 工作环境恶劣。据统计, 货运机车 80% 以上的故障由车轴磨损引起。现阶段我国铁路货运

机车主要通过 2 种轴温探测装置^[1]来预防此类故障: 一种是直接接触式的车载轴温探测系统, 另一种是非接触式的红外轴温探测系统。目前, 应用于机车的通信网络主要有 TCN 总线网络 (train communication network)、ARCNET 通信网络 (attached resource computer network) 和 CAN 总线网络 (controller area network)。这 3 种网络协议共同的特点就是应用有线

收稿日期: 2014-01-30

基金项目: 湖南工业大学研究生创新基金资助项目 (湖工大研字[2013]2号)

作者简介: 孙 晓 (1972-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学教授, 硕士生导师, 主要从事机电控制与计算机应用技术方面的教学与研究, E-mail: sxbug@163.com

传输,适用于客运机车。而货运机车的车厢无人值守,且车厢频繁编组,缺乏长效记录数据资料,不能达到对车轴温度进行实时监测的目的,因此,以上几种网络协议不适用于货运列车,在线轴温监测系统应用于货运列车受到限制。选用一种合适的通讯手段来实现货运机车的在线轴温监测,成为了一个重要的研究课题。

ZigBee 技术为货运机车的轴温监测系统提供了技术支持。它是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通讯技术,主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输,还可实现周期性、间歇性和低反应时间的数据传输。本课题组利用车厢节点的路由转发功能,将传感器采集到的温度值发送到路由器节点,路由器节点再将数据以无线通信的方式发送到协调器节点^[2-3],协调器节点将收到的数据汇总打包,通过串口实时将数据送回主控中心,并通过专家系统对机车故障进行预测与报警。显然,这样的网络架构能适合货运机车的需求,但由于车厢无电力供应设备,ZigBee 模块需要靠自身电池供电,因此,节能问题在此显得尤为重要。要实现节约能耗,目前只有 2 种方法:采用低能耗元器件和改进路由算法。本文采用改进路由算法来降低货运机车轴温探测系统中的节点能耗。

1 ZigBee 的路由算法分析

ZigBee 技术支持 Cluster-Tree、AODVjr、Cluster-Tree+AODVjr 等路由算法^[4]。对于每一种特定的应用来说,每种算法都有其优点,也有不足之处。通过对 ZigBee 传统路由算法和列车的“一字长蛇”系统的研究发现,传统的路由算法已经不适用于这一新型系统。因此,本课题组改进了 ZigBee 的路由算法,提出“分组-握手”路由算法,该算法能达到节约能耗的目的。

1.1 Cluster-Tree 算法

在 Cluster-Tree 算法^[5-6]中,节点直接通过数据包中的目的节点信息来计算下一条的地址,而不需要路由发现过程进行路由。假设一个路由节点的地址为 A ,深度为 d ,如果判断目的地址为 D 的节点是否为 A 节点的子节点,需满足下列不等式

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

式中, $C_{\text{skip}}(d-1)$ 表示 $d-1$ 深度的父节点为其子节点分配的地址偏移量。

如果目的节点是 A 节点的子节点,则下一跳节

点地址为 $N=D$; 如果目的节点不是 A 节点的子节点,则下一跳节点为 A 节点的父节点,其地址为

$$N = A + 1 + \left\lceil \frac{D - (A + 1)}{C_{\text{skip}}(d)} \right\rceil * C_{\text{skip}}(d)。$$

这种算法适应于节点数量不多的网络。对于列车这种节点数量庞大的“一字蛇形”结构(i_1, i_2, \dots, i_n)来说,车厢 i_m 为车厢 i_{m-1} 的父节点,即车厢 i_m 节点收到数据包后,都要转发给其子节点车厢 i_{m-1} ,直至传送到机车的上位机监控平台。这样网络延迟时间长,且越靠近车头的节点所要转发的数据量越大,它的能量消耗也越快,导致其能量提前耗尽而脱离网络,破坏了整个网络的信息传输。因此,对于货运机车而言,Cluster-Tree 算法不是最优算法。

1.2 AODVjr 算法

AODVjr 算法是对 AODV 算法的改进^[5]。当源节点要寻找到达目的节点的路径时,先向其邻居节点组播 RREQ (route request) 分组。收到该分组的邻居节点若具备路由能力,则建立指向源节点的反向路由回复,同时继续向自己的邻居节点组播该 RREQ 分组;若不具备路由能力,则通过 Cluster-Tree 路由算法将该分组交由其子孙节点或父节点进行转发。当目的节点接收到此 RREQ 分组后,通过单播方式向源节点回复 RREP (route reply) 分组。同时,所有接收到此 RREP 分组的节点都将更新自己的邻居表记录,路由建立成功。

AODVjr 算法在路由发现过程中,会产生 RREQ 分组泛洪问题。由于节点产生了多余的 RREQ 分组,使其自身能量被大量消耗,进而耗尽自身能量造成网络分割,缩短网络寿命,这也是 AODVjr 路由算法的短板。

1.3 Cluster-Tree+AODVjr 算法

Cluster-Tree+AODVjr 算法的网络节点可分为 4 类:协调器节点、RN+、RN- 和 RFD (full function device)。其中,RN+ 有足够的存储空间和能力进行 AODVjr 算法协议,而 RN- 则由于存储空间受限不能进行 AODVjr 算法协议。除 RFD 外,另外 3 种节点都具备路由功能。在通信时,如果目的节点不是邻居节点,RN+ 就会启动 AODVjr 算法协议,主动查找到达目的节点的最佳路径;相反,RN- 节点就会通过 Cluster-Tree 路由算法来寻找下一跳的节点并通过自身的计算能力做出判断,并将消息转发给父节点或者其中一个子节点。

因此,Cluster-Tree+AODVjr 算法有 Cluster-Tree 算法和 AODVjr 算法的优点。故本文采用 Cluster-

Tree+AODVjr 算法并加以改进。

2 路由算法改进

为了节约能耗，本文采用跳跃式传输模式。此模式既有 Cluster-Tree 路由算法父子节点的关系，也有 AODVjr 路由算法寻找最优路径的特点。由于列车车厢之间的距离较远而 ZigBee 是短距离传输，因此，同一分组内的 2 个相邻节点之间不能进行数据传输。基于上述原因，本文对 Cluster-Tree+AODVjr 算法进行改进，即“握手”连接算法。每一个编组中相邻的 2 节车厢节点的距离超出了 ZigBee 的通信范围而无法直接通信，因此，可以使这 2 个相邻的节点同时发送寻找对方地址的请求，一旦 2 个请求相遇便握手成功，进而进行数据传递。车厢节点的编号分组情况如图 1 所示。

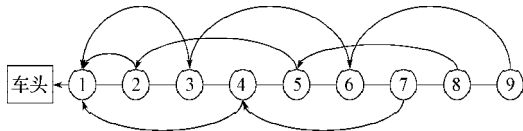


图1 网络节点传输地址分配图

Fig. 1 The address distribution diagram of network node transmission

车厢节点分为 3 组，一组为 1, 4, 7，另一组为 2, 5, 8，最后一组为 3, 6, 9。当所有车厢节点加入网络，即网络形成后，每个节点会根据自己的分组状态寻找到本组中前后 2 节点的地址并进行存储，为以后的数据传输做好准备。这样不但可以节约 Cluster-Tree 算法中的靠近中心协调器节点的能量，还能弥补传输距离短这一缺陷。除此之外，对网络中各个车厢节点采用了能量控制机制，即对每一个车厢节点都定义了一个最小路由能量 E_{min} 和总能量 E 。当节点的能量达到 E_{min} 这个极限时，此路由节点便不再发起握手连接而退出分组，进而改为直接将它的信息按照 Cluster-Tree 算法发送给它的父节点，从而尽量保证数据采集的完整性。在整个网络中，距离中心协调器越近的节点所要转发的数据量越大，因此其能量消耗也会越快，故节点的能量控制 E_{min} 应与节点深度成反比，即距离中心协调器越远的节点 E_{min} 值越小。

$$E_{min} = E_{l_{min}} + \frac{\lambda}{d+1}, \quad (1)$$

式中： $E_{l_{min}}$ 为节点正常工作时所需的最小能量； λ 为控制系数，可根据需要控制 E_{min} 的大小； d 为节点深度。

$$E_{l_{min}} = \frac{1}{t} \sqrt{E} \frac{1}{d_i+1} \alpha, \quad (2)$$

式中： t 为网络运行时间；

d_i 为深度为 i 的节点；

α 为唯一特定系数，目的是减缓 $E_{l_{min}}$ 的衰减速度。

当节点能量介于 E_{min} 和 $E_{l_{min}}$ 之间时，节点将按照 Cluster-Tree 路由算法进行数据传输；当能量低于 $E_{l_{min}}$ 时，节点停止工作，自动退出网络。此时，节点的能耗为

$$E - E_{l_{min}} = y\beta n + \gamma, \quad (3)$$

式中： y 为每个节点发送的数据包个数；

β 为发送或接收每个数据包消耗的能量；

n 为此节点后面所有节点的总个数；

γ 为此节点本身消耗的能量。

本文的中心协调器（位于 1 号车厢节点）采用有源供电，以确保稳定供电。

算法流程如图 2 所示。

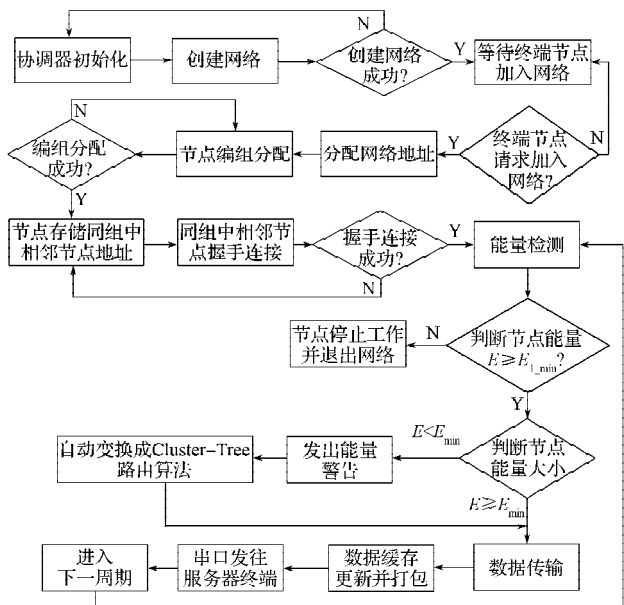


图2 算法流程图

Fig. 2 Algorithm flow chart

3 仿真结果分析

为了比较改进后的算法与传统算法的性能，利用 NS2 (network simulator version 2) 作为试验仿真平台。在相同的仿真环境下，对 3 种算法进行仿真分析，算法仿真结果如图 3~4 所示。

由图 3 可以看出，在前 200 s 内 3 种算法都没有死亡节点的出现。但是，在 270 s 左右时，Cluster-Tree 算法出现了第一个死亡节点，在 290 s 左右时，AODVjr 算法也第一次出现了死亡节点，随着时间的推移，死亡节点数量迅速上升；改进后的算法在 320 s 左右才第一次出现了死亡节点，并且随时间推移，死亡节点

数量的上升速率明显要比其他算法小,且算法运行到 600 s 时,本算法的死亡节点数量明显少于另外 2 种算法。从整条曲线来看,无论是在同一时刻还是最终时刻,改进后的算法都要优于其他算法。由此可以得出,改进后的算法能够更长时间支持网络的运行。

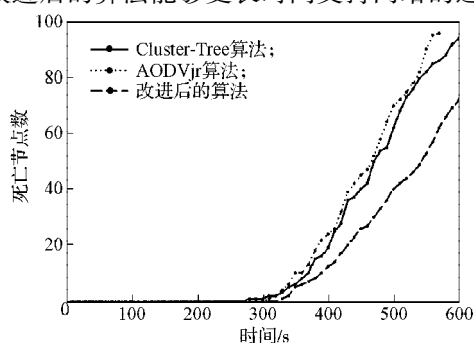


图3 算法死亡节点数的仿真

Fig. 3 The simulation on dead node numbers of algorithm

由图 4 可以看出,随着网络运行时间的增长,3 种算法的每个节点的平均能耗都在不断增加。在 300 s 以前,没有节点死亡,因此,节点的平均能耗增加较为迅速;300 s 以后尤其是超过 400 s 后的一段时间内,由于死亡节点数量的增加,3 条能耗曲线都变得更加平滑。整体来说,在整个网络的运行中,改进后的算法的能量消耗是最少的。

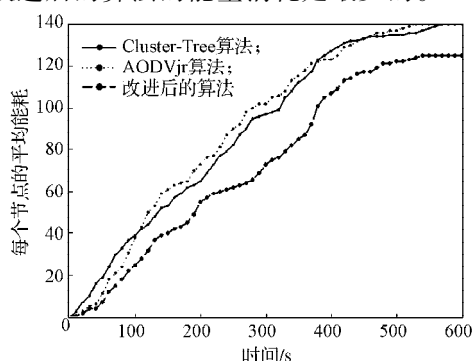


图4 每个节点平均能耗的仿真

Fig. 4 The simulation on each node average energy consumption

4 结语

本文根据货运机车轴温检测的需求,对 ZigBee 技术进行了研究。针对此应用的突出问题即能耗问题,对路由算法进行了改进,达到节约能量的目的,

同时还解决了 ZigBee 技术传输距离短等问题。仿真试验表明,改进后的算法能够降低节点能量的损耗,延长网络的生存周期。因此,该算法适合应用于货运机车这种“一字长蛇”型车轴温探测系统中。

参考文献:

- [1] 张宏林,郭佑民,邱海波,等.基于 ZigBee 的货运列车轴温探测系统设计与实现[J].铁路计算机应用,2009,18(3): 11-12.
Zhang Honglin, Guo Youmin, Qiu Haibo, et al. Design and Implementation of Hot Box Detection System for Freight Train Based on ZigBee[J]. Railway Computer Application, 2009, 18(3): 11-12.
- [2] 李晓卉,方康玲,张亮.基于 ZigBee 的室内气体污染监测系统设计与实现[J].湖南工业大学学报,2008,22(5): 105-108.
Li Xiaohui, Fang Kangling, Zhang Liang. Design of Monitoring System for Gaseous Contamination Indoors Based on ZigBee[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(5): 105-108.
- [3] 陈旭,方康玲,李晓卉.基于 CC2430 的 ZigBee 数据采集系统设计[J].湖南工业大学学报,2008,22(6): 59-61.
Chen Xu, Fang Kangling, Li Xiaohui. Design of Data Acquisition System for ZigBee Based on Chip CC2430[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2008, 22(6): 59-61.
- [4] 郭瑞星,王庆生. ZigBee 路由算法的研究与改进[J]. 电脑开发与应用, 2011, 24(5): 32-33.
Guo Ruixing, Wang Qingsheng. Research and Improvement of ZigBee Routing Algorithm[J]. Development and Application of Computer, 2011, 24(5): 32-33.
- [5] 周武斌,罗大庸. ZigBee 路由协议的研究[J]. 计算机工程与科学, 2009, 31(6): 12-14.
Zhou Wubin, Luo Dayong. Research on ZigBee Routing Protocol[J]. Computer Engineering and Science, 2009, 31(6): 12-14.
- [6] 徐艳,王茜,武剑. ZigBee 路由协议优化仿真研究[J]. 计算机仿真, 2013, 30(6): 292-295.
Xu Yan, Wang Qian, Wu Jian. Simulation and Optimization of ZigBee Routing Protocol[J]. Computer Simulation, 2013, 30(6): 292-295.

(责任编辑:邓彬)

