

光纤无线传感网的节能路由算法分析

王春丽^{1,2*}, 王全宇¹, 王敏翔¹, 韩根亮³, 鲁怀伟⁴

(1. 兰州交通大学 电子与信息工程学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省集成电路工程研究中心, 兰州 730070; 3. 甘肃省传感器与传感技术重点实验室, 兰州 730070; 4. 兰州交通大学 数学与物理学院, 兰州 730070)

摘要: 分布式铁路光纤传感网受光器件、光纤连接损耗及封闭式传输架构限制, 检测点数少, 不易于与其它网络融合。而基于物联网技术的光纤无线传感网络可实现大规模、可扩充的现代分布式铁路光纤无线传感网络。为降低光纤无线传感网中传感器节点能耗, 研究了传统的低功耗自适应分簇 (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy, LEACH) 路由算法, 针对该算法引起的“能量空洞”与“网络热点”问题, 基于二重异构网络, 进行了路由算法的改进研究。实验结果表明, 改进的路由算法能显著降低传感器节点能耗, 延长其使用寿命。

关键词: 光纤无线传感网; 节点能耗; 能量空洞; 路由算法

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A 文章编号: 1002-5561(2018)05-0029-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.05.008

Routing algorithm analysis of energy conservation for optical fiber wireless sensor networks

WANG Chunli^{1*,2}, WANG Quanyu¹, WANG Minxiang¹, HAN Genliang³, LU Huaiwei⁴

(1. Department of Electrical and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China; 2. IC Engineering Research Center of Gansu Province, Lanzhou 730070, China; 3. Key Laboratory of Sensor and Sensing Technology, Lanzhou 730070, China; 4. Department of Mathematics and Physics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The distributed optical fiber sensor network was difficult to integrate with other networks for its own limits of optical devices, connection-loss of optical fibers, closed transmission structures and fewer detected points, however, a large scaled and extensible modern distributed optical fiber wireless sensor network for railways can be realized by applying the internet of things technology. The traditional LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) routing algorithm was studied to reduce the energy consumption of sensor nodes in this network, in light of its insufficiencies of “energy holes” and “hot spots of network”, an optimized simulation experiment was carried out based on the double heterogeneous network, proving that the energy consumption of sensor nodes reduced obviously and the service time prolonged.

Key words: optical fiber wireless sensor network; energy consumption of node; energy holes; routing algorithm

0 引言

分布式铁路光纤传感网受到光源带宽与能量、光

收稿日期: 2018-03-01。

基金项目: 国家自然科学基金(61461024, 61366006)资助; 兰州交通大学青年基金(2014003)资助; 兰州交通大学研究生教改项目(基于《现代电子技术》课程的研究生创新实验能力培养与实践)资助。

作者简介: 王春丽(1981-), 女, 在读博士, 讲师, 研究方向为光纤传感网络、无线传感技术。

纤连接损耗等因素制约, 可监测点最多只有几十个, 传感器之间以光纤相连, 信息只能通过光纤传输, 无法与其它网络进行高效的信息交换。而铁路物联网提出的传感网络兼容、功能易于扩充及数据便于融合的要求, 仅依靠光纤固有的复用技术, 难以组建大规模、分布式和可扩充的传感网络。近年来, 科研人员在现有光纤传感网中融合了无线传感技术, 对铁路沿线特

殊环境中列车运行、基础设施状态实时监测和预警展开了研究。2009年,陈艳华研究了用于高速铁路测速、定位的传感器系统,证明多种传感器融合的方法适用于铁路定位^[1]。2013年,南宁铁路局应用无线传感网络技术对铁路通信塔进行监控研究^[2]。研究表明,铁路光纤无线传感网具有良好的自组织与可扩展性、适应性强、易于灵活部署、低成本和智能化等特征,顺应了时代与行业发展的需求。

本文将光纤光栅传感技术、波长解调技术和无线通信技术相结合进行组网设计,利用光纤与无线传感器协作完成数据检测、分析、传输和决策等功能。通过改进网络传输路由算法降低传感器节点能耗,延长节点使用周期,提高数据传输可靠性,保障铁路安全运行。

1 铁路光纤无线传感网设计

1.1 铁路光纤无线传感网组网设计

铁路光纤无线传感网结构如图1所示,光纤传感器通过无线发送模块将各节点采集到的数据发送到监控中心,由监控中心的计算机对这些数据进行分析处理,进而提供预警等信息,此网络分为两层结构: ZigBee 无线传感器网络层和 GPRS 远程通信网络层。在 ZigBee 网络层,路由器节点布置在铁路沿线,通过自组织网络和多跳通信的方式,实现小范围内光纤传感器数据的汇集和路由转发。协调器节点固定外接电源,实现较大范围的数据汇集、网络维护并充当公网与专网间的 GPRS 网关。GPRS 网络层将 ZigBee 网络层的数据传送到监控中心,完成信令交互。

光纤无线传感器实现信息感测(包括光源和传感光路)、数据采集分析、无线通信和供电4大功能,本文采用 STMicroelectronics 生产的基于 ARM 架构的单片机 STM32F103C 作为微处理器,实现光纤传感器与无线芯片之间的配置、控制、数据传输及协议解析等功能。无线传感器节点的供电模块设计对节点的寿命和通信能力具有非常重要的意义。

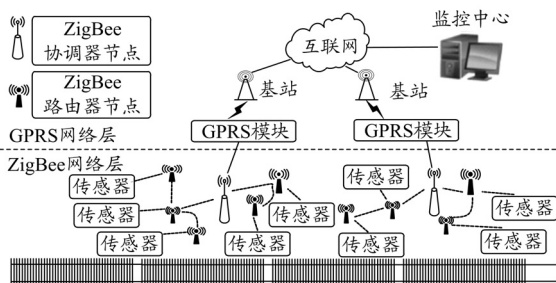


图1 铁路光纤无线传感网结构图

1.2 铁路光纤无线传感网节点能耗分析

在无线传感器节点中有3个模块需供电:光源、解调系统和无线通信模块。无论是宽带光源还是DFB激光器,光源对供电的稳定性要求都比较高。节点能耗越低,系统工作性能越稳定。文献[3,4]采用的方法是:任意一个传感器节点只在被簇头寻址时,启动可调谐DFB激光器并运行数据采集、处理、运算、传输等程序;未被寻址时将上述功能关闭,同时利用无线芯片的WOR功能,在无通信请求时将通信模块设置为低功耗休眠状态,只保留无线收发机的定时接收和查询功能;簇头的收发机总是处于无线信号发送和接收状态,从而对其管辖范围内的节点进行逐一寻址,完成数据的接收、融合及通过路由传送到远程基站的任务^[3]。簇头的功耗明显高于普通传感器节点,一旦其能量耗尽就无法实现簇头的功能。

2 低功耗自适应分簇(LEACH)路由算法仿真

为解决上述功耗以及无线传感器网络大跨度组网、传感器动态自适应和有限传输距离等问题,本文首先采用传统的 LEACH 路由算法平衡节点能耗,使任一节点等概率成为簇头^[6-8]。LEACH 算法的轮询流程如图2所示。在簇头选举阶段,每个节点在0~1选择一个随机数,如果该数值小于门限值 $T(n)$,当选簇头。

门限值 $T(n)$ 的计算如式(1):

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P(r \times \text{mod} \frac{1}{P})}, & n \in G \\ 0, & n \notin G \end{cases} \quad (1)$$

其中, P 为网络初始化时原始无线传感网络中簇头节点在总节点数中的占比或簇头自举概率; r 为非簇头的轮数; G 是前 $1/P$ 轮中非簇头节点的集合,非该集合中的簇头门限值置0,不再参与自举。因此,随着轮数增加,非簇头节点成为簇头的概率增加,使得每个节点都有机会当选为簇头,均衡网络能耗^[9]。

根据上述 LEACH 路由算法进行 Matlab 仿真,结果如图3所示,横坐标表示节点自举概率 P 的百分占比,纵坐标表示对应节点能量门限值 $T(n)$ 的百分占比。

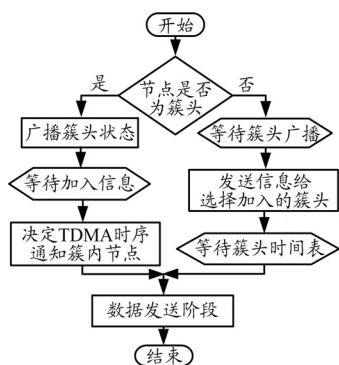


图2 LEACH 算法的轮询过程

比值,“*”表示在不同能量节点处选举出来的簇头节点,“○”表示具有不同低能量值的非簇头节点,“x”表示能量汇聚节点。

图3中的路由算法采用了分簇的分层设计思想,以动态、轮询和等概方法选举簇头,簇头节点对汇集到的所有数据进行融合处理,避免单个节点的负担过重,使整个数据量得以减少,所消耗的能量降低,达到高效节能的目的,延长了传感器节点的网络使用周期。但是,上述路由算法也存在一定的不足:

①在选取簇头时没有考虑节点的剩余能量,当节点剩余能量少时依然有机会成为簇头,这样加速了节点的死亡。

②簇头直接将数据转发至基站,能耗低,而距基站较远的节点,需将数据先转至簇头,增加了自身能量消耗,缩短了存活时间,在网络中产生“能量空洞”问题^[10]。

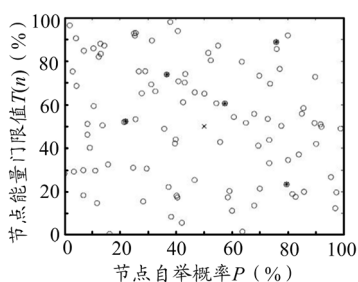


图3 簇头自举算法仿真图

③P值的最佳值难以确定,而P值的选取却会对簇头的数量产生影响。P值的确定一般与网络规模、节点数目和基站位置有关。

④由于门限值 $T(n)$ 对应能耗不稳定,能量较高节点易于自举为簇头,数据传输量加大,形成网络中的“热点”,加速了其能量衰耗,缩短数据在网络中的存活周期。

⑤簇内节点一般选取离自己近的簇头并加入该簇,比较容易出现极大簇和极小簇的情况。

⑥簇头节点直接把数据发送给汇聚节点,增加了簇头节点的负担。

3 LEACH 路由算法优化及仿真实验

LEACH是首个分簇路由协议算法,对分簇路由的发展具有里程碑意义,但LEACH路由算法在簇头的选取、非簇头节点的入簇方式及簇间路由等方面存在一定不足^[11],需要对LEACH协议进行改进。本文在某轮寻址结束以后,针对节点初始能量不同,采用异构网络SEP算法,将该区域的节点结构进行重组,动态分簇,重新选举簇头。这种重组和轮询机制有效降低了传感器网络节点的能耗,同时保证各节点能耗的均衡化,很大程度上延长了网络的使用寿命。

3.1 路由优化算法

传感网络中包括普通低能量节点和高能量节点,传统LEACH算法采用等概方式,会使低能量节点自举为簇头,使节点过早死亡,网络使用周期缩短,因此选择簇头时,应选择能量高的节点作为簇头^[12]。在簇头产生阶段,每个节点在0~1选择一个随机数,如果随机数小于门限值,节点被自举为簇头。式(2)是普通低能量节点的门限值,式(3)是高能量节点的门限值。

$$T(S_{nrm}) = \begin{cases} \frac{P_{nrm}}{1 - P_{nrm} \left(r \times \text{mod} \frac{1}{P_{nrm}} \right)}, S_{nrm} \in G_1 \\ 0, S_{nrm} \notin G_1 \end{cases} \quad (2)$$

$$T(S_{adv}) = \begin{cases} \frac{P_{adv}}{1 - P_{adv} \left(r \times \text{mod} \frac{1}{P_{adv}} \right)}, S_{adv} \in G_2 \\ 0, S_{adv} \notin G_2 \end{cases} \quad (3)$$

式(2)是普通低能量节点的门限值,该节点成为簇头节点的概率是 $P_{nrm} = \frac{P_{opt}}{1 + a \times m}$ 。式(3)是高能量节点

的门限值, $P_{adv} = \frac{P_{opt}(1+a)}{1+a \times m}$ 为高能量节点成为簇头节点的概率, P_{opt} 为整个网络簇头节点的概率。 r 为当前轮询次数,前 $1/P$ 轮中, G_1 是普通节点未自举为簇头节点的集合, G_2 是高能量节点未自举为簇头节点的集合。 m 为网络中高能量节点的占比, a 为高能量节点高于正常节点能量比例值^[13]。

3.2 路由优化算法建模

首先选取一个传感节点能量传输模型,传感网中射频通信和数据处理是主要的能耗点,若要发送Kbits数据,每bit数据所需能耗为 E_{elec} ,两传感节点间距离为 d ,自由空间的传播系数为 E_{fs} ,多径衰落的传播系数为 E_{mp} 。节点接收Kbits信息时的总能耗 E_{rx} 可表示为:

$$E_{rx} = K \times E_{elec} \quad (4)$$

在传输距离 $d_0 = \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}}$ 范围内,即 $d \leq d_0$ 时,采用

自由空间模型; $d > d_0$ 时,采用多径衰减模型。某节点传输数据Kbits,传输距离为 d 时,其耗能 E_{rx} 为:

$$E_{rx} = \begin{cases} K \times E_{elec} + K \times E_{fs} + d^2, d \leq d_0 \\ K \times E_{elec} + K \times E_{mp} + d^4, d > d_0 \end{cases} \quad (5)$$

4 算法仿真结果分析

采用改进的路由算法后,经过500、1500轮循环

选取,各传感节点的能量状态如图4、图5所示。图中横坐标表示节点自举概率 P 的百分占比值,纵坐标表示对应节点能量门限值 $T(n)$ 的百分占比值,“+”表示具有不同高能量值节点,“○”表示具有不同低能量值的节点,“x”表示能量汇聚节点,“*”表示在不同能量节点处选举出来的簇头节点。经过1500次轮询后,各节点存活状态、能量分布如图6、图7所示。图5中“.”表示已经死亡的节点,循环的轮数越多,死亡的节点也越多,经过多次循环选簇,节点的剩余能量也接近为0(簇头、高、低能量节点个数急剧减少),需要重构分簇,重新选举簇头,保证数据无中断转发。

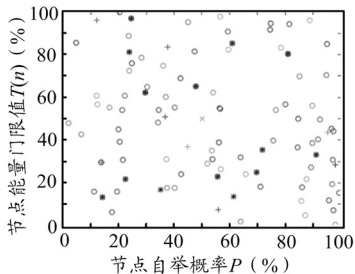


图4 500次轮询后各节点状态图

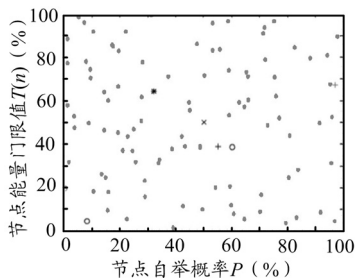


图5 1500次轮询后各节点状态图

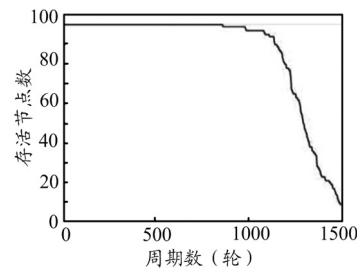


图6 1500次轮询后节点存活状态

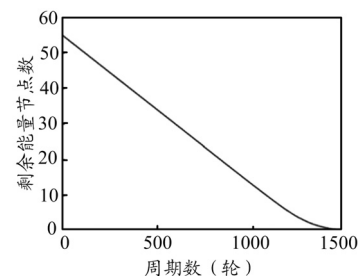


图7 1500次轮询后节点剩余能量

仿真结果表明,采用不等概方式选举簇头节点后,高能量节点区域自举为簇头的概率大于低能量节点区域,如图4、图5所示,而且每轮循环后高能量节点和低能量节点也会发生变化,如图6、图7所示。改进算法通过重构高低能量分簇区域,在新的能量区域中选举新的高能量簇头,使得整个传感网络保持均衡能耗分布;通过高能量簇头转发信息延长传感网络工作周期,使得通信不易中断,提高数据传输可靠性。

5 结束语

分布式铁路光纤无线传感网可实现特殊环境下有线与无线传输的有效互补。由于无线节点设备所处环境复杂,仅能通过电池供电,为确保该传感网络的

使用周期及数据的无中断高效传输,本文通过对比分析、优化选取无线路由算法,重点研究了无线节点节能方法。仿真实验表明,无线传感网络中采用传统路由算法进行节点能量轮循询过程中,整个网络自组织形成一个个簇,每个簇采用等概方式选出各自簇头,簇头汇聚本区域各节点数据,并对这些数据进行融合处理、转发,因此簇头能耗远远大于普通节点,且自举的低能量簇头存活周期短,易导致数据传输中断,降低传感网络可靠性、缩短其使用寿命;而采用改进的基于异构网络的路由算法中,先将网络中的节点设备根据其初始能量的大小分为高能量和低能量节点,采用不等概方式,选用高能量节点充当簇头,避免簇头节点的过早死亡,每次轮询后重新组建簇结构,重新选举高能量节点为簇头,不仅动态均衡了整个网络的能量消耗,而且延长了网络使用寿命,提高了数据传输有效性和可靠性。该算法可应用于大跨度组网的铁路光纤无线传感网中的低能耗路由选取,用以延长无线传感节点使用寿命,降低网络的运行维护成本,提高网络传输质量。

参考文献:

- [1] 陈艳华. 传感器在高速铁路中的应用研究[J]. 电子设计工程, 2009, 17(10): 34-35.
- [2] 伍毅珊. 南宁铁路局道口安全防护装置及应用[J]. 铁道运营技术, 2013(6): 4-6, 10.
- [3] 徐世武, 王平. 无线传感网络中的 LEACH 算法分析与设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011(6): 1-4.
- [4] 徐世武, 王平, 施文灶, 等. 无线传感器网络分簇路由协议综述[J]. 网络新媒体技术, 2013, 2(5): 1-8.
- [5] 曹建玲, 余俊, 王路路, 等. 一种能量高效的无线传感器网络分簇路由协议[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2014, 26(2): 150-154.
- [6] 秦媛媛. 面向生物实验室安全应用的无线传感器网络路由协议的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012, 23-25.
- [7] 冯成旭, 刘忠, 罗亚松. 分簇传感网络中最佳簇数的研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2013(10): 49-53.
- [8] 叶润. Zigbee 节点设计与能量均衡分簇调度算法的研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013, 24-26.
- [9] 沙妮妮. 基于能量优化的水下无线传感器网络的路由选择研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014, 11-12.
- [10] 周毅. 无线传感网络中混合纠错技术的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2014, 78-83.
- [11] 刘金鑫. 无线传感网络信任评估模型与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2015, 81-88.
- [12] 王悦. 基于压缩感知的无线传感网络路由算法研究与实现[D]. 南京: 南京邮电大学, 2014: 70-75.
- [13] 徐跃州, 张欣. 基于 LEACH 协议的兄弟节点算法 --LEACH-BN[J]. 通信技术, 2014, 47(7): 770-774.