

# 工业监控中无线传感器网络路由算法的研究

周 瑜<sup>1</sup>, 李 明<sup>2</sup>, 郁 磊<sup>2</sup>

(1. 江苏科技大学, 江苏 张家港 215600;

2. 中国矿业大学 信电学院, 江苏 徐州 221008)

**摘 要:**根据工业无线传感器网络对实时性、稳定性和可靠性的要求,对目前广泛应用的 LEACH 路由协议进行改进,提出一种基于 Dijkstra 的最短路径路由算法,具有较好的可扩展性并且容易实现。算法改变了 LEACH 协议的随机簇首选择机制,选用能量高、处理能力强的异构节点作为固定的簇首节点;另外,本算法将 LEACH 协议中的簇首节点与汇聚节点直接通信改进成多跳传输,多跳传输的最短路径由 Dijkstra 算法获取。仿真表明,根据该算法,源节点和汇聚节点间的传输时延能够满足工业应用的要求。

**关键词:**无线传感器网络;工业监控;路由算法

**中图分类号:**TP393

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)11-0185-04

## Research on Routing Algorithm of WSN in Industrial Control

ZHOU Yu<sup>1</sup>, LI Ming<sup>2</sup>, YU Lei<sup>2</sup>

(1. Jiangsu University of Science and Technology, Zhangjiagang 215600, China;

2. School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** According to the requirements of industrial wireless sensor networks in real-time, stability and reliability, a novel shortest path routing algorithm based on Dijkstra is proposed by improving the LEACH protocol. It is good to expand and easy to implement. In this new protocol, the heterogeneous nodes with high energy and good ability to deal with are chose as cluster heads, while the cluster heads are selected randomly without considering energy and distance information in LEACH. In addition, in this new protocol, direct communication between the cluster heads and the sink node is replaced by multi-hop transmission whose path to be obtained by the Dijkstra algorithm. Simulation shows that, according to the algorithm, the transmission delay between the source node and the sink node can meet the requirements of industrial applications.

**Key words:** WSN; industrial monitoring; routing algorithm

## 0 引 言

无线传感器网络是一种新的智能网络,它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、通信技术、分布式信息处理技术、微电子制造技术和软件编程技术等,可以实时地监测、感知和采集网络监控区域内的各种环境和监测对象的信息,并对收集到的信息进行处理后发送给终端用户<sup>[1]</sup>。

目前无线传感器网络技术被越来越多的人关注,并逐步应用于各行各业<sup>[2]</sup>。在无线通信日益普及的今天,一种好的无线监测方式对工业监控无疑是如虎添翼。在工业监控中尝试使用无线传感器网络技术来监

测各种状态参量,以弥补总线监测的不足。

其中,路由协议是无线传感器网络的关键技术之一,它负责将数据包从源节点通过网络转发到目的节点,主要包括两个方面的功能:寻找源节点和目的节点间的优化路径,将数据包沿着优化路径正确转发<sup>[3]</sup>。

与传统的无线传感器网络应用相比,复杂的工业监控环境,给无线传感器网络路由协议的设计提出了以下问题与挑战:

(1) 工业设备分布复杂,必须根据现场环境,合理地布置节点和基站,提供可靠的通信。

(2) 绝大部分传感器节点必须安装在固定的相关设备上<sup>[4]</sup>,强调对指定点的监测。被监测设备位置相对固定,设备之间会间隔一定的距离,这个距离有时比较近,有时会比较远,这给工业监控无线传感器网络的连通性带来了一定的问题。

(3) 在工业领域中的数据要求快速、可靠地进行

收稿日期:2011-05-14;修回日期:2011-08-20

作者简介:周 瑜(1984-),女,江苏张家港人,助理实验师,研究方向为无线传感器网络;李 明,教授,硕士研究生导师,研究方向为智能控制。

传输。但是工业环境复杂多变,设备通常置于很恶劣的电磁环境中,干扰严重,必须保证可靠通信。

(4)数据发送采用主动方式,每隔固定的时间,传感器节点自动采集数据并发送,通过周期性地采集数据,来实现对工厂设备的监控。

根据工业现场的实际环境,文中对现有的 LEACH 协议进行改进,提出一种基于 Dijkstra 的最短路径路由算法,适用于工业应用。

## 1 LEACH 协议缺陷及其改进

随着无线传感器网络的发展,对无线传感器网络路由协议的研究也越来越广泛,众多研究的 WSN 路由协议中,以 LEACH<sup>[5-7]</sup>最为典型。

LEACH 协议通过簇首的随机轮循,把网络能耗均匀分布于传感器节点间。该方法简单可行,易于实现,但 LEACH 协议也存在一些缺陷,使得它不能完全适合工业监控的需求。

主要表现在以下几个方面:

(1)在工业监控中,绝大部分传感器节点必须安装在固定的相关设备上,某些部位不容易提供电源,LEACH 协议让这些节点等概率地担当簇首节点,无法考虑这些节点的剩余能量,会使这些节点很快失效。

(2)工业环境下,一般都是中型或者大型的设备,且分散部署,这一特点,导致了工业监控中传感器网络节点按区域不均匀分布,LEACH 协议中,簇首节点随机产生的方式就变得不现实,它无法考虑簇首节点的地理位置,从而使得远离汇聚节点的簇首节点消耗过多的能量。

(3)LEACH 协议中,所有簇首节点直接向汇聚节点发送数据,由于簇首节点随机产生,分布不均,使用单跳传输,会使得簇首节点的通信开销相当的大,远离基站的部分节点可能提前死去<sup>[8]</sup>。

(4)LEACH 协议假设节点是同构的且总有数据需要发送,这与实际情况并不相符。设备信息采集有两种,一种是主动地持续监测周围环境,并以恒定的速率发送监测数据;另一种是监测设备参数信息。工厂运转时,不是每台设备都工作,因此,也不是每个节点总有数据发送。

(5)当设备参数信息发生异常等现象时,需要迅速及时地汇报到监控中心,及时采取相应措施,由此需要在路由过程中减少传输延迟,这对网络的数据传输提出了实时性要求。也就是说,在路由转发过程中既要保证能耗的均衡,又要保障传输的实时性。

文中根据应用中存在的以上问题,以工业现场实际应用为宗旨,来研究无线传感器网络路由算法,对广泛应用的 LEACH 协议进行了两点改进:

1)改变了簇首产生机制,使簇首的质量更高、更可靠。

选用异构节点<sup>[8]</sup>作为固定的簇首节点。只要将异构节点部署在方便获取电源的地点,簇首节点的能量将不受限制。另外,异构节点的处理能力较普通的节点强得多,使得簇首节点可以更好地完成数据融合和数据转发功能。

2)在簇首向基站发送数据时,引入基于 Dijkstra 的多跳路由。

将 LEACH 协议中的簇首节点与汇聚节点直接通信改进成多跳传输,多跳传输的最短路径由 Dijkstra 算法获取。下面将详细叙述基于 Dijkstra 的最短路径路由算法。

## 2 基于 Dijkstra 的最短路径路由算法

### 2.1 问题和模型定义

无线传感器网络中数据流是一个多源单汇路由问题,即多个无线传感器节点把自己感知的数据通过无线网络传输到汇聚节点。可以将无线传感器网络路由问题归结为:寻找一条将数据从源节点传送到汇聚节点的路径,这条路径上的节点,在接收和传送数据时所花费的能耗最小,并且满足系统的时延要求。

为了建立无线传感器网络中一个簇的模型,假设传感器节点、路由节点以及汇聚节点通过一个全方向的无线链路相连,基于各个节点不同的能量水平,各个方向上,链路有不同的损耗。两个节点间链路损耗就是链路传输过程损耗的总和。对于每个传感器节点来说,路由算法就是要找到一条从传感器节点到汇聚节点的最低损耗路径。这里,为了方便利用 Dijkstra 算法,将路由算法转换为寻找汇聚节点到所有普通传感器节点的最短距离,然后再转换路径。

假定无线传感器网络用一个带权的连通图  $G = \{V, L, W\}$  表示,其中  $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\}$  为节点集,包括传感器节点、簇首节点以及汇聚节点; $L$  为边集,每条边表示这两个节点之间可以互相通信,这里并非任意两个节点之间都可以相互通信,由于发射半径的限制,通常每个异构节点只能和它附近的几个节点进行数据交换,普通传感器节点只与离它最近的异构节点进行通信,可见  $G$  并不是完全图; $W$  为边的权值,这里的权值就是链路花费,链路花费是链路传输过程中损耗的总和。

为了计算能量损耗、延迟估计以及其它的性能参数,在节点  $i$  和  $j$  之间的通信链路上,定义损耗函数如下<sup>[9]</sup>:

$$\sum_{k=0}^7 CF_k = c_0 \times (\text{distance}_{ij})^l + c_1 \times f(\text{energy}_j) +$$

$c_2/T_j + c_3 + c_4 + c_5 + c_6 \times \text{distance}_{ij} + c_7 \times \text{overallload}$   
其中,  
 $\text{Distance}_{ij}$ : 节点  $i$  和  $j$  之间的距离;  
 $\text{energy}_j$ : 节点  $j$  当前剩余能量函数。

2.2 算法基本思想及实现步骤

基于 Dijkstra<sup>[10]</sup> 的最短路径路由算法基本思想是:将传感器网络拓扑等价有向连通图,然后以链路损耗、传输功耗、延迟等为权值参数,利用 Dijkstra 算法,在汇聚节点和各源节点间建立最短路径,并满足应用中要求的传输时延。

在无线传感器网络路由算法中,数据的路由不会局限在某一条或者几条路径上,因为当一些路径上的节点死亡时,路由由协议会形成新的路径,但是,某一段时间内,数据的路由将集中在某些路径上,通过 Dijkstra 计算出数据感知节点到汇聚节点的最优路径,具体实现步骤如下:

第一步:网络初始化,完成拓扑构建之后,每个节点更新自己的权值及位置信息,并广播自己的信息与邻节点交互信息,各个节点收到其他节点发出的消息后,就将该节点的信息保存在自己的邻节点集中,交互完毕,保证节点都获得其邻节点的信息。每个节点将信息表发送至汇聚节点,由汇聚节点进行路径规划。

第二步:在汇聚节点处,计算权值,构建连通图。得到一个带权的连通图  $G = \{V, L, W\}$  表示,其中  $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_n\}$  为节点集,包括传感器节点、簇首节点以及汇聚节点; $L$  为边集,每条边表示这两个节点之间可以互相通信; $W$  为边的权值,这里的权值就是链路花费,链路花费是链路传输过程中损耗的总和  $r_{cost}$ 。

第三步:通过 Dijkstra 算法找到汇聚节点到每个节点的最短路径。

第四步:建立反向的、从数据源到汇聚节点的路径,构建路由表。

路由表的建立示意图如图 1 所示。

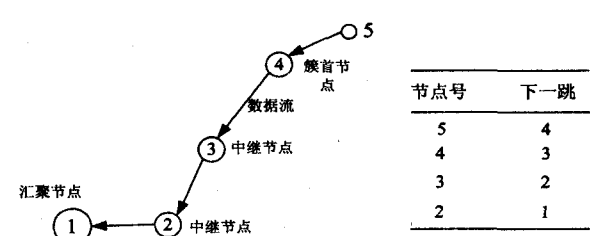


图 1 路由表建立示意图

2.3 算法仿真及分析

文中在 MATLAB 平台下,对算法的实现进行仿真,仿真中,采用文献[5]使用的节点无线通信模型来模拟传感器网络的特性,如图 2 所示。

假设在一个 70m×50m 的区域内部署 33 个传感器节点和一个汇聚节点,其中节点 1 为汇聚节点,位于

(14,1),假定理想情况下,每个节点发出的信息都能被邻节点正确收到,不考虑冲突重传,普通传感器节点的通信半径为 6 米,异构节点通信半径为 20 米。

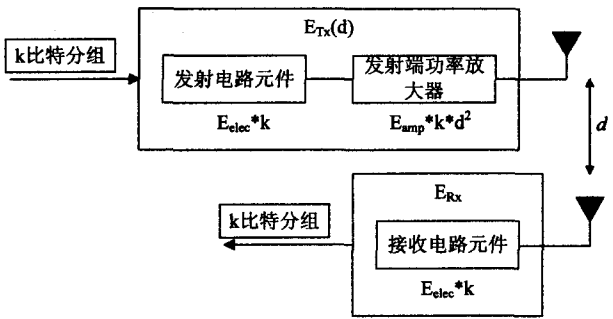


图 2 一阶无线传输模型

绘制异构节点网络连通图,如图 3 所示,由于普通传感器节点只能够与离它最近的异构节点通信,路径是固定的,所以,本算法在初期不考虑普通传感器节点,首先求出异构节点至汇聚节点的最短路径。

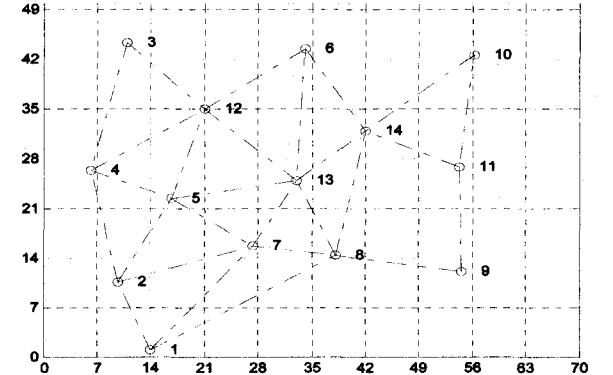


图 3 异构节点网络连通图

运行基于 Dijkstra 的最短路径算法,得到簇树路由网络路由构建如图 4 所示,异构节点与汇聚节点,形成簇树骨干网。从图中可以看到,由于异构节点 12、13、14 只承担路由转发的功能,且能量供应充分,因此,经过这些节点的通信损耗值较小,从而使得路径通过它们的几率增高。例如,4 号簇首节点在选择路径时,没有将数据传输给离它较近的 5 号簇首节点,反而选择了通过 12、13 号路由节点来转发,并且能够获得更低的链路损耗。

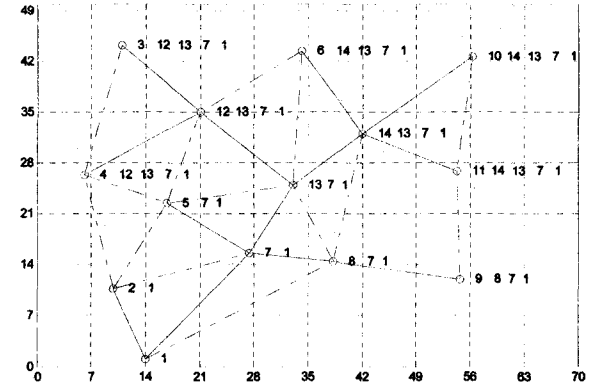


图 4 簇树骨干网的构建

簇树骨干网形成以后,借助 LEACH 的思想,所有的普通节点搜索最近的簇首节点,与之相连,从而将所有的节点都加入到簇树中来,最终的网络路径如图 5 所示,保证所有节点产生的数据可以通过最短路径发送给汇聚节点。

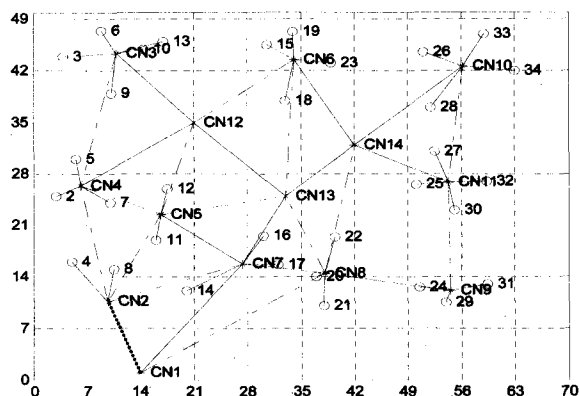


图 5 簇树型网络路由构建

### 3 结束语

文中从工业现场的实际环境和现场应用的实时性考虑,对现有的 LEACH 协议进行改进,提出一种基于 Dijkstra 的最短路径路由算法。算法改变了 LEACH 协议的随机簇首选择机制,选用能量高和处理能力强的异构节点作为固定的簇首节点;另外,将 LEACH 协议中的簇首节点与汇聚节点直接通信改进成多跳传输,多跳传输的路径由 Dijkstra 算法获取,该算法以链路损耗、传输功耗等为权值参数,在汇聚节点和源节点间建立最短路径。

仿真表明,该算法具有较好的可扩展性并且容易实现,下一步将研究该算法的工程实现。

(上接第 184 页)

模块,仿真结果验证了文中提出的信号的调制及检测算法的正确性。

#### 参考文献:

- [1] 周世伟,张绍卿. 配电网络双向工频通信的原理与实现[J]. 电网技术,1999,23(10):37-38.
- [2] 张绍卿,周世伟,洪文学. 基于电力配电网的双向工频通信系统[J]. 通信技术,1999,107(4):66-71.
- [3] Wang Chonglin, Zou Youming. Power Supply Technology [M]. Beijing: Coal Industry Press,1997:20-21.
- [4] Zhang Guoping. Algorithm Study and Software Exploitation of Single-Phase-to-Ground Fault Location in 10kV Power Distribution Line [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.
- [5] 张世平,周庆东,张绍卿. 基于时频分析的工频通信信号特征提取[J]. 中国电机工程学报,2004,24(7):85-89.

#### 参考文献:

- [1] 孙利民,李建中. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:7-8.
- [2] 西安成峰科技有限公司系统开发部. 无线传感器网络应用实例荟萃[J/OL]. 2006. <http://www.chengfengtech.com/Chengfeng%20Paper%20Application.pdf>.
- [3] Akyildiz I F, Su Weilian, Sankarasubramaniam Y. A Survey on Sensor Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8):101-114.
- [4] 毕俊蕾,任新会,郭拯危. 无线传感器网络路由协议分类研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(5):131-133.
- [5] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks [C]//Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences. Maui: IEEE Computer Society, 2000:3005-3014.
- [6] 李 岩,张曦煌,李彦中. LEACH-EE—基于 LEACH 协议的高效聚类路由算法[J]. 计算机应用,2007,27(5):1103-1105.
- [7] 江 贺,刘文杰,张宪超. 无线传感器网络路由协议研究进展[J]. 小型微型计算机系统,2007,28(4):594-598.
- [8] Yarris M, Kushalnagar N, Singh H, et al. Exploiting Heterogeneity in Sensor Networks [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication (INFOCOM 2005). Miami, FL: [s. n.], 2005:878-890.
- [9] Heinzelman W, Chandrakasan A, Balakrishnan H. An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks[J]. IEEE Transaction on Wireless Communications, 2002,1(4):660-670.
- [10] 迟乐军,于晓敏,王艳春,等. 数据结构教程[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003:132-133.
- [6] 高 文. 基于工业以太网自动化系统的设计[J]. 计算机技术与发展,2010,20(10):246-249.
- [7] Gao Ruxin. The Study of Fault Location in the 10kV Power Distribution Line of Countryside [D]. Jiaozuo: Henan Polytechnic University, 2004.
- [8] 谢丁峰,夏新军. 基于 H. 264 的视频监控系统关键代码实现与优化[J]. 计算机技术与发展,2010,20(12):57-60.
- [9] Wu Chanjuan, Gong Qingwu. FFT Function of Matlab Applying in Fault Location [J]. Supplying and Using Power, 2004, 15(3):19-19.
- [10] 徐世强,赵 霁,牛泽民. 基于 GPRS 的远程视频监控系统的的设计与应用[J]. 计算机技术与发展,2010,20(12):150-153.
- [11] 耿丽丽,余雪丽. 基于 SOPA 通信协议本体建模[J]. 计算机技术与发展,2010,20(8):63-66.