

矿井无线传感器网络 GEAR 协议的改进

徐文涛¹, 闫静杰²

(1.南京航空航天大学 理学院, 江苏 南京 210016;

2.中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要: 分析了矿井的路由需求, 选择了基于位置信息可知的 GEAR 协议作为研究对象, 对 GEAR 协议进行了改进, 引入极坐标系从而提出了一种带移动节点的网络模型, 使其更符合煤矿井下的要求。经过 NS2 的仿真, 改进后的 GEAR 协议使得整个网络在较低的能耗水平下获得了较长的生命周期, 具有较好的能量优化特性。

关键词: 无线传感器网络; 矿井; GEAR 协议

中图分类号: TP212

文献标识码: A

The improvement of GEAR in wireless sensor networks of mine

XU Wen Tao¹, YAN Jing Jie²

(1.College of Science, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

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

Abstract: This article analyzed the needs of routing, choosed GEAR protocol as the research object, this paper improved the GEAR protocol according to actual demand, and put forward a network model with mobile nodes by introducing polar coordinate system, established two simulation environment, and It will improve the security of communication. The result demonstrates that the improved GEAR routing protocol enables the whole network has long lifetime on the low power level and has comparatively good power optimum property by simulation on NS2 platform.

Key words: wireless sensor network; coal mine; GEAR protocol

微机电系统 MEMS (Micro-Electro-Mechanism System)、无线通信和数字电子技术的进步孕育了无线传感器网络 WSN(Wireless Sensor Networks)。无线传感器网络是一种特殊的 Ad-hoc 网络, 可应用于布线和电源供给困难的区域、人员不能到达的区域(如受到污染、环境不能被破坏或敌对区域)和一些临时场合(如发生自然灾害时, 固定通信网络被破坏)等。它不需要固定网络支持, 具有快速展开、抗毁性强等特点, 可广泛应用于军事、工业、交通、环保等领域而引起了人们广泛关注。

众所周知, 矿井自然环境十分特殊, 而采煤工作面更是需要面对复杂的地质条件和恶劣的工作环境, 为保证安全生产, 需要对采煤工作面的各种大型设备进行实时监测, 同时还需要对各种环境参数进行监测。当前广泛采用的工业监测监控信号的传输大都通过有线方式, 但这种有线传输方式显然不适合在采煤工作面使用, 因

为采煤工作面的设备在不断移动, 工作环境也在不断变化, 使得传输电缆很容易被破坏或者轧断, 给煤矿的安全生产带来隐患。因此, 在矿井中构建基于无线传感器网络的无线安全系统, 通过该系统实现监测监控和抢险救灾是矿井无线通信发展的趋势。本文选择了基于位置信息可知的能量和位置感知路由协议 GEAR 作为矿井路由协议研究的重点, 并对 GEAR 协议进行了一定的修改, 针对 GEAR 协议和修改后的 GEAR 协议在井下 WSN 网络中的效能进行了分析, 比较了两种协议在两种环境下能耗、时延、收发率等指标^[1]。

1 煤矿井下无线通信

早在 20 世纪 20 年代, 人们就开始进行井下无线电波传播的探索和试验, 由于技术水平的限制, 当时使用的是低频段。第一批有关这方面的报告是由美国矿业局发布的。在地下无线通信的发展中, 比较重大的一步是

1956年 Monk 和 Winbigger 偶然发现 1 条编织同轴电缆似乎是在连续不断地辐射电磁波。近半个世纪以来,人们一直进行井下电波传播的试验和研究,到了 1968 年,人们认识到,可靠的无线电通信和控制系统是采矿业提高产量和增加安全的关键因素。随着研究的进展和科学技术的进步,人们认识到 UHF 频段(300 MHz~3 000 MHz)在井下传播孕育着希望。因为在井下平直巷道中,衰减随频率的升高而减小,尤其在特高频段的高端,信号波长远远小于巷道截面,电磁波以类似几何光学特性传播,呈现波导特性。国内一些关于矿井中无线传输特性的研究成果表明井下径向传输可利用 900 MHz~3 000 MHz 频率进行传输。近年来,日本已能使无线电波(470 MHz, 0.5 W)在隧道中自由传播 1 400 m,美国专家则认为在隧道中最有希望的频段是 500 MHz~2 500 MHz^[2-3]。

目前,矿井无线通信系统的形式主要有透地通信系统、中频感应通信系统、VHF 漏泄通信系统以及正在研制的小区制矿井调度移动通信系统等。但现有的各矿井无线通信系统和正在研制的系统还都存在许多问题,在功能上难以满足矿井安全生产对无线信息的需求,在技术上没有从根本上解决制约有效实现矿井无线通信的瓶颈问题。因此,如何从根本上解决构建较完善的全矿井无线信息系统仍面临着深刻的理论问题以及十分困难的技术问题,是一项极富挑战性的工作。然而尽快构建较为完善的新一代全矿井无线信息系统,全面提高矿井安全生产效率和防灾、抗灾、救灾的能力却是一项十分紧迫的任务。

目前,国内还没有井下无线通信标准,系统可以根据现有的技术条件和实际需要进行开发,而且还需要考虑适合以后通信发展的要求,并有利于推广使用。将无线传感器网络应用于井下通信系统,提高了井下通信的安全性,同时也降低了开销。

2 无线传感器能量和位置感知路由协议

位置和能量感知路由机制既是 1 种依赖于地理信息的路由,又是 1 种以数据为中心的路由。该算法在 DD 算法的基础上做了一系列改进,考虑到 sensor 节点的位置信息而将 interest 报文添加地址信息字段,并据其将 interest 往特定方向传输以替代原泛洪方式,从而显著节省了能量消耗。该算法引入了估计代价(estimated cost)和自学习代价(learning cost)。通过计算两者差值来选取更接近 Sink 节点的 sensor 节点作为下一跳。

GEAR 路由中查询消息的传播包括两个阶段:(1)查询消息转发到目标区域:从 Sink 节点开始的路径建立过程采用贪婪算法,节点在邻居中选择到目标区域代价最小的节点作为下一跳节点,并将自己的路由代价设为该下一跳节点的路由代价加上到该节点一跳通信的代价。若陷入路由空洞,节点则选取邻居中代价最小的节点作为下一跳节点,并修改自己的路由代价;(2)在目标区域内散布查询消息:查询消息到达目标区域后,通过

迭代地理(节点密度较大时)或洪泛方式(节点较少时)将查询消息传播到目标区域内的所有节点。这两个阶段完成后,监测数据沿查询消息的反向路径向 Sink 节点传送。由于 Sink 发出的查询消息中经常包含位置属性,GEAR 路由协议在向目标区域散布查询消息的同时考虑了地理位置信息的使用。其主要思想是通过利用位置信息使得“兴趣”的传播仅到达目标区域,而不是传播到整个网络,从而避免洪泛方式,减少路由建立的开销^[4]。

如果节点密度比较大,GEAR 采用迭代地理转发机制,作为对 GEAR 路由协议的改进,每一次迭代的中心节点可以作为数据融合节点,将其子区域节点采集的数据进行处理后再沿反向路径传送。这样,目标区域内第 1 个收到查询消息的节点将融合后的数据沿查询消息的反向路径向 Sink 节点传送。如果节点密度比较小,GEAR 则采用洪泛转发机制。这时由于没有子区域中心节点可以使用,需要以某种方法产生 1 个融合节点对数据进行处理。一种简单的方法是选择能量比较大的节点作为融合节点,当然,该节点需要能够与其他节点直接通信。该节点对数据进行处理后沿查询消息的反向路径向 Sink 节点传送。

3 改进的 GEAR 协议用于矿井路由

根据煤矿井下的实际情况,以及本文的设计构想,需要建立一种双层数据传输路由模型,这样,对于设备供电巷道内的节点,可以假设它们全都是静止且位置已知,可以直接采用 GEAR 路由算法;对于采面的节点,则需要假设液压支架上的节点静止,但采煤机上的节点,可以移动,因此需要对 GEAR 协议进行改进。综上所述,需要重点研究一种带有移动 Sink 的混合网络模型。

根据采面的实际情况,会有部分移动节点(例如布置在采煤机上的节点),且数目可能不止 1 个,这些移动节点负责采集传感数据,其布置情况如图 1 所示。这些移动节点往往也就是需要重点监测的节点,由于这些节点可以移动且地位重要,使用上述 GEAR 协议便增大了事件的投递率和系统的能耗。因此,有必要对这一协议进行改进,使这一协议重点关注 GEAR 协议,从而降低事件的投递率和系统的能耗。在这里为了分析方便,引入极坐标概念,设移动节点为水平极坐标的零点,其移动的方向为水平极坐标系的零轴,静止节点与移动节点的连线为半径,静止节点与移动节点的连线同零轴的夹角记为 θ 。这样,该平面的这些节点便构成了 1 个极坐

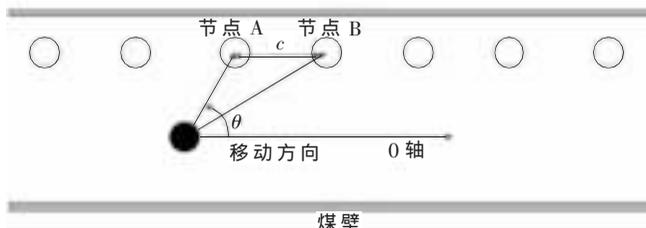


图 1 移动方向与角度的关系

标系,且所有节点的极坐标均可知。在协议中,对移动节点的通信范围以极坐标的形式予以限制^[5-6]。

上述通信受限的 GEAR 协议基于以下假设:(1)分布在该区域的所有节点均处于同一平面。(2)分布在该区域的所有节点其位置均可知,且如图 1 中节点 A、节点 B 等这样的节点其位置不再变化。(3)移动节点可以感知到其移动的方向。

这样,改进后的 GEAR 路由协议将现场分为两层:设备供电巷道内的静态节点使用传统的 GEAR 协议;采面布置在采煤机和液压支架上的混合节点使用改进后的通信受限 GEAR 协议。现场虽然分为两层,但其协议接口基本相同,因此,保证了整个系统的兼容性,不会产生新的报文开销。

4 仿真和结果分析

对于传感器网络层路由算法的执行效果,包括节点的能耗、运算能力和通信带宽,以及网络的动态性、大规模性、负载均衡性、数据融合和容错机制等众多指标。本文主要是对 GEAR 算法和改进后的 GEAR 算法(GEAR2)对矿井无线传感器网络的能耗、收发率、网络规模指标的比较。

(1)能耗指标。网络生存时间(或称网络生命)采用间接定义的方法,用所有节点在相同的时间内能耗的总和来表示网络的总能耗。而网络的生存时间与节点的总能耗成反比,即在相同的时间内节点总能耗越多,网络生存时间将越短,反之则越长。由于节点数量不同,总能耗不能反映每个节点的能耗状况,故用节点平均能耗作为评价指标。鉴于所选择的 NS2 仿真器的内部机制,当发送节点的数据无法到达接收节点时,仿真将会自动结束。因此,如果能量耗尽过快,将会出现在设定的仿真时间前,Trace 和 Nam 的记录已经结束的情况。

(2)收发率。数据在网络中传输,尤其是在无线网络中,出现分组丢失将是不可避免的。由于 NS2 中的 802.11 模型默认的是 MAC 层没有数据传输差错,而且本文主要仿真的是网络层,因此本文不考虑 MAC 层的数据丢包情况。本文的收发率是指实际接收数据量与总发送数据量的比值。

(3)网络规模影响。网络规模影响主要考察当节点数量变化时,路由算法的执行效果。当传感器节点物理层的射频参数确定后,节点的无线传输距离就确定了,网络规模影响主要考察节点浓度值对于网络的影响^[7]。

4.1 能耗分析

4.1.1 网络规模与能耗的关系

图 2 是两种算法平均能量消耗随网络规模(节点数)的仿真结果。可以看出:随着网络规模的扩大,两种算法其平均能量消耗都有一定幅度的增长,但当网络规模继续扩大后,GEAR2 算法的平均能量消耗呈下降趋势,而后再有一定幅度的增长。而 GEAR 算法还是随着网络规

模的扩大平均能量消耗呈上升趋势;在网络规模比较小的情况下,GEAR2 算法的平均能耗比 GEAR 算法大,但是随着网络规模的扩大,在相同网络规模情况下 GEAR2 算法要比 GEAR 算法的平均能耗低。因此,在网络规模稍大时(大约 75 个节点),GEAR2 算法在平均能量消耗方面较之 GEAR 有着明显的优势。

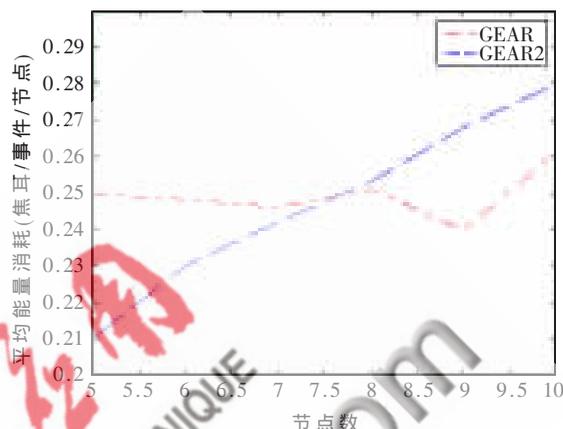


图 2 网络规模与能耗的关系

4.1.2 移动节点数目与能耗的关系

由图 3 可以看出,两种算法的平均能量损耗随着移动节点数目的增加均增大,其原因在于由于移动节点即源节点的存在,其数目的增加必然会造成平均能量损耗的增加。但同时可以看出,GEAR2 的能耗性能优于 GEAR。

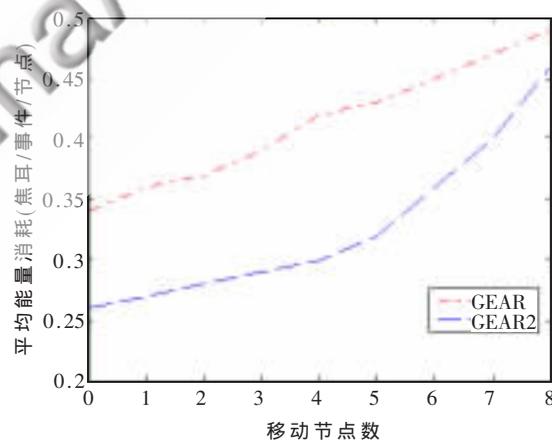


图 3 平均能量消耗随移动节点数目的变化

4.2 收发率

4.2.1 网络规模与收发率的关系

图 4 是两种算法在两种环境下收发率与网络规模(节点数)的关系仿真结果。由图 4 可以看出,随着网络规模的扩大,两种算法的收发率都有着不同程度的增大。初始时,GEAR 和 GEAR2 的收发率都比较低,原因是节点覆盖率较低,当节点数目满足一定条件时,GEAR 和 GEAR2 算法的收发率都还是令人满意的,但在网络规模大时 GEAR2 算法优于 GEAR。

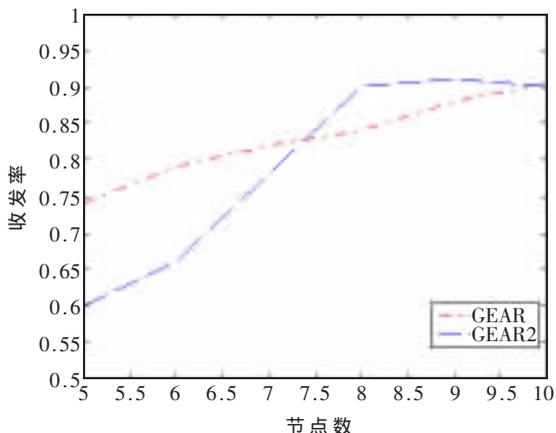


图4 收发率随网络规模的变化

4.2.2 移动节点数目与收发率的关系

图5是两种算法在不同移动节点数目下的平均能量消耗。由图5可以看出,对于GEAR算法,其收发率随着移动节点数目的增加而降低,当降低到一定程度时,变化不再明显,但是收发率已经变得很低,而对于GEAR2算法,其收发率随着移动节点数目的增加而升高,因此,对于存在移动节点的WSN网络,修改后的GEAR2协议的收发率明显优于GEAR协议,基本上能满足实际要求。

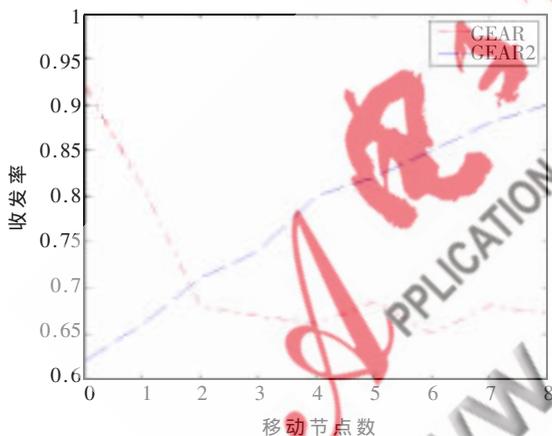


图5 收发率随移动节点数目的变化

总体而言,在网络规模较小的情况下,GEAR2协议在能耗方面性能要优于原来的GEAR协议。此外,GEAR

和GEAR2的收发率指标基本一致,但当网络中存在一部分移动节点时,GEAR2的收发率指标要远优于原有的GEAR协议。仿真证明,对于网络规模较大、节点较疏、且基本不存在移动节点的环境时,可采用GEAR协议;对于网络规模较小、节点较密、且有部分移动节点的环境时,应采用GEAR2协议。在矿井这种源节点众多而目的节点单一的场景中,可以适当地增加移动Sink节点的数目改善网络性能。仿真证明,移动Sink的加入使得网络的性能有所提高,增加一定数目的移动Sink既可以用作工人或者车辆的定位,又可以提高网络的整体性能、降低能耗和提高事件收发率。但是,移动节点的加入引入了不稳定因素。

把无线传感器网络应用在煤矿井下这种恶劣的工作环境中,为解决煤矿井下各种工况和设备监测信息传输以及井下移动通信带来前所未有的希望。本文对GEAR协议加以改进,引入移动Sink节点,使其更适合煤矿井下无线通信,有效地延长了网络的生存时间,并且提高了井下无线传感器网络的性能。从而增强煤矿调度指挥人员对井下工况及环境的了解,提高与井下人员的信息交流,及时发现隐患,杜绝盲目指挥带来的后果。对提高煤矿安全生产能力,减少工作面流动人员,提高效益,增加防灾、减灾能力具有很好的实用性。

参考文献

- [1] 赵健.无线扩频微波在铁路隧道中传播特性的研究及应用[D].青岛:青岛科技大学,2006.
- [2] 赵红.矿井移动通信[D].北京:中国矿业大学,1997.
- [3] 孙继平.矿井无线传输的特点[J].煤矿设计,1999(4):20-22.
- [4] 康望星.基于蚁群算法的无线传感器网络路由算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2006.
- [5] 石庆冬.矿井无线传输特性研究[D].北京:中国矿业大学信息所,2000.
- [6] 司徒梦天.地下通信的原理及其在外军通信中的应用[J].通信技术与发展,1991,1(1):87-94.
- [7] 邱艳飞.无线传感器网络路由协议的设计与仿真[D].武汉:武汉理工大学,2006.

(收稿日期:2009-03-10)