

文章编号:1671 - 251X(2009)01 - 0013 - 04

煤矿井下 ZigBee 无线传感器网络 路由协议的研究 *

贾运红

(煤炭科学研究总院太原研究院,山西 太原 030006)

摘要:文章介绍了无线传感器网络的发展及其特点,在分析比较了目前流行的几种无线传感器网络路由协议的基础上,结合煤矿井下掘进工作面的特点和需求,提出了一种适用于掘进工作面的网状拓扑结构的 ZigBee 无线传感器网络的路由算法,并从路由建立、路由维护、路由恢复等方面进行了详细描述。该路由算法对其它具有 ZigBee 网状拓扑结构的系统具有一定的参考价值。

关键词:煤矿;采掘工作面;无线传感器网络;路由协议;ZigBee

中图分类号:TD655.3;TN925 **文献标识码:**A

Research of Routing Protocols of ZigBee Wireless Sensor Networks of
Coal Mine Underground

JIA Yun-hong

(Taiyuan Research Branch of China Coal Research Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The paper introduced development and features of wireless sensor networks. Based on analysis and comparison of several popular wireless sensor networks routing protocols, it proposed a ZigBee wireless sensor networks routing algorithm combining with characteristics of heading face of coal mine underground, which was fit for mesh topology. And the routing's establishment, maintenance and recovery were described in details. The routing algorithms had some reference value to other systems with ZigBee mesh topology.

Key words: coal mine, heading face, wireless sensor networks, routing protocol, ZigBee

0 引言

在我国煤炭行业,几乎每一个矿井都有传感器网络的痕迹,主要以第二代传感器网络应用为主,通信线路采用 RS485/RS232,通信带宽从 1 KB 到几万字节不等,这种通信方式已经难以满足煤炭安全生产的需求。现代化大型矿井已经应用和普及第三代传感器网络,其特点为节点智能化,采用现场总线连接传感控制器构成有线局域网络,目前已经应用于采煤机工作面、胶带输送机系统、供电系统等

绝大多数井下场合,但不能有效应用于巷道经常变化、设备大范围移动、设备相对位置改变频繁的掘进工作面。与之相比,正在发展中的第四代无线传感器网络(WSN)能够解决通信带宽、移动传输数据、人员定位、工作面实时监测等关键问题,可满足当今煤炭行业安全生产的关键需求,特别适用于掘进工作面,具有巨大的发展潜力。

在煤矿井下掘进工作面,不仅工作面巷道长度、走向随着开采过程而不断变化,掘进机、连采机、锚杆机及其配套设备也都具有自行走能力,并有专门的驾驶人员控制,不断地大范围移动,随机性强,设备相对位置的改变非常频繁,导致网络拓扑结构频繁改变,且结构复杂。为此,本文设计了一种能够适应掘进工作面特点的无线传感器网络路由协议,可实现自动组网来覆盖所有设备能到达的区域。该路由协议的特点:多跳路由、自动组网,以满足不断变

收稿日期:2008-08-12

*基金项目:煤炭科学研究总院青年创新基金资助项目(2007QN39)

作者简介:贾运红(1978-),女,硕士,工程师,2006年毕业于西安电子科技大学,现在煤炭科学研究总院太原研究院从事煤矿自动化方面的研究工作,已发表文章2篇。E-mail: mkyjyh@sina.com

化的网络,重点考虑路由节点的节电问题。

1 无线传感器网络

从发展历史来看,传感器网络共经历了 4 个阶段:第一代传感器网络:点对点传输,具有简单信息获取能力;第二代传感器网络:具有获取多种信息的综合能力,采用串/并接口与传感控制器相连;第三代传感器网络:20 世纪 90 年代后期,智能传感器采用现场总线连接传感控制器构成局域网络;第四代传感器网络:从 21 世纪初开始发展起来,以 IEEE 802.15.4 即 ZigBee 无线传感器网络为标志。

无线传感器网络由普通节点、中继节点、网关节点和监控中心组成,普通节点完成数据采集;中继节点实现多跳中继传输和数据汇聚接收;网关节点完成无线和有线信号转换;监控中心完成区域数据的综合处理。普通节点通过多跳中继方式将监测数据传给网关节点,最终通过有线方式将无线区域内的数据传送到远程监控中心进行集中处理。

无线传感器网络节点体积小、功耗低、可靠性高、保密性好、价格便宜,具有多跳路由、动态拓扑以及自由组网等特点,因此,大量节点可以在任意区域内形成一个传感器网络,实现对静止或移动设备、人员、车辆或其它物体的状态、属性等相关信息的自动采集、识别、跟踪、控制。

2 无线传感器网络路由协议

路由协议负责将数据分组,从源节点通过网络转发到目的节点。它主要包括 2 个方面的功能:寻找源节点和目的节点的优化路径;将数据分组沿着优化路径正确转发。

无线传感器网络节点能量有限,路由协议关心整个网络能量的均衡消耗以及能量的高效利用,因此,路由协议直接影响无线传感器网络的性能和寿命;路由的正确选择可以保证数据的正确传输,降低数据传输的误码率;路由的最优路径可以缩短传输时延;好的路由协议还决定了一个无线传感器网络的稳定性和健壮性。另外,无线传感器网络具有很强的应用相关性,不同应用中的路由协议可能差别很大,没有一个通用的路由协议可以满足所有的应用,因此,需要根据具体应用研究最优的路由协议。

当前流行的几个无线传感器网络的路由协议如下所述。

2.1 洪泛协议

洪泛(Flooding)协议是一种传统的无线通信路

由协议。该协议规定,每个节点接收来自其它节点的信息,并以广播的形式发送给其它邻居节点,如此继续下去,最后将信息数据发送给目的节点。但该协议容易引起信息的“内爆”(Implosion)和“重叠”(Overlap),造成资源的浪费。

2.2 闲聊协议

闲聊(Gossiping)协议是在洪泛协议的基础上进行改进而提出的。它传播信息的途径是随机地选择 1 个邻居节点,获得信息的邻居节点以同样的方式随机地选择下一个节点进行信息的传递。该协议避免了以广播形式进行信息传播的能量消耗,代价是延长了信息的传递时间,虽然在一定程度上解决了信息的“内爆”问题,但是仍然存在信息的“重叠”现象。

2.3 SPIN 协议

SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation) 协议是以数据为中心的自适应路由协议,通过协商机制来避免 Flooding 协议和 Gossiping 协议的“内爆”和“重叠”问题。无线传感器网络各节点只有在收到相应请求时才有目的地发送数据信息。SPIN 协议有 3 种类型的消息,即 ADV、REQ 和 DATA。

在发送一个 DATA 数据包之前,1 个传感器节点首先对外广播 ADV 数据包。如果某一个节点希望接收该数据信息,则向发送 ADV 数据包的节点回复 REQ 数据包,由此建立起发送节点和接收节点的联系,之后发送节点便向接收节点发送 DATA 数据包。SPIN 协议的工作流程如图 1 所示。

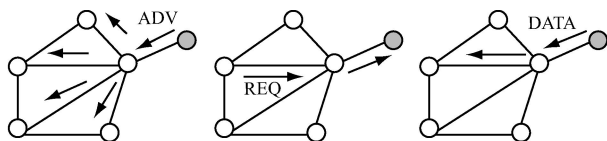


图 1 SPIN 协议的工作流程图

2.4 定向扩散协议

定向扩散(Directed Diffusion)协议是一种基于查询的路由机制。整个过程可以分为兴趣扩散、梯度建立以及路径加强 3 个阶段。在兴趣扩散阶段,汇聚节点向传感器节点发送其想要获取的信息种类或内容。兴趣消息中含有任务类型、目标区域、数据发送速率、时间戳等参数。每个传感器节点在收到该信息后,将其保存在缓存(CACHE)中。当整个信息要求传遍整个无线传感器网络后,便在传感器节点和汇聚节点之间建立起一个梯度场,梯度场的建立以成本最小化和能量自适应为原则。一旦传感

器节点收集到汇聚节点感兴趣的数据,就会根据建立的梯度场寻求最快路径进行数据传递。梯度场建立过程如图 2 所示。

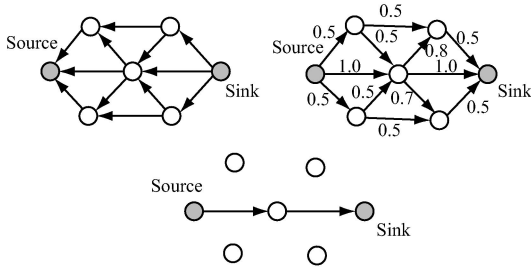


图 2 定向扩散协议的梯度场建立过程示意图

2.5 LEACH 协议

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 协议是一种以最小化传感器网络能量损耗为目标的自适应分簇拓扑协议。它的执行过程是周期性的,每轮循环分为簇的建立阶段和稳定的数据通信阶段。在簇的建立阶段,相邻节点动态地形成簇,随机产生簇头;在数据通信阶段,簇内节点将数据发送给簇头,簇头进行数据融合并将结果发送给汇聚节点。由于簇头需要完成数据融合以及与汇聚节点进行通信等工作,所以能量消耗大。LEACH 协议随机循环选择簇头,将能量负载平均分配到每个无线传感器网络节点中,进而可以延长网络的生命周期。LEACH 协议可将网络生命周期延长 15%。

从上面的分析可看出,每种协议之间是相互联系的,因此,从某种意义上讲,很难说清楚到底哪种协议更有优势。对这些协议进行比较分析后得出,一个好的无线传感器网络路由协议应具备如下特征:

(1) 具有动态的选择汇聚节点的能力。在信息的传递过程中,汇聚节点的使用频率最高,能量消耗最大,其生命周期直接影响到整个传感器网络的生命周期。无线传感器网络能够根据汇聚节点的能量消耗状况,动态地选择能量消耗少的节点进行信息的传递。平衡整个网络汇聚节点的能量消耗,可以延长传感器网络的生命周期。

(2) 快速的数据融合技术。多传感器的信息采集过程同时也是多信息的融合过程。如果信息能够在传感器节点进行快速的信息融合和分离,将提高整个网络的运行效率。

(3) 随机路径选择能力。当有多条路径进行信息传递时,系统可以根据整个网络的能量消耗进行平衡,从多条路径中选择最适合的路径。

3 改进的无线传感器网络路由协议

在实际应用中,从功能上将煤矿井下掘进工作面无线传感器网络节点分为无线主节点、无线路由节点、无线设备节点 3 种。无线主节点可放置在离工作区较远的地方,并可根据需要并入以太网等网络;无线路由节点摆放顺序具有随机性,不受 ID 号限制,随着工作面巷道长度的变化,可随意增减,不受数量限制,网络能够自动愈合、重组;无线设备节点安装在采掘设备上,并与采掘设备进行有线数据通信。这样,采掘设备通过无线网络实现与无线主节点通信。以下主要研究无线传感器网络中路由协议的建立、维护等问题。

无线传感器网络是一种能量有限的网络,如果网络中的某些节点能量消耗过快,会使节点在短时间内失效,从而导致有效传感区域变小,影响数据采集结果。如何有效减少并平衡网络中各个节点的能量消耗,从而使网络寿命最大化,是协议设计的关键问题之一。本系统中,只有无线路由节点使用电池供电,无线设备节点由采掘设备供电,因此,在路由协议设计中集中考虑无线路由节点的省电问题。通过分析和实验,笔者将定向扩散协议和以最小化传感器网络能量损耗为目标的 LEACH 分簇拓扑协议有机结合,设计了适用于煤矿掘进工作面的无线传感器网络路由协议。

3.1 路由建立

本文的路由建立过程类似于定向扩散协议中的兴趣扩散、梯度建立过程,采用由顶至底的路由生成算法。

首先由无线主节点对所有的无线路由器节点发“配置系统命令帧”,这是一种由顶至底的扩散寻呼请求。

(1) 由无线主节点向下进行一次一跳地扩散寻呼请求,寻呼请求消息中包含有源节点和目标节点的 ID 号、消息编号、链路时钟值等。

(2) 在寻呼请求消息扩散方向上,下游节点收到上游节点的请求后,修改链路时钟值,对自身 ID 号和目标节点 ID 号进行比较判断,如果相等则进入休眠状态直至回应周期时间到,然后发回答帧;如果不等则记录上游节点的位置信息,修改路由跳数等字段,继续向其邻近下游节点扩散路由请求,然后进入休眠状态直至回应周期时间到,然后自动唤醒进入准备接收状态。对于邻近下游节点,如果收到相同编号的消息,则简单地将后来的消息丢弃。

(3) 当无线主节点收到所有无线路由节点的回答后,构造路由表。

(4) 路由表建立之后,系统转入工作状态。

在正常工作状态时,无线路由节点的生命周期直接影响到整个网络的生命周期。信息在传递的过程中,无线路由节点的使用频率最高,能量消耗最大,因此,必须平衡整个网络的无线路由节点的能量消耗,以延长无线网络的生命周期。笔者将整个工作周期分为收集数据进程、上行传输进程、下行传输进程 3 个部分。收集数据进程结束后,网络进入上行传输进程,由节点坐标最低的无线路由节点开始发送数据帧,工作时间结束即进入休眠状态。因此,节点休眠是按节点坐标从低到高的顺序进行的,这就意味着节点坐标低的无线路由节点休眠时间长。为了平衡整个网络的无线路由节点的能量消耗,在网络进入下行传输进程时,情况与上述上行传输进程正好相反,节点休眠是按节点坐标从高到低的顺序进行,这样,可保证整个网络中无线路由节点能量消耗的平衡。

3.2 路由维护

由于网络的无线设备节点是经常移动的,因此,网络的拓扑结构会随时发生变化,这就要求系统的路由维护是动态的。笔者采用的算法是主机点名-重建路由算法,即在上行传输进程结束时,主机点名;当 3 次有未出现的无线设备节点时,定义为无线设备节点丢失,这时需检查修复无线设备节点。

路由建立之后,为了在维持每条路由信息的同时减少对节点存储空间的需求,每个传感器节点仅对经过本节点的当前路由信息进行缓存。路由信息仅在节点上保存较短的时间,如果现存的路由信息得不到及时刷新,则该路由信息将被置为无效,并最终被清除。为了维护现存的路由,在一条路径上如果当前路由信息仍然有效,则每当有新的数据发送后,当前的路由信息就被及时刷新。这样可保证对突发通信实现连续的数据传输。

3.3 路由恢复

路由恢复与路由维护所不同的是:无线路由节点会因为电源耗尽或受到物理损毁后失效,从而导致路由中断。为了尽快恢复节点间的通信能力,需要对路由进行修复。

为了能够及时发现损坏的路由,路由协议需要具备有效的路由中断发现机制。传统的方法是使邻近节点之间定期发送 Hello 消息以探测邻近节点的状态,确定路由断点,从而修复路由。但是周期性的

Hello 消息会在网络中产生大量的流量,导致带宽和能量有限、通信不可靠的无线传感器网络在消耗大量能量的同时,性能急剧恶化。为了减少网络中的流量、节省节点能量,必须以尽可能少的消息恢复无线主节点和无线路由节点之间的路由。对此笔者仍然采用主机点名-重建路由算法,重建路由时可以检测到损坏的无线路由节点,对其进行更换并重建路由;对于重建起来的新路由表,如果有无线设备节点无法接收到,则产生报警,人工检查修复;否则,说明已经建立起一条新的由无线主节点到每个无线设备节点的路由。

4 结语

本文介绍了煤矿井下掘进工作面的环境特点,在比较了当前流行的几种无线传感器网络路由协议的基础上,提出了一种适用于煤矿井下掘进工作面的无线传感器网络路由算法。该算法对其它具有 ZigBee 网状拓扑结构的系统具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] 王伟锋,李平,李昭. 无线传感器网络路由协议[J]. 电子产品世界,2006(15):68~72.
- [3] 费璟昊,袁昶. 煤炭行业安全与传感器网络产业化发展[J]. 高科技与产业化,2006(1):52~54.
- [4] SINHA A, CHANDRAKASAN A. An Dynamic Power Management in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Design & TEST of Computers, 2001, 18(2): 62~74.
- [5] INTANAGONWIWAT C, GOVINDAN R, ESTRIN D. Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks[C]// The 6th Annual ACM/ IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, 2000, Boston: 56~67.
- [6] AKKAYA K, YOUNIS M. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks[J]. Elsevier Ad Hoc Network Journal, 2005(3):325~349.
- [7] HEDETNIEMI S, LIESTMAN A. A Survey of Gossiping and Protocols in Communication Networks[J]. Networks, 1998,18(4):319~349.
- [8] HEINZELMAN W, KULIK J, BALAKRISHNAN H. Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks[C]// Proc. 5th ACM/ IEEE Mobicom Conference, 1999, Seattle:174~185.