

一种基于 ZigBee 协议的矿井人员定位技术研究

邓 明^{1,2}, 张国枢¹, 陈 蕴²

(1. 安徽理工大学 煤矿安全高效开采省部共建教育部重点实验室, 安徽 淮南 232001;

2. 阜阳师范学院 计算机与信息学院, 安徽 阜阳 236041)

摘 要:针对目前矿井无线通信技术存在的不足,详细分析了 IEEE802.15.4 标准和 ZigBee 技术,讨论了二者的关系及技术特点,在此基础上,提出了一种基于 ZigBee 技术的无线传感器网络定位系统。网络采用基于到达时间(time of arrival, TOA)的定位机制,先根据信号的传播时间和传播速度计算出节点间的距离,然后由极大似然估计法(maximum likelihood estimation, MLE)确定目标节点的位置。系统满足井下通信的要求,安装简单方便,精度高,稳定性好。

关键词:IEEE802.15.4/ZigBee; 无线传感器网络; 目标定位; TOA

中图分类号:TP393;TD676

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)02-0243-04

Research on Positioning Technology of Mining Personnel Based upon ZigBee Protocol

DENG Ming^{1,2}, ZHANG Guo-shu¹, CHEN Yun²

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Safety and High Efficiency Mining, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China;

2. School of Computer & Information, Fuyang Normal College, Fuyang 236041, China)

Abstract: Against the shortcomings of the traditional wireless communication technology used in mine, IEEE802.15.4 standard and ZigBee protocol were analyzed in detail, and the relationship and features were studied. The designed realization plan of WSN (wireless sensor network) positioning system was presented based upon ZigBee protocol, which adapted the location mechanism of the time of arrival (TOA). The distance among the nodes is calculated according to transmission time and speed, and the unknown node position is estimated by the maximum likelihood estimation (MLE). The positioning system can meet the requirement of mining communication, and compared with traditional system, it is more suitable for mining position because of flexibility, extensibility and exact data.

Key words: IEEE802.15.4/ZigBee; wireless sensor network; position; TOA

0 引 言

近年来,我国的煤炭生产安全事故频频发生,特别是瓦斯、煤尘等重大、特大事故,给人民生命财产带来了巨大损失,仍没有实现对矿山灾害事故的有效控制。因此,在不断加强灾害预防的同时,准确判断险情发生后井下生产作业人员的位置、遇险人员撤退路线、井下的环境指标(瓦斯浓度、温度、湿度等),这对及时准确地制定救援方案有着十分重要的现实意义。

针对井下的恶劣环境,国内先后研制出了多种矿

井无线通信技术,主要有超低频透地通信、中频感应通信、VHF漏泄通信和红外线等。超低频透地通信^[1]以大地为电磁波传播媒介,系统可靠性较高,但信道容量小,电磁干扰大,应用范围受限制;感应通信^[2]系统借助专用感应线,往往频率选择在中低频,因而信道容量小,电磁干扰强,且受巷道内导体影响,传输衰减较大;漏泄无线电^[3]通信系统利用漏泄同轴电缆替代基站的普通天线,具有信道较稳定、电磁干扰较小等优点,但系统使用的大量中继器,使其可靠性变差,信号容易失真;红外线^[4]技术主要用于井下地表温度及瓦斯浓度的测量,由于它的传输距离较短,不适合人员定位。

ZigBee是一种新兴的近距离、低复杂度、低功耗、低数据速率、低成本的无线网络技术,它是一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术提案。它依据 802.15.4 标准,在数千个微小的传感器之间,以接力的方式通

收稿日期:2008-06-17

基金项目:安徽省高校青年教师资助计划项目(2008jq1120);安徽省高校科技创新团队计划项目(矿业安全技术 2006KJ005TD);阜阳师范学院科研项目(200803)

作者简介:邓 明(1976-),男,安徽寿县人,副教授,博士,主要从事安全信息技术开发及传感器网络研究。

过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器。节点体积小,便于布置,满足井下通信的需要。

1 IEEE 802.15.4 标准和 ZigBee 技术

IEEE 802.15.4 标准覆盖了低速率无线个域网(Wireless personal area network, WPAN)的物理层和 MAC 层,目标是在无线传感器网络、家庭自动化、家庭网络、PC 与其他设备的连接等领域中应用。ZigBee 联盟在此基础上增加了网络结构(星状网络、对等网络、网状网络和树状网络)、网络安全和应用服务内容应用提出了 ZigBee 协议,旨在为低能耗的简单设备提供有效覆盖范围在 10 米左右的低速连接,可广泛用于自动控制 and 远程控制、消费性电子设备农业自动化和跟踪监测等领域。

1.1 IEEE 802.15.4 MAC 协议

IEEE 802.15.4 定义了 868/915 MHz 物理层和 2.4 GHz 物理层 2 个标准,分别可提供 20kb/s、40kb/s 和 250kb/s 的数据率,共有 27 条信道可以使用,但是 MAC 协议每次只使用其中之一,即该协议不是一个多道协议。MAC 层负责相邻设备间的单跳数据通讯、确认模式的帧传送与接收、设立与网络的同步和预留时隙管理等工作。

1.2 ZigBee 技术及其技术特点

ZigBee 是一组有关组网、安全和应用软件方面的技术标准,不能把它与 IEEE802.15.4 相混淆。IEEE 仅处理低级 MAC 层和物理层协议,ZigBee 使用 IEEE802.15.4 提供的服务,增加了网络和应用服务内容,并对其网络层协议和 API 进行了标准化。完整的 ZigBee 协议套件由高层应用规范、应用会聚层、网络层、数据链路层和物理层组成,如图 1 所示^[5,6]。

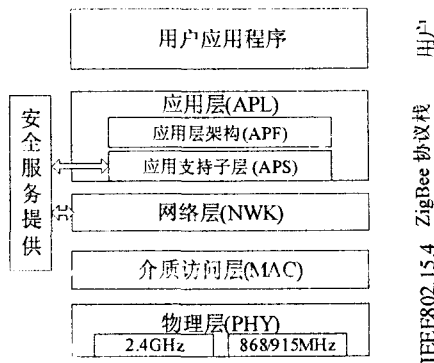


图 1 ZigBee 协议栈模型

ZigBee 底层协议遵循 IEEE 802.15.4 标准,承担着与外界直接作用的任务,控制 RF 收发器工作,负责设备间无线数据链路的建立、维护和结束,可实现低延迟传输,支持各种网络拓扑结构。

网络与安全层主要考虑采用基于移动 Ad hoc 技

术的网络协议,包含以下功能:

- 1)处理节点的进入和离开,搭建新的网络拓扑结构;
- 2)根据网络类型设置节点的协议堆栈;
- 3)使网络协调器对节点分配地址;
- 4)提供网络的路由,保证节点之间的同步;
- 5)使用可选的 AES-128 对通信加密,保证数据的完整性和安全性。

应用层主要负责把不同的应用映射到 ZigBee 网络上,主要根据具体应用由用户开发,具体来说包括:

- (1)多个业务数据流的会聚;
- (2)维持器件的功能属性;
- (3)发现该器件工作空间中其他器件的工作;
- (4)根据服务和需求使多个器件之间进行通信;

1.3 ZigBee 技术的主要优点

ZigBee 技术的主要优点有^[7]:

- (1)低速率。只有 10~250kbit/s,适合低传输速率的应用;
- (2)功耗低。发射功率仅 1mW,还可采用休眠模式,两节普通 5 号电池可工作 6 月~2 年,避免了频繁更换电池;
- (3)成本低。由于传输速率低,网络协议简单,成本较低,且 ZigBee 协议工作于免费的 2.4GHz 的 ISM 频段;
- (4)时延短。典型搜索设备时延为 30ms,休眠激活时延为 15ms,活动设备信道接入时延为 15ms;
- (5)网络容量大。网络可容纳 65,000 个设备;
- (6)安全可靠。采用 AES-128 加密算法,各个应用可灵活确定其安全属性,同时为需要固定带宽的业务预留专用时隙。

2 基于 ZigBee 技术煤矿井下人员定位系统

井下人员定位系统示意图如图 2 所示。系统由地面和井下两部分组成,地面部分是煤矿监控系统及其相关网络设备,主要包括监控机、服务器、交换机和各级用户等;井下定位系统是主要由无线接入模块(网络

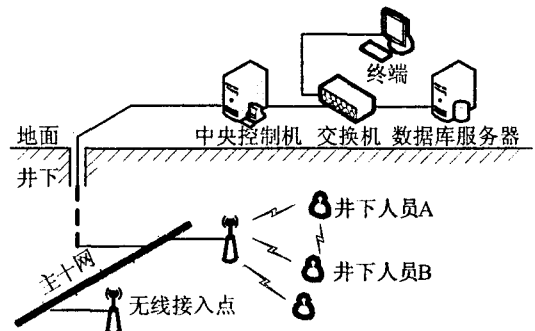


图 2 基于 ZigBee 协议的井下人员定位系统

接入点)、无线 ID 模块(井下工作人员)等无线传感器网络组件以及有线以太网组成。

2.1 主要组成部分功能

(1)定位节点(标识卡)。通过井下人员佩带的 ZigBee 定位模块定时发出存在信息,并进行注册,实现人员定位。

(2)无线接入点。采集定位节点发出的信息,根据接收信号的强度判断其位置,然后将位置信息经以太网发送给信息处理中心,同时还可转发其它无线接入点数据信息。

(3)地面信息处理中心。主要负责网络传输信息的存储,并对其进行分析处理和显示,以便监控中心及时掌握井下人员所处位置和环境参数。

显然,定位系统中的网络主要由基于 ZigBee 技术的无线传感器网络和总线方式的有线网络组成。网络的前端是由 ZigBee 模块组成的无线传感器网络,负责井下数据的采集和传输,后端则是由 CAN 总线构成主要的数据传输骨干通道。

2.2 基于距离(range-based)的定位算法

无线传感器网络的定位包含两层含义:一是确定节点自身所处网络中的坐标位置,另一是确定目标在网络覆盖范围中的位置。

在定位方法中,利用节点的邻近信息定位法只可确定需要定位的节点是否在某个信标节点附近,只能提供大概的定位信息^[8];情景分析法是通过分析照相机拍摄的图片推断出位置并定位,这该方法计算量大,且要提前配置专门的系统^[9]。测距定位是无线传感器网络中应用最为广泛的方法,根据煤矿井下定位系统的要求,设计采用该项方法。

煤矿井下无线通信环境以巷道为主,在受限空间内沿巷道的纵向进行远距离传输。考虑到通信信道的特殊性,将其简化,只考虑在二维平面上的定位,即 x 轴方向定位沿着井下巷道宽度的方面, y 轴沿着巷道长度的方向。下面采用极大似然估计法(MLE)确定目标点的坐标。

在二维空间中,知道一个点到若干个已知参考点的距离,根据几何关系就可以确定该点的坐标,如图 3 所示^[10,11]。

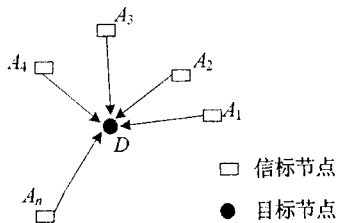


图 3 极大似然估计法示意图

假设有 n 个信标节点,位置坐标为 $A_i(x_i, y_i), i = 1, 2, 3, \dots, n$, 目标节点 D 的坐标为 (x, y) , 与三个信标节点的距离为 $r_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$ 。由解析几何法,可以获得方程组

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 = r_i^2, (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

用前 $(n - 1)$ 个方程分别减去第 n 个方程,整理后得到

$$\begin{cases} 2(x_1 - x_n)x + 2(y_1 - y_n)y \\ \quad = (r_1^2 - r_n^2) - (x_1^2 - x_n^2) - (y_1^2 - y_n^2) \\ 2(x_2 - x_n)x + 2(y_2 - y_n)y \\ \quad = (r_2^2 - r_n^2) - (x_2^2 - x_n^2) - (y_2^2 - y_n^2) \\ \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n)x + 2(y_{n-1} - y_n)y \\ \quad = (r_{n-1}^2 - r_n^2) - (x_{n-1}^2 - x_n^2) - (y_{n-1}^2 - y_n^2) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)可以写成线性矩阵方程形式 $AX = B$, 其中

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ 2(x_2 - x_n) & 2(y_2 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} (r_1^2 - r_n^2) - (x_1^2 - x_n^2) - (y_1^2 - y_n^2) \\ (r_2^2 - r_n^2) - (x_2^2 - x_n^2) - (y_2^2 - y_n^2) \\ \vdots \\ (r_{n-1}^2 - r_n^2) - (x_{n-1}^2 - x_n^2) - (y_{n-1}^2 - y_n^2) \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

采用多边估计使用的极大似然法可获得目标点 N 的最小均方差(MMSE)意义上的估计值 $\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T B$ 。

2.3 基于到达时间(TOA)的定位机制

在 TOA 的定位机制中,根据信号的传播时间和传播速度来计算节点间的距离,然后利用 MLE 计算节点的位置。

定位系统是由布置在巷道内的信标节点和目标节点组成。系统中的节点主要包括无线收发、数据处理和 RF 射频收发等模块。信标节点根据井下环境情况布置,节点位置参数已知,负责测距、数据处理、数据传输等工作;目标节点即为穿戴在井下工作人员身上的身份识别卡,负责对信标节点发送过来的射频信号产生回应。

定位由某个信标节点发起,如图 4^[12]所示。

(1)某个信标节点发出伪噪声序列信号,同时通过无线电同步信息通知目标节点发送的时间和位置(图 a);

(2)目标节点在接收到定位请求后,根据声波的传

播时间和速度计算出与信标节点之间的距离,并广播信息(图 b);

(3)任意三个(或三个以上)相邻的信标节点获得与目标节点的直线距离(或用节点之间的跳段距离作为直线距离的近似值)后,利用极大似然法(或其它方法)计算目标节点的坐标(图 c)。最后对求得的坐标进行修正,以减少误差。

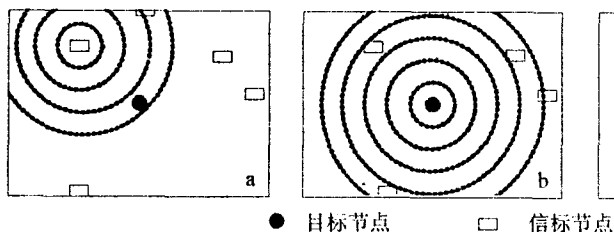


图 4 系统定位实现过程

3 结束语

ZigBee 技术弥补了低成本、低功耗和低速率无线通信市场的空缺,其成功的关键在于丰富而便捷的应用,而不是技术本身。在分析 ZigBee 技术的基础上,提出了基于 ZigBee 协议的井下人员定位系统的设计方案,该体系更加适应井下环境恶劣、人员活动分散的特点,重点研究了后端无线传感器网络的定位技术。系统除了可用于井下人员定位外,还可用于人员调度、人员考勤,以便于矿井生产管理,具有较好的市场前景。

参考文献:

- [1] 张清毅,朱建铭.透地通信信道特性的研究[J].电波科学

学报,1999,14(1):36-40.

- [2] 高永清,商丹,张昔平.感应通信式矿用馈电状态传感器研究[J].传感技术学报,2007,20(5):1038-1041.
 [3] 赵金明,毛宝霞,吴光润.矿井无线漏泄通信系统在煤矿的应用[J].矿山机械,2005,33(3):119-119.
 [4] 刘永平.红外技术在煤矿井下测温和测气中的应用研究[J].红外技术,2000,22(4):59-62.
 [5] ZigBee Alliance, Inc. ZigBee specification v1.0[M]. San Samon:[s. n.],2005.
 [6] 刘圆,朱华.基于 Zigbee 技术的煤矿安全监控系统[J].工矿自动化,2007(4):1-3.
 [7] 顾瑞红,张宏科.基于 ZigBee 的无线网络技术及其应用[J].电子技术应用,2005(6):1-3.

- [8] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS - Less Low Cost Outdoor Localization For Very Small Devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000,7(5):28-34.
 [9] Karl H, Willing A. 无线传感器网络协议与体系结构[M]. 邱天爽,唐洪,李婷,等译.北京:电子工业出版社,2007.
 [10] 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.
 [11] 蒋峰峰,王汝传,孙力娟.基于移动 Agent 无线传感器网络节点自定位算法[J].计算机技术与发展,2007,17(6):1-4.
 [12] 韩屏,李方敏,吴学红.一种基于无线传感器网络的实用性地下坑道定位方法[J].传感技术学报,2007,20(10):2313-2318.

(上接第 242 页)

4 结束语

文中分析了 CFAST 在用户界面和模拟结果方面的不足,提出了这种烟气扩散模拟方法,由于 CFAST 是一款自由软件,这为本方法的推广提供了便利。但是,也存在一些不足,例如只能通过接口文件的形式与 CFAST 进行通信。如何使接口设计的更加合理,将是未来工作的重点。

参考文献:

- [1] 邵刚,杨培中,金先龙.FDS 中非矩形边界隧道的自动建模[J].计算机工程与应用,2005(36):213-216.
 [2] 费少梅,彭艳莹,陆国栋,等.基于粒子系统的湍流燃烧火焰的可视化研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,

2005,17(3):461-466.

- [3] 高宇飞,程远平,刘静.火灾区域模型中压力方程的求解[J].消防科学与技术,2005,24(5):550-553.
 [4] Bukowski R, Séquin C. Interactive Simulation of Fire in Virtual Building Environments[C]//Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics. USA: ACM, 1997:35-44.
 [5] 舒中俊,孙华玲.火灾区域模拟原理及 CFAST 软件应用[J].武警学院学报,2004,20(2):30-32.
 [6] 刘小燕.高层大型建筑三维消防档案建模技术的研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2005.
 [7] Reeves W T. Particle System - A Technique for Modelnig a Class of Fuzzy Objects[J]. ACM Transaction on Graphics, 1983,2(2):91-108.