

基于无线传感器网络的改进 RSSI 井下定位算法的矿井人员定位系统设计

任子晖, 顾靓雨, 周萌萌

(中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘要 为了确保矿井人员的人身安全, 提高井下定位系统的精确度, 设计一种基于无线传感器网络的改进 RSSI 井下定位算法的矿井人员定位系统。根据井下环境特点搭建了系统框架, 并详细介绍了系统的传感器节点结构及硬件设计, 针对矿井环境特点, 修正测距模型, 在 RSSI 算法中引入加权因子求平均的算法定位未知节点, 并通过泰勒级数展开求导的方法对坐标进行修正, 最后采用加权质心算法求未知节点的坐标。仿真实验表明, 改进后定位算法定位的精度较为精确, 具有一定的应用价值。

关键词 无线传感器网络; RSSI 算法; 矿井人员; 定位系统

中图分类号 TD76 **文献标识码** B **文章编号** 1006-6225 (2015) 03-0136-04

Design of Mine Personnel Location System Based on Wireless Sensors Network

井下人员定位和环境监测是提高矿井生产安全的必要条件。目前, 基于 RFID 的人员定位系统属于粗略的区间定位方式, 不能及时、精确地定位人员位置, 将低功耗、低成本的无线传感器网络技术应用在矿井救援过程中, 可以准确地确定矿井人员的具体位置。本文构建以 CC2510 为核心的矿井人员定位系统, 改进了 RSSI 算法, 该系统具有能耗低、寿命长的特点, 并且能够实现实时、高精度的追踪定位功能。

1 矿井人员定位系统的架构设计及实施

1.1 矿井人员定位系统的结构模型

井下环境特殊, 矿井地质结构和环境参数复杂, 因此想要实时监测到井下的某些数据会比较困难。为了改进不足, 建立了一个实现井下人员定位、生产调度、应急救援与安全监控督察相结合的井下人员定位系统。该系统包括井上监测中心、多个井下基站和多个井下人员定位单元, 所有设备均连接在现场总线上。井下定位网络由无线传感器网络和 CAN 总线有线网络组成, 前端无线传感器网络进行人员定位信息的采集和传输, 后端 CAN 总线构成数据传输骨干通道。井下基站是一个功能强大的数据中转站, 其上端与监测中心相连, 下端与网关相连。通过井下基站, 可将人员定位系统与煤

矿安全监控系统的其他部分(如环境监测分站、报警设备等)有机结合。网关是无线传感器网络的汇集节点, 它和周围若干无线传感器测点组成定位单元。当井下工作人员携带移动无线传感器进入人员定位单元感应范围时, 定位系统根据接收到的 RSSI 值, 利用定位算法计算工作人员所处的位置。矿井人员定位系统构成如图 1 所示。

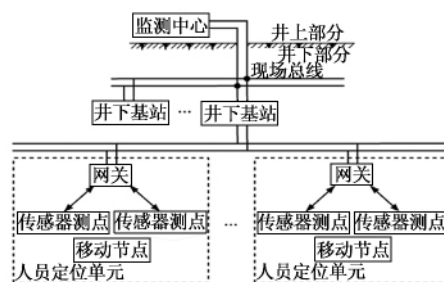


图1 矿井人员定位系统示意

1.2 矿井人员定位系统的设计方案

该系统包括人员定位终端设备(RFD), 它可以将井下人员的位置信息传送至井上, 并具备声光报警功能, 采用 CC2510 作为核心模块, 由电池给其供电, 由于 ID 唯一, 所以可以进行身份识别, 井下定位基站使得这些信标节点得以互相通讯。井下定位基站是一个完全功能设备(FFD), 有助于网络数据的采集、融合和转发, 构建成井下无线通

收稿日期 2014-08-18

作者简介 任子晖(1962-), 男, 天津人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事电网谐波治理, 通风检测研究工作。

引用格式 任子晖, 顾靓雨, 周萌萌. 基于无线传感器网络的改进 RSSI 井下定位算法的矿井人员定位系统设计[J]. 煤矿开采, 2015, 20(3): 136-139.

DOI 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2015.03.039

信网络，以此实现人员定位。

1.3 人员定位系统的传感器节点硬件设计

传感器节点的整体结构如图 2 所示。

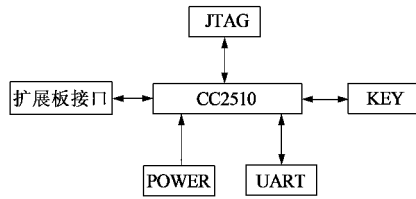


图 2 传感器节点的整体结构

1.3.1 处理器模块

人员定位系统的主控芯片采用 CC2510，其集微控制器、软件及射频收发于一体，是一块内嵌 8051 单片可编程收发器芯片，其内部的收发器即使在较强的电磁干扰环境下仍然能够保证较高的通信质量，使其可应用于高可靠性及高数据吞吐量的 2.4GHz 频段。另外，该芯片还内嵌 32kB 的 Flash 存储器、4kB 的 SRAM 以及 8 通道 8-14bit A/D 转换器、1 个 16 位定时器和 3 个 8 位定时器、2 个 UART/SPI，RTC、看门狗电路、DES 编码和 21 个通用 I/O，因此，该芯片具有高速度、高灵敏度、低功耗、低成本、同步、频率灵活的特点。

1.3.2 电源模块

在井下定位系统中，包含了许多分布在目标域各处的节点设备，有时目标域自然条件恶劣，地形复杂，无法对节点正常供电，在此条件下就需要节点自身携带电源对其提供运行所需的能量。在系统节点的实际应用中，选用外接锂电池对节点进行供电，供电电压约为 3V，能够满足节点正常工作需求。

1.3.3 串口模块设计

本系统中的串口是由 USB 接口把仿真器与计算机连接起来，实现接口与计算机通信，结构图如图 3 所示，USB 转串口电路如图 4 所示。

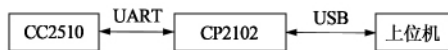


图 3 串口模块结构设计

1.3.4 JTAG 接口设计

CC2510 支持在线调试仿真，利用 IAR 开发工具可以通过 JTAG 接口实现对硬件节点的在线实时仿真调试，本系统采用的 JTAG 仿真接口是 10 针。如图 5 所示。

2 定位算法

2.1 改进的 RSSI 定位算法

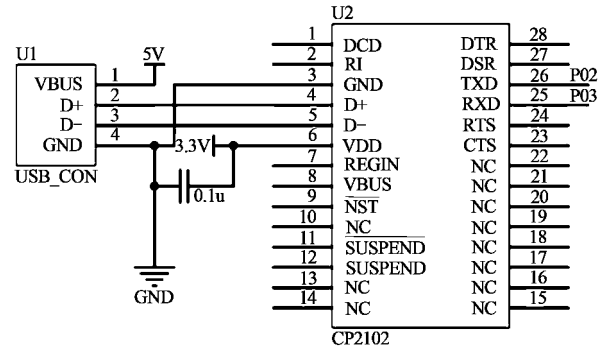


图 4 串口转 USB 电路

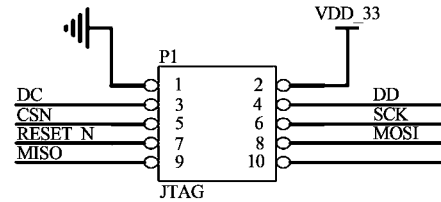


图 5 JTAG 接口引脚

由于巷道内墙壁粗糙、环境潮湿、粉尘较大，无线信号多径衰落、反射、散射等特点，基于 RSSI 算法的定位易受环境、测量、遮蔽等因素的影响，使得定位不准确。常用损耗模型为

$$P_r(d) = P_0(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) - X_\sigma \quad (1)$$

式中， $P_0(d_0)$ 为 d_0 处的信号强度； n 为信道衰减指数； X_σ 为随机变量，是一个不确定值，随时间而变化，可用其他值代替。考虑到井下环境的特殊性，用高斯滤波的方法对实验数据进行滤波，对高斯模型滤除后剩余的数据求平均值，代入求得的损耗模型公式可求得距离。

改进算法的创新点是：在距离公式的基础上，引入加权因子求平均的算法确定被测节点的估算区域，再采用泰勒级数展开对节点坐标优化，以此提高了定位精度。

根据井下的环境特点，RSSI 算法模型可以简化为：

$$P_r(d) = P_0(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

为了方便理解公式可以用信号强度表示，上式可以转化为：

$$RSSI_{ij} = RSSI_{i_i} - 10n \lg \frac{d_{ij}}{d_{ii}} \quad (3)$$

式中， $RSSI_{ij}$ 和 $RSSI_{i_i}$ 表示未知节点 i 和已知节点 i 和 j 之间的信号强度， d_{ij} 和 d_{ii} 表示未知节点 i 和已知节点 i 和 j 之间的距离， i 可以从 2 到 m 来表示， j 和 i 不相等。从而求得：

$$d_{1j} = d_{1i} 10^{\frac{RSSI_{1j} - RSSI_{1i}}{10n}} \quad (4)$$

可求得 d_{1j} 平均值:

$$d_{1j} = \frac{d_{12} 10^{\frac{RSSI_{12} - RSSI_{1j}}{10n}} + d_{13} 10^{\frac{RSSI_{13} - RSSI_{1j}}{10n}} + \cdots + d_{1m} 10^{\frac{RSSI_{1m} - RSSI_{1j}}{10n}}}{m-1} \quad (5)$$

选择与 $RSSI_{1j}$ 不相等的值引入加权平均, 由公式 (5) 可以对 d_{1j} 平均距离引入加权因子, u 代表未知节点:

$$d_{uj} = \frac{\sum_{i=2}^m (d_{ui} 10^{\frac{RSSI_{1j} - RSSI_{1i}}{10n}}) \left| \frac{1}{RSSI_{ui} - RSSI_{uj}} \right|}{\sum_{i=2}^m \left| \frac{1}{RSSI_{ui} - RSSI_{uj}} \right|} \quad (i \neq j) \quad (6)$$

当知道未知节点到已知节点的距离后, 采用质心加权的算法来定位未知节点, 得到未知节点的坐标为:

$$x = \frac{\left(\frac{1}{d_1 + d_2}\right)x_1 + \left(\frac{1}{d_2 + d_3}\right)x_2 + \left(\frac{1}{d_1 + d_3}\right)x_3}{\left(\frac{1}{d_1 + d_2}\right) + \left(\frac{1}{d_1 + d_3}\right) + \left(\frac{1}{d_2 + d_3}\right)} \quad (7)$$

$$y = \frac{\left(\frac{1}{d_1 + d_2}\right)y_1 + \left(\frac{1}{d_2 + d_3}\right)y_2 + \left(\frac{1}{d_1 + d_3 + d_4}\right)y_3}{\left(\frac{1}{d_1 + d_2}\right) + \left(\frac{1}{d_1 + d_3}\right) + \left(\frac{1}{d_2 + d_3}\right)} \quad (8)$$

式中 d_1, d_2 和 d_3 代表未知节点到信标节点的距离; $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 分别是 3 个信标节点的坐标。

用泰勒级数展开对节点坐标优化, 修正函数为:

$$f(x, y) = f(\hat{x} + \Delta x, \hat{y} + \Delta y) \quad (9)$$

消去多阶偏导, 计算各偏导数得:

$$\begin{cases} \frac{\partial f(\hat{x}, \hat{y})}{\partial \hat{x}} \Delta x = \frac{\hat{x} - x_i}{\hat{d}_i} \\ \frac{\partial f(\hat{x}, \hat{y})}{\partial \hat{y}} \Delta y = \frac{\hat{y} - y_i}{\hat{d}_i} \end{cases} \quad (10)$$

式中, $\hat{d}_i = \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2}$ 。

整理得到:

$$\hat{d}_i - d_i = \frac{x_i - \hat{x}}{\hat{d}_i} \Delta x + \frac{y_i - \hat{y}}{\hat{d}_i} \Delta y \quad (11)$$

令公式 (11) 中:

$$\begin{cases} \Delta d_i = \hat{d}_i - d_i \\ a_{xi} = \frac{x_i - \hat{x}}{\hat{d}_i} \\ a_{yi} = \frac{y_i - \hat{y}}{\hat{d}_i} \end{cases} \quad (12)$$

可化简公式 (12), 当未知节点获得 3 个以上已知节点的信息后, 就可以得到一个方程组:

$$\begin{cases} \Delta d_1 = a_{x1} \Delta x + a_{y1} \Delta y \\ \Delta d_2 = a_{x2} \Delta x + a_{y2} \Delta y \\ \cdots \\ \Delta d_n = a_{xn} \Delta x + a_{yn} \Delta y \end{cases} \quad (13)$$

用最小二乘法来求解方程组, 可以得到:

$$\begin{cases} \Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n a_{xi} \Delta d_i \sum_{i=1}^n a_{yi}^2 - \sum_{i=1}^n a_{yi} \Delta d_i \sum_{i=1}^n a_{xi} a_{yi}}{\sum_{i=1}^n a_{xi}^2 \sum_{i=1}^n a_{yi}^2 - \left(\sum_{i=1}^n a_{xi} a_{yi}\right)^2} \\ \Delta y = \frac{\sum_{i=1}^n a_{yi} \Delta d_i \sum_{i=1}^n a_{xi}^2 - \sum_{i=1}^n a_{xi} \Delta d_i \sum_{i=1}^n a_{xi} a_{yi}}{\sum_{i=1}^n a_{xi}^2 \sum_{i=1}^n a_{yi}^2 - \left(\sum_{i=1}^n a_{xi} a_{yi}\right)^2} \end{cases} \quad (14)$$

依次迭代循环可以求得一个更精确的未知节点的坐标。

3 仿真实验及实验结果分析

为了验证改进后算法的准确性, 用 matlab7.0 仿真定位的结果。模拟井下巷道环境, 在 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 的正方形区域内, 随机共部署 100 个节点, 15 个信标节点, 85 个未知节点, 此时的通信半径 R 设为 50m 。分别对没有经过加权求坐标和经过改进的定位算法进行定位误差的仿真分析。图 6 为未经过加权求坐标, 此时定位误差为 0.3781 , 其中有 4 个未知节点没有被定位到。图 7 为经过改进的定位算法, 定位误差为 0.1485 , 未知节点全部被定位到。仿真结果表明用 RSSI 加权因子改进的算法定位的误差相对较小, 定位的精度较高, 能满足定位设计的需要。

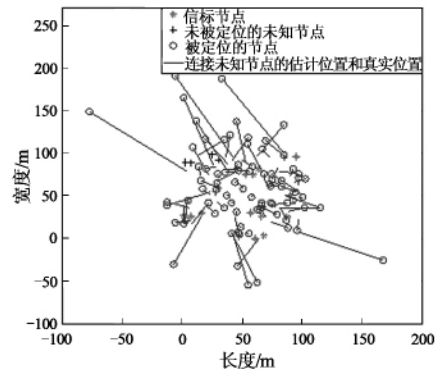


图 6 未改进的定位误差

4 算法的性能评估

在井下巷道环境对定位系统进行了实验测试, 实验系统由 1 个定位单元和 1 台上位计算机组成。为了模拟真实煤矿环境, 设置巷道中的平均温度为

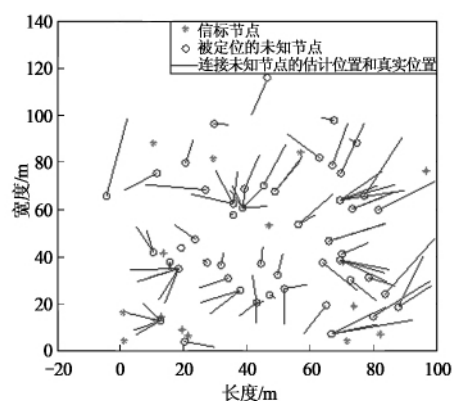


图 7 改进后的定位误差

15℃，巷道宽度为 1.86m，长度约为 150m。以巷道的长度方向为 x 轴，宽度方向为 y 轴，以巷道的入口为坐标原点建立坐标系。4 个已知节点分别布置在巷道的两侧，坐标为移动节点在巷道中的定位区域运动，利用上位机定位软件监测移动节点的位置信息。定位精度测试结果见表 1。

表 1 定位精度结果

采样点	真实值	测量值	误差
Loc1	(2.0, 1.0)	(1.8, 0.9)	0.2
Loc2	(4.0, 1.0)	(3.9, 1.2)	0.3
Loc3	(6.0, 1.0)	(5.8, 1.0)	0.2
Loc4	(8.0, 1.0)	(7.9, 1.0)	0.1

5 结束语

针对煤矿井下巷道环境复杂、无线信号多径效应明显的情况，传统 RSSI 定位算法误差较大，因此需要改进原有的定位系统，确保井下工作安全进行。在对定位系统进行认真分析与研究的基础上，

结合系统框架模型，设计出了适合井下生产应用的人员定位系统，为了提高定位的精确度，对原有的 RSSI 定位算法进行了改进，该算法适合矿井的复杂环境，并且定位误差较小，可以有效地确定井下人员的具体位置。

参考文献

- [1] 刘延岭. 基于 JAVA 的煤矿井下人员定位系统设计 [J]. 煤矿开采, 2011, 16 (1): 87-89.
- [2] 徐加伟, 李清伟. 浅谈煤矿井下人员定位系统 [J]. 煤矿开采, 2009, 14 (4): 72-73.
- [3] 韩冬升, 杨维, 刘洋, 等. 煤矿井下基于 RSSI 的加权质心定位算法 [J]. 煤炭学报, 2013, 38 (3): 522-527.
- [4] 王钦. 基于 ZigBee 技术的无线传感网络研究与实现 [J]. 重庆理工大学学报, 2011, 25 (8): 46-51.
- [5] 龙铁光, 黄廷磊. 无线传感器网络中基于 RSSI 算法的优化 [J]. 计算机系统应用, 2013, 22 (1): 107-110.
- [6] 万国锋, 钟俊, 杨成慧. 改进的 RSSI 测距和定位算法 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (11): 4146-4157.
- [7] 孙晶晶. 基于 ZigBee 的井下人员定位技术研究 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2013.
- [8] 景哲. 一种改进的 RSSI 井下定位算法 [J]. 测试技术学报, 2013, 27 (5): 440-443.
- [9] 潘翔. 基于 RFID 与无线传感网的智能定位系统研究 [J]. 煤炭技术, 2013, 32 (1): 192-193.
- [10] 蔡立斌. 基于 Android 的智能移动设备 GPS 定位系统的设计与实现 [J]. 人工智能及识别技术, 2012, 35 (8): 8478-8480.
- [11] 裴忠民, 李贻斌, 徐硕. 大规模无线传感器网络快速定位算法 [J]. 中国矿业大学学报, 2013, 42 (2): 315-317.

责任编辑：施红霞

一批涉矿非行政许可审批事项被取消或调整

日前，国务院发布关于取消非行政许可审批事项的决定，在前期大幅减少部门非行政许可审批事项的基础上，再取消 49 项非行政许可审批事项，将 84 项非行政许可审批事项调整为政府内部审批事项。今后不再保留“非行政许可审批”这一审批类别。

其中，“矿产资源综合利用示范基地确定和矿产资源综合利用示范基地建设总体规划审查批准”、“探矿权、采矿权协议出让申请审批”、“矿业权设置方案审批或备案核准”、“设立、变更或者撤销国家规划矿区、对国民经济具有重要价值的矿区审批”、“矿业权价款评估备案核准”、“国家地质公园规划审批”、“直辖市人民政府申报的中国温泉之乡（城、都）的发展建设总体规划审查”等由国土资源部或其他部门共同审批的非行政许可审批事项被取消。由国家能源局审批的“中央管理企业和跨省（区、市）从事高瓦斯或煤与瓦斯突出矿井生产建设的煤矿企业瓦斯防治能力评估”非行政许可审批事项也被取消。

同时，由国土资源部审批的“矿产资源规划审批”、“保护性开采的特定矿种审核”调整为政府内部审批的事项。由国家能源局审批的“省级能源发展规划审批”、“涉及全国布局、总量控制及跨省输送的区域性能源综合发展规划审批”也调整为政府内部审批的事项。

决定要求，各地区、各有关部门要认真做好取消事项的落实工作，加强事中事后监管，防止出现管理真空，且不得以任何形式变相审批。调整为政府内部审批的事项，不得面向公民、法人和其他社会组织实施审批；审批部门要严格规范审批行为，明确政府内部审批的权限、范围、条件、程序、时限等，严格限制自由裁量权，优化审批流程，提高审批效率。要进一步深化行政体制改革，深入推进简政放权、放管结合，加快政府职能转变，不断提高政府管理科学化、规范化、法治化水平。

摘要自《煤炭信息周刊》2015. 5. 21