改进 RSSI 加权质心算法在井下人员定位中的应用研究

朱 光
（长春汽车工业高等专科学校，吉林 长春 130011）

摘 要：为提高煤矿井下人员定位的精确性，确保井下人员的快速定位，以实现井下快速救援和日常监督，本文根据无线接入点的关联性，通过接收信号强度值（RSSI）计算参考节点和定位节点的距离，提出基于改进 RSSI 加权质心算法的井下人员定位技术，消除了传统改进 RSSI 定位算法中人为因素对路径损耗确定的干扰。根据实际巷道环境进行了基于 RSSI 加权质心算法和改进 RSSI 加权质心算法的人员信息定位技术的模拟仿真，结果证明了改进 RSSI 加权质心算法能够增加井下人员定位的精准可靠性，更加适用于井下定位系统。

关键词：人员定位；ZigBee 无线通讯；RSSI；加权质心；改进定位算法
中图分类号：TP277 **文献标识码**：A **文章编号**：1004-4051(2018)12-0198-04

Application research of improved RSSI weighted centroid algorithm in downhole personnel positioning

ZHU Guang
(Changchun Automobile Industry Insititute, Changchun 130011, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of underground personnel positioning and ensure the rapid positioning of underground personnel to achieve rapid rescue and daily supervision, this paper calculates reference nodes and positioning nodes by receiving signal strength value (RSSI) according to the relevance of wireless access points. The distance is proposed, and the downhole personnel positioning technology based on the improved RSSI weighted centroid algorithm is proposed to eliminate the interference of the human factors on the path loss determination in the traditional RSSI positioning algorithm. Based on the actual roadway environment, the simulation of personnel information location technology based on RSSI weighted centroid algorithm and improved RSSI weighted centroid algorithm is carried out. The results show that the improved RSSI weighted centroid algorithm can increase the accuracy and reliability of downhole personnel positioning, and is more suitable for downhole positioning system.

Keywords: personnel positioning; ZigBee wireless communication; RSSI; weighted centroid; improved positioning algorithm

0 引 言

煤矿产业的快速发展给井下人员作业安全提出了新的要求，人员目标的精确定位对于煤矿安全十分重要，可以帮助管理人员实时监测人员出勤情况，对于紧急事故中的人员快速救援也能够提供救援方案依据，及时减少损失[1]。人员定位是物联网研究方向之一，采用矿山物联网系统有助于实现人员定位[2-3]。

1 巷道概况

本文以长春市双阳区长岭煤矿 1303 回采工作面运料巷实际井下环境为测试模拟环境，1303 工作面东部为三采区胶带巷（里段），南临安城正断层，西距井田边界 200 m，北部为实煤体。1303 运巷设计长度为 2 248.657 m（中-中），巷道为 1-1 断面，宽为

收稿日期：2018-06-28 **责任编辑**：宋菲
作者简介：朱光（1962—），男，朝鲜族，吉林敦化人，大学本科，副教授，研究方向为数学、教育培训。
引用格式：朱光. 改进 RSSI 加权质心算法在井下人员定位中的应用研究[J]. 中国矿业，2018，27(12)：198-201. doi：10.12075/j.issn.1004-4051.2018.12.029

5.2 m，高为 3.2 m，断面积为 16.64 m^2。1303 运巷开口位置位于三采区胶带巷（里段）与 1303 运联巷立交点风桥以北 88.247 m（中-中）处西帮，采用机掘方式进行开口。整个巷道采用锚（锚杆、锚索）、网、梁、槽钢联合进行支护。1303 运巷沿 3# 煤层采用底板掘进。

1303 工作面运料巷平面布置如图 1 所示。

2　井下人员定位总体方案

煤矿井下工作场所封闭程度高，外界信号干扰少，信号频段选择范围广，无线定位通信技术较多，常用的通信技术有 WiFi 通信技术、RFID 识别通信技术、UWB 通信技术以及 ZigBee 通信技术等[4-6]。其通信技术性能参数对比见表 1。

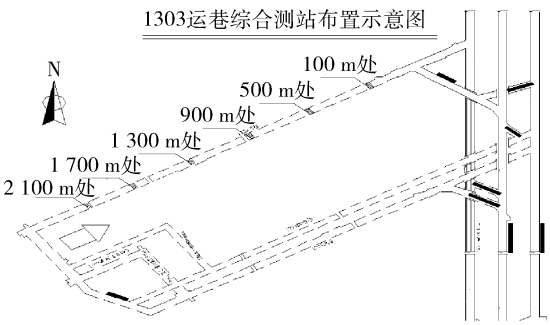

图 1　1303 工作面运料巷平面布置图

表 1　常用无线传输技术比较

通讯方式	RFID	WIFI	ZigBee	UWB
通讯距离/m	15～30	20～100	20～70	＜10
精度	低	一般	较高	较高
能耗	较低	较高	低	一般
构建成本	较低	一般	低	高
通信频率/MHz	13.5	2.4	2.4	4.5～11
自组网性	否	否	是	否

根据表 1 可以发现，相对其他几种无线通信技术，ZigBee 技术能够实现低功耗和低成本，其自身具备的自组网性能对于井下复杂环境更加适用。

基于 ZigBee 无线通讯技术的煤矿井下人员定位数据通讯系统主要结构包括终端设备、路由器、协调器，三种设备在井下人员定位系统中分别称作定位节点、参考节点和网关节点。井下数据通过工业以太网传输至井上监控计算机，其结构框图如图 2 所示。

3　基于改进 RSSI 加权质心定位技术

3.1　基于 RSSI（接收信号强度）测距技术

基于 RSSI 的定位是当前广泛应用于封闭环境的定位技术，以室内与井下应用为主[7]。RSSI 主要是已知定位节点发射出信号时的功率以及信号被接收之后的功率，然后通过带入路径损耗模型公式计算得出节点之间的距离。通过在井下定位区域安放固定无线接入点，依据相应规则在该区域选取参考点，当参考点接收井下人员携带定位仪的信号强度值（RSSI）满足各接入点要求时，搜索全部参考点，将参考点与信号强度完成映射，进而计算出接收端（参考节点）与发射端（定位节点）的距离。

通过采集参考点各无线接入点的信号强度形成人员位置信号强度值，井下巷道环境复杂多变，无线接入点的信号强度值变化频率高，因此有必要通过卡尔曼滤波技术对信号波形进行过滤，使信号干扰影响降低，增加信号波形的精确可靠性[8-9]。波形过滤过程如图 3 所示，对其突变和随机信号进行了过滤，滤波处理后的信号强度值更加平顺。

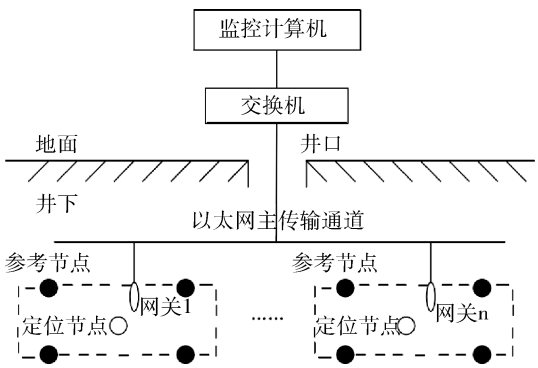

图 2　井下人员定位系统结构图

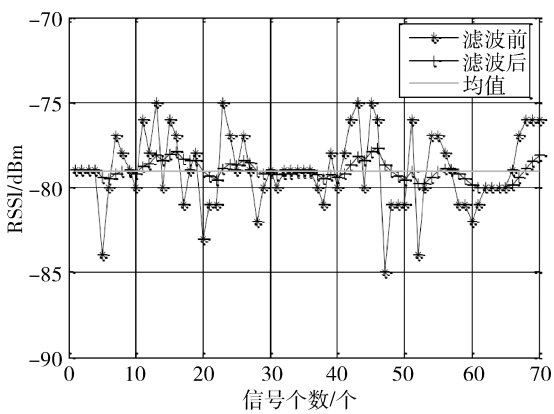

图 3　RSSI 值的卡尔曼滤波处理

3.2　改进 RSSI 定位算法

本文将路径损耗（Pass Loss）模型进行测距计算：$P(r_0)$ 为已知发射端（定位节点）发射到接收端的信号功率；r_0 为接收端（参考节点）与发射端的距离；$P(r)$ 为距离发送端为 r 处的信号功率；r 为接收端（定位节点）与发射端的距离，则信号损耗的表达式见式（1）。

$$P(r_0) = P(r) \cdot \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\beta} \tag{1}$$

式中，β 为信号传输路径的功率损耗系数取值范围为 $2<\beta<6$，具体数值以专家经验取值为准。

由式(1)可得接收端与发射端(定位节点)最终距离 r 的表达式见式(2)。

$$r=r_0\left(\frac{P(r_0)}{P(r)}\right)^{1/\beta} \tag{2}$$

3.3 加权质心定位算法研究

质心定位算法的理论依据：在拓扑结构中，参考节点以一定的频率向定位节点发送包含参考节点 ID 及其距离信息的信号[10-11]。定位节点记录所有参考节点的分组数，在经过时间间隔 t 后，测量通信成功率 k，根据定位节点来设置通信成功率 k 的阈值。若测量的 k 值大于设定的阈值，就可以认为定位节点处在通信范围以内，即定位节点与参考节点之间连通，否则不连通。因此，定位节点位置为所有连通状态下参考节点构成的多边形的质心(图 4)。

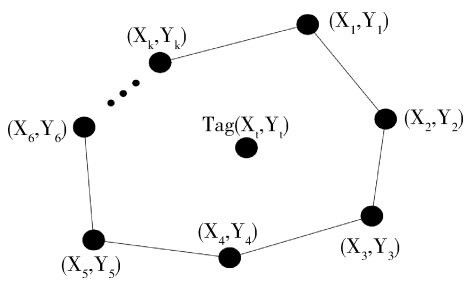

图 4 多边形模型

定位节点的位置的计算表达式见式(3)。

$$(X_t,Y_t)=\left(\frac{X_1+X_2+\cdots+X_i}{k},\frac{Y_1+Y_2+\cdots+Y_i}{k}\right) \tag{3}$$

式中：(X_t,Y_t) 为定位节点坐标；i 为连通状态下参考节点总个数。

通过测量参考节点所接收到的定位节点信号强度 RSSI 数值，来确定参考节点的权值，权值越大，代表参考节点对定位节点的影响越大[12]，加权质心定位算法可以表示为式(4)。

$$(X_{et},Y_{et})=\left(\frac{\sum_{i=1}^{N}W_i\cdot X_i}{\sum_{i=1}^{N}W_i},\frac{\sum_{i=1}^{N}W_i\cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{N}W_i}\right) \tag{4}$$

式中：(X_{et},Y_{et}) 为定位节点坐标；N 为参考节点总个数；W_i 为权值，权值大小受参考节点和定位节点的距离影响[13-14]。如果定位节点与参考节点不连通，那么 $W_i=0$。加权质心定位算法提升了质心定位算法的定位精度，但对煤矿井下复杂多变的环境还是不能很好地实现人员的定位，因此本文提出了基于改进 RSSI 加权质心定位的方法。

3.4 改进 RSSI 加权质心定位算法

基于改进 RSSI 加权质心定位算法的理论思想，令参考节点 $A_1(X_1,Y_1)$、$A_2(X_2,Y_2)$、$A_3(X_3,Y_3)$，定位节点 t_{gi}，设定参考节点以一定频率向网络传输射频信号。通过式(2)分别计算出参考节点到定位节点的距离。选择所有与定位节点连通的参考节点中，距离定位节点最近的三个参考节点为定位算法的定位节点，分别表示为：r_{g1}、r_{g2}、r_{g3}。分别用其作为圆心，以 r_{g1}、r_{g2}、r_{g3} 半径做圆，所得圆两两相交，求出圆的交点。然后把交点构成三角形，计算出三角形的质心。最后求出质心的加权值确定定位节点位置，如图 5 所示。

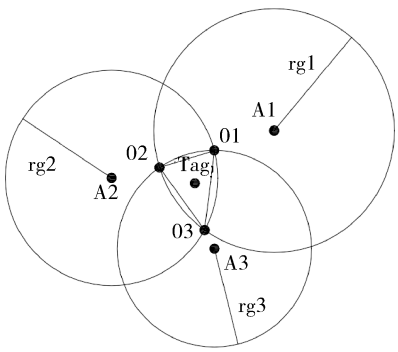

图 5 改进加权质心定位算法模型

以参考节点 A_1、A_2、A_3 为圆心，以 r_{g1}、r_{g2}、r_{g3} 为半径做圆，得到两两相交的三个圆，计算交点坐标 O_1、O_2、O_3，见式(5)。

$$\begin{cases}(X_{O1}-X_1)^2+(Y_{O1}-Y_1)^2=r_{g1}^2\\(X_{O1}-X_2)^2+(Y_{O1}-Y_2)^2=r_{g2}^2\\(X_{O1}-X_3)^2+(Y_{O1}-Y_3)^2=r_{g3}^2\end{cases} \tag{5}$$

式中，(X_{O1},Y_{O1}) 为交点 O_1 坐标。

由式(6)同理得出 O_2、O_3 的坐标。

$$\begin{cases}X_t=\dfrac{1}{3}(X_{O1}+X_{O2}+X_{O3})\\Y_t=\dfrac{1}{3}(Y_{O1}+Y_{O2}+Y_{O3})\end{cases} \tag{6}$$

式中，(X_t,Y_t) 为 $\Delta O_1O_2O_3$ 的质心坐标。

权值 $W_1=\dfrac{r_{g1}}{r_{g1}+r_{g2}+r_{g3}}$，同理得 W_2 和 W_3。带入式(4)，得定位节点坐标 (X_{et},Y_{et})。

4 定位结果分析

本文以长春市双阳区长岭煤矿 1303 回采工作面运料巷实际井下环境作为研究背景，选取巷道中段部分，取长、宽、高分别为 50 m、3.2 m、5.2 m，延巷道两侧分别均匀布置 5 组参考节点，参考节点距离巷道壁距离为 0.5 m。

在实验巷道内以巷道宽度为 x 轴，楼道长度为

y 轴，进行五组不同实验，分别利用 RSSI 加权质心定位算法、改进 RSSI 定位算法、改进 RSSI 加权质心定位算法进行计算。计算结果与实际测量值对比见表 2。

从表 2 实验结果可以看出，经过改进后的加权质心定位算法对定位结果更准确。

在实验室中通过 MATLAB 实验仿真，在一个 100 m×100 m 的实验环境内，将 100 个参考节点均匀分布在实验场地内，设置定位节点个数为 50 个，分别对 RSSI 加权质心定位算法与改 RSSI 加权质心定位算法进行 300 次的仿真实验，得两种定位算法误差对比结果如图 6 所示。

由图 6 可知，随着定位时间增长，两种定位算法误差都有不同程度的波动。在整个定位过程中基于改进 RSSI 加权质心定位算法都有更高的定位精度。

表 2　定位算法测量结果比较

实际坐标	实测坐标(x',y')/m		
(x,y)/m	RSSI 加权质心	改进 RSSI 定位	改进 RSSI 加权质心
1.45,2.69	0.91,1.67	1.68,3.12	1.43,2.71
0.81,4.54	0.51,3.34	0.78,4.18	0.80,4.51
1.23,16.59	0.89,14.56	0.98,15.92	1.21,16.63
0.78,28.50	1.49,24.98	1.39,26.87	0.80,28.40
0.69,37.72	1.49,36.55	0.89,37.01	0.70,37.69

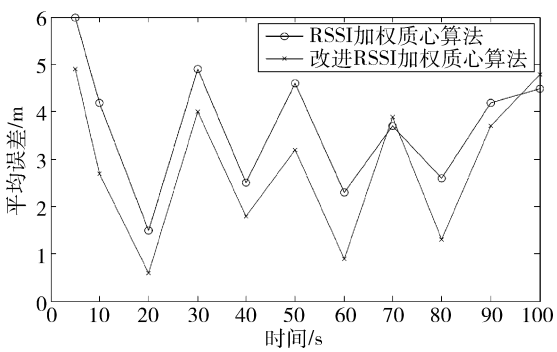

图 6　两种定位算法误差对比结果

5　结　语

本文针对煤矿井下作业人员定位技术进行了分析，通过将人员定位仪信号强度计算定位节点与参考节点距离，并对 RSSI 加权质心定位算法进行分析研究，指出其实际应用中不足，同时提出改进 RSSI 加权质心定位算法，该算法重点从信号传播损耗模型上分析信号强度定位误差的来源，解决了因随机变量的不确定性影响定位误差问题。通过定位实验对比 RSSI 加权质心定位算法与改 RSSI 加权质心定位算法的定位准确性，结果表明改 RSSI 加权质心定位算法的定位误差明显减小，定位准确稳定程度更高，能更好满足井下人员定位要求。

参考文献

[1]　孙继平. 煤矿物联网特点与关键技术研究[J]. 煤炭学报，2011，36(1)：167-171.

[2]　赵端. 基于 WPT 技术的井下定位系统关键技术研究[D]. 徐州：中国矿业大学，2014.

[3]　徐肖肖. 基于煤矿物联网的智能定位终端的设计及定位研究[D]. 徐州：中国矿业大学，2014.

[4]　胡青松，张申，吴立新，等. 矿井动目标定位：挑战、现状与趋势[J]. 煤炭学报，2016，41(5)：1059-1068.

[5]　孙继平，李晨鑫. 基于 Wi Fi 和计时误差抑制的 TOA 煤矿井下目标定位方法[J]. 煤炭学报，2014，39(1)：192-197.

[6]　李论，丁恩杰，郝丽娜，等. 一种改进的煤矿井下指纹定位匹配算法[J]. 传感技术学报，2014(3)：388-393.

[7]　RHEE K，JIN K，KIM S，et al. Challenge-Response based RFID authentication protocol for distributed database environment[J]. Kips Transactions Partc，2005，3450(3)：309-316.

[8]　谷春斌. 基于移动终端传感器的室内定位技术研究[D]. 成都：电子科技大学，2015.

[9]　陈惠雄，徐杜. 基于 UWB 的特殊病人无线定位技术[J]. 信息通信，2016(4)：64-66.

[10]　丁一珊. 矿井移动目标定位增强算法研究[D]. 徐州：中国矿业大学，2016.

[11]　XU E，DING Z，DASGUPTA S. Source localization in wireless sensor networks from signal time-of-arrival measurements[J]. IEEE Transactions on Signal Processing，2011，59(6)：2887-2897.

[12]　徐晓菊，唐翔. 一种自适应煤矿井下环境的加权质心节点定位算法[J]. 计算机测量与控制，2014，22(10)：3274-3277.

[13]　马京，胡青松，宋泊明，等. 基于指纹膜与航迹推算的井下人员定位系统[J]. 工矿自动化，2016，42(5)：19-23.

[14]　刘春燕，王坚. 基于几何聚类指纹库的约束 KNN 室内定位模型[J]. 武汉大学学报：信息科学版，2014，39(11)：1287-1292.