

文章编号:1673-0062(2017)04-0059-05

铀尾矿库放射性污染无线传感器网络监测 改进型加权质心定位算法

余修武^{1,2},周利兴^{1,2},刘永^{1,2},夏凡¹,肖人榕¹,陈潮¹

(1.南华大学 环境与安全工程学院,湖南 衡阳 421001;2.湖南省铀尾矿库
退役治理技术工程技术研究中心,湖南 衡阳 421001)

摘要:针对传统铀尾矿库放射性污染监测定位线路布设成本高、不易扩展等问题,结合带状铀尾矿库坝体环境特点,提出一种改进型加权质心算法(ACA)。通过改进权重选择机制,克服了远距离定位误差偏大的缺点,提高了监测定位精度。仿真研究表明:相比极大似然估计法(MLE)加权质心(CA)两种算法,ACA算法平均定位误差分别降低了40.0%和19.5%,最大定位误差分别减少了约1/4和1/6,定位的可靠性和稳定性较高,可满足铀尾矿库放射性污染监测定位要求。

关键词:WSN;加权质心算法;铀尾矿库;监测定位

中图分类号:TP301.6 **文献标志码:**A

An Advanced Weighted Centroid Localization Algorithm in of Uranium Tailings Radioactive Pollution WSN Monitoring

YU Xiu-wu^{1,2}, ZHOU Li-xing^{1,2}, LIU Yong^{1,2}, XIA Fan¹, XIAO Ren-rong¹, CHEN Chao¹

(1.School of Environment and Safety Engineering University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China; 2.Hunan Engineering Research Center for Uranium Tailings Decommission and Treatment, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: Aiming at the high cost of line layout and poor maintenance in traditional radioactive pollution monitoring in uranium tailings, combined with the environmental characteristics of banded dam, an advanced weighted centroid localization algorithm (ACA) is proposed. The method of weight selection in the new algorithm is improved to reduce the localization error caused by great distance and raise accuracy. Result of simulation demonstrates that average positioning error of ACA is reduced by 40.0% compared to MLE and by

收稿日期:2017-11-09

基金项目:湖南省重点研发项目(2015SK2005);湖南省教育厅科研重点项目(15A161);国家级大学生创新创业训练计划项目(201710555004);湖南省研究生科研创新项目(CX2016B453)

作者简介:余修武(1976-),男,副教授,博士,硕士生导师,主要从事无线传感器网络、智能安全监控方面的研究。

E-mail:yxw2008xy@163.com

19.5% compared to CA, and maximum location error of ACA is reduced by 1/4 compared to MLE and by 1/6 compared to CA. With high reliability and stability, ACA can meet the requirements of position in radioactive pollution monitoring in uranium tailings.

key words: WSN; weighted centroid localization algorithm; uranium tailings; monitoring localization

0 引言

铀尾矿库中含有大量放射性核素的尾砂暴露在大气中,在降雨的作用下,放射性核素很容易向下渗入土壤,进而污染浅层地下水.若渗出矿坝,对周围环境及人类的安全造成危害,所以对铀尾矿库放射性污染进行监测显得至关重要^[1].当前国内对铀尾矿库放射性污染的监测尚停留在人工现场采集数据或有线监测,利用GPS对监测区域进行定位,使用室内与现场实验结合等方法进行数据分析模拟.监测相对落后,无法实时获取尾矿库核素泄漏污染状况,不能及时的进行预警.无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)^[2]由大量无线传感器节点及少数汇聚节点组成,具有感知、计算和无线通信能力,可用于军事、复杂环境、污染等监测领域,能够实时动态的对环境进行数据采集分析,这是一门新兴的监测技术.WSN在铀尾矿库监测应用可以快速、经济、准确、大范围的确放射核素泄漏及位置,实现监测的自动化.在WSN中,位置信息是传感器监测消息中必需的信息,对节点的定位是WSN的关键技术之一^[3].RSSI算法(received signal strength indicator)^[4]具有不需额外硬件,能耗低成本小,简单易实现的优点,可以满足铀尾矿库监测对定位成本,定位能耗等方面的要求.RSSI测距过程中存在反射、多径传播、非视距、天线增益等问题^[5],最终定位会存在误差,而且随着距离的增加,测距的相对误差也会增加^[6].目前基于RSSI的定位算法大多使用定位方法极大似然估计法(maximum likelihood estimation, MLE)在一定程度上可以减少测距误差对定位的影响,但由于极大似然估计法在定位中需要进行较多浮点运算,对于计

算能力有限的的传感器节点,其计算开销相当大,而且在测距误差较大时,测距稳定性不高^[7].为了提高RSSI定位的精度,文献[8-11]将RSSI与质心算法^[12]结合,创造并逐步改进行了一种新的算法,加权质心算法(weighted centroid localization algorithm, CA).加权质心算法具有计算量小,易于实现等优点,但在精度上太过依赖节点密度和分布,而且要求很低的测距相对误差^[13].由于铀尾矿库监测中节点密度较低,分布不均,测距距离较大,传统的加权质心算法并不能满足监测要求.对此提出一种改进型加权质心算法(advanced weighted centroid localization algorithm, ACA),研究一种较为优化的权值选取机制.

1 节点布置模型

铀尾矿库中放射性核素被铀尾矿坝约束在坝内,但是由于降雨和重力的作用,放射性核素会在土壤中向下渗漏,一旦核素渗漏出坝体,将会对周边农田、地下水等造成放射性污染.在对核素的监测中,由于渗出的核素污染水液,会向坝脚(沟渠)汇聚核素浓度增高,为加强监测的可靠性,布置节点密度向下递增布置在铀尾矿坝的斜坡上,如图1所示.矿坝斜坡面宽约30m,总体呈环形围绕铀尾矿库,周长约为6000m左右,由平整的石块堆积而成,在坝腰和坝脚处有排水渠.在定位算法运行中,节点随矿坝带状分布,网络联通度低,由于节点监测范围较大,为节约监测成本,节点密度较小,且要能满足定位要求.已知位置的锚节点布置在矿坝斜坡顶和斜坡脚,相邻四个节点布置为宽30m的正方形,其他待定位的普通节点随机布置,整体上靠近坝脚处布设节点密度大,靠近坝顶处布设节点密度小.

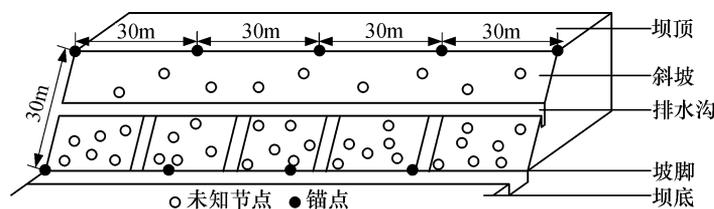


图1 尾矿坝监测节点布设

Fig.1 The layout of monitoring nodes

其中,由于节点通讯距离正常时约为75 m左右,普通节点通讯范围内锚点数量为8到12个。由于RSSI测距误差会随着距离增加而迅速增大,距离太远的锚点信息会对误差产生极大影响,将其剔除后,实际情况下可以用于定位的可靠锚点信息为4~6个。

2 改进型加权质心算法

2.1 加权质心算法模型

加权质心算法是利用距离较远的锚点加权因子较小的特点,选取特定的权值。常用的算法通过如式(1)所示,确定待测节点的位置,式中以 (x, y) 作为待测节点的测量坐标, n 为普通节点周围可靠锚点信息数量, (x_i, y_i) 为第 i 个锚点的位置坐标, w_i 为权值。

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}; y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

加权质心算法在求取权值 w_i 有两种,式(2)为MLE算法,式(3)为CA算法,式中 d_i 为锚点 i 到待测节点的测量距离。

$$w_{1i} = \frac{1}{\sum d_j - d_{i+1}} \quad (2)$$

$$w_{2i} = \frac{1}{d_i} \quad (3)$$

两种方法在选取权值时,随与锚点的测量距离增大而减小,但是直接利用反比来表示距离与权值的关系并没有理论支撑。实际应用时,测量距离的相对误差较小时,两种算法可以较为精确的定位,但是相对误差较大时,其误差将迅速增大,无法满监测要求。

2.2 改进型加权质心算法

对于锚点范围内的普通锚点,其位置坐标 (x, y) ,到各个锚点实际距离与测量距离之比的平均值 $f(x, y)$ 如式(4)所示:

$$f(x, y) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{d_i^2} \quad (4)$$

以函数 $f(x, y)$ 取极值时对应的 (x, y) 作为未知节点坐标。求解如式(5)和式(6)所示:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x - x_i}{d_i^2} = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y - y_i}{d_i^2} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x = \frac{\frac{x_1}{d_1^2} + \dots + \frac{x_n}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} \\ y = \frac{\frac{y_1}{d_1^2} + \dots + \frac{y_n}{d_n^2}}{\frac{1}{d_1^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} \end{cases} \quad (6)$$

比较式(1)和式(6),选取权值为 $w_i = \frac{1}{d_i^2}$,得到改进型加权质心算法ACA。

3 仿真分析

利用Matlab软件进行仿真,仿真参数设置列于表1所示。锚点呈正方形分布,其坐标分别为 $(0, 0)$, $(30, 0)$, $(0, 30)$, $(30, 30)$,假定未知节点只能接收到其所在正方形的四个锚点的信号。为接近现实情况,测量距离的相对误差设置与实际距离相关,距离越大,相对误差越大,最大值为40%,表中 d 为实际锚点到普通节点的距离。

表1 仿真参数

Table 1 Parameters of simulation		30 m×30 m
	区域	30 m×30 m
	锚点数	4个
	节点数	81个
	$d < 15$ m	10%
测距相对误差	$15 \text{ m} \leq d < 25$ m	20%
	$25 \text{ m} \leq d < 35$ m	30%
	$35 \text{ m} \leq d < 45$ m	40%

MLE算法定位结果,如图2和图3所示。左图中四个角的正方形“□”代表锚点,“●”代表待测节点实际位置,“×”代表根据MLE求出的位置。右图中为MLE算法各个节点定位误差,单位为m。

CA算法定位结果,如图4和图5所示,左图中四个角的正方形“□”代表锚点,“●”代表待测节点实际位置,“*”代表根据CA求出的位置。右图中为CA算法各个节点定位误差,单位为m。

ACA算法定位结果,如图6和图7所示,左图中四个角的正方形“□”代表锚点,“●”代表待测节点实际位置,“○”代表根据ACA求出的位置。右图中为ACA算法各个节点定位误差,单位为m。

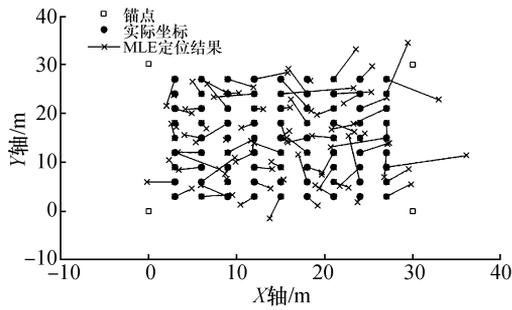


图2 MLE 算法定位结果

Fig.2 The localization result of MLE

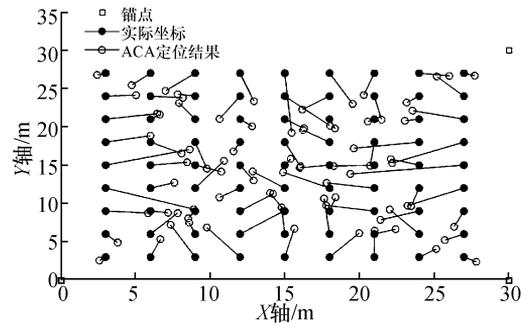


图6 ACA 算法定位结果

Fig.6 The localization result of ACA

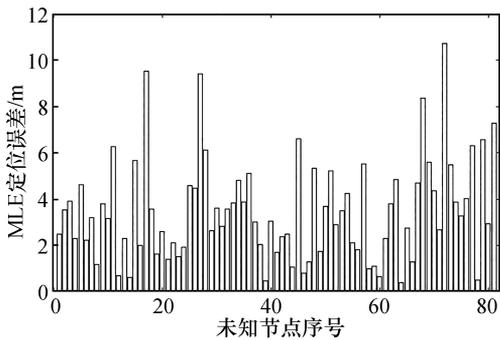


图3 MLE 算法节点定位误差

Fig.3 The localization error of MLE

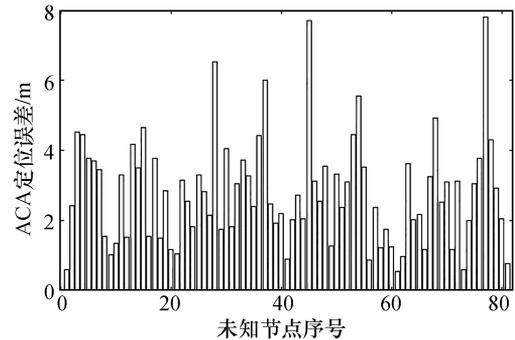


图7 ACA 算法节点定位误差

Fig.7 The localization error of ACA

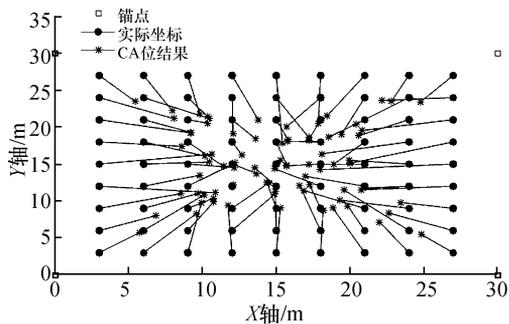


图4 CA 算法定位结果

Fig.4 The localization result of CA

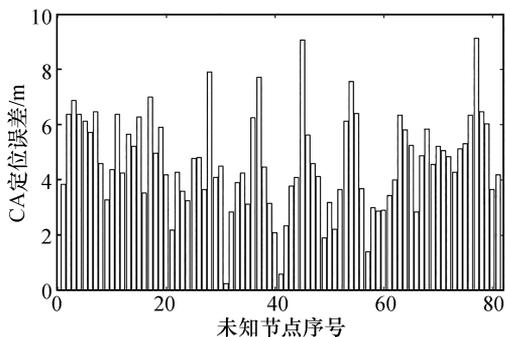


图5 CA 算法节点定位误差

Fig.5 The localization error of CA

三种算法定位结果比较,如表2所示.

表2 定位结果比较

Table 2 The comparison of localization result

算法	平均误差/m	最大误差/m	误差标准差
ACA	2.80	7.78	1.59
CA	3.48	9.12	1.73
MLE	4.67	10.72	2.17

比较三种算法可得:ACA 算法平均定位误差较 MLE 减小了 40.0%,较 CA 减小了 19.5%,定位最大误差为其他两种的 72.6%和 85.3%.标准差也更小,表明 ACA 算法在定位精度,定位可靠性以及定位稳定性方面均超过 MLE 和 CA.

分布函数是概率密度函数的积分,能够描绘定位误差的概率分布,其定义为 $F(x)$,如式(7)所示:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (7)$$

利用分布函数分析定位误差,比较三种算法的定位误差的分布函数,如图8所示.ACA 算法的定位误差有 90%的概率在 4.45 m 以内,达到了铀尾矿库对于定位精度的要求.而 MLE 和 CA 两种

算法定位误差有 90% 的概率分别在 6.45 m 和 7.6 m, 无法满足铀尾矿库定位的要求。

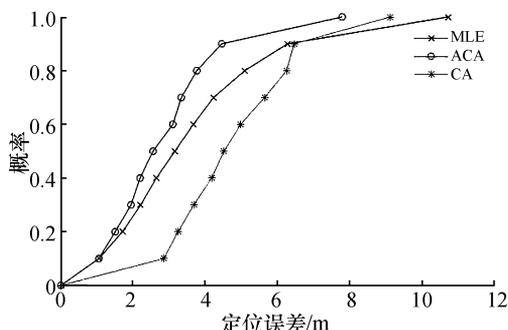


图8 定位误差分布函数对比

Fig.8 The comparison diagram of distribution function

4 结论

CA 算法相对极大似然估计法运算量更小, 更加简单易行, 在权值选取合理时, 定位精度更高。若权值选择不合理, 将导致 CA 算法在测量距离相对误差较大时定位精度很差。针对铀尾矿库放射性核素迁移监测中, 节点网络连通性差, 锚点密度低等特点, 提出了改进型加权质心算法 (ACA)。通过优化权值选取方法, 在保留了 CA 算法优点的同时, 克服了其在远距离定位中由于测距误差太大引起的定位误差偏大的缺点, 使其能够适应更多复杂的环境。仿真研究结果表明: ACA 算法比原 MLE 和 CA 算法平均定位误差分别减少了 40.0% 和 19.5%, 定位误差有 90% 的概率在 4.45 m 以内, 满足了铀尾矿库放射性核素监测的需要。

参考文献:

[1] 谢水波, 陈泽昂, 张晓健, 等. 铀尾矿库区浅层地下水中 U(VI) 迁移的模拟[J]. 原子能科学技术, 2007, 41(1): 58-64.

[2] NARMADA A, RAO P S. Zigbee based WSN with IP Connectivity[C]//Fourth international conference on computational intelligence, modelling and simulation. IEEE, 2012: 178-181.

[3] 冯军, 曾玖贞, 王超, 等. WSN 虚拟 MIMO 的非均匀多簇策略研究[J]. 南华大学学报(自然科学版), 2015, 29(3): 51-56.

[4] 张超, 董颖, 吕杨, 等. 基于重复博弈的 WSN 节点合作性研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(7): 1762-1768.

[5] 王跃, 巴斌, 崔维嘉, 等. 马尔可夫蒙特卡罗的室内定位算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2016, 43(2): 145-149.

[6] 王缓缓, 胡爱娜. RSSI 和距离区间映射的测距方法[J]. 电子科技大学学报, 2012, 41(4): 522-526.

[7] JIN R, CHE Z, XU H, et al. An RSSI-based localization algorithm for outliers suppression in wireless sensor networks[J]. Wireless networks, 2015, 21(8): 2561-2569.

[8] 余修武, 胡沐芳, 周利兴, 等. 基于阶次序列与凸规划的铀尾矿库监测定位算法[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(12): 86-91.

[9] PAN J S, DAO T K, Pan T S, et al. An improvement of flower pollination algorithm for node localization optimization in WSN[J]. Journal of Information Hiding & Multimedia Signal Processing, 2017, 8(2): 486-499.

[10] SU X, LEI Z. Node localization in WSN based on weighted vectors centroid algorithm[C]//International conference intelligent networks and intelligent systems. IEEE, 2011: 109-112.

[11] 余修武, 周利兴, 范飞生, 等. 基于新内点测试与 Grid-SCAN 的铀尾矿库监测定位算法[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(5): 5-9.

[12] CHEN W, WANG Q, WANG X, et al. A centroid location algorithm based on furthestmost beacon with application to wireless sensor networks[J]. International journal of wireless and mobile computing, 2012, 5(3): 259-262.

[13] 崔法毅, 邵冠兰. 基于 RSSI 多边形定位误差的加权质心定位算法[J]. 红外与激光工程. 2015, 44(7): 2162-2168.

(上接第 58 页)

[9] 朱传奇, 殷志强, 李传明. 压缩状态下张开型裂纹起裂扩展规律[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2016, 35(10): 1105-1110.

[10] 吕小波, 赵其华, 韩刚. 基于应力集中强度比的单裂隙岩石破坏过程研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(增刊

1): 87-95.

[11] POTYONDY D O, CUNDALL P A. A bonded-particle model for rock[J]. International journal of rock mechanics and mining sciences, 2004, 41(8): 1329-1364.