



文章编号:1671-251X(2015)04-0055-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.04.015

韩涛,黄友锐,徐善永,等.煤矿井下 LANDMARC 定位算法改进[J].工矿自动化,2015,41(4):55-58.

煤矿井下 LANDMARC 定位算法改进

韩涛, 黄友锐, 徐善永, 曲立国

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:针对煤矿井下非视距误差、多径效应和标签碰撞影响 LANDMARC 定位精度的问题,从接收信号强度值的测量、接收信号的选取和标签防碰撞算法 3 个方面对 LANDMARC 定位算法进行了改进:通过直接测量接收信号强度值判断最近参考标签;对接收信号进行高斯滤波舍弃误差信号;根据标签数量设置合理的信号发送时隙,当发生标签碰撞时重新划分信号发送时隙。仿真结果验证了该改进 LANDMARC 定位算法的有效性。

关键词:井下定位; LANDMARC; 多径效应; 标签碰撞

中图分类号:TD655

文献标志码:A

网络出版时间:2015-03-31 08:38

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150331.0838.015.html>

Improvement of underground LANDMARC location algorithm

HAN Tao, HUANG Yourui, XU Shanyong, QU Ligu

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: For location precision of LANDMARC affected by underground non-line-of-sight error, multipath effect and tag collision, LANDMARC location algorithm was improved from the view of measurement of received signal strength indication value, selection of received signal and tag anti-collision. The improved LANDMARC location algorithm judges the nearest reference tag by measuring the received signal strength indication value directly, abandons error signal through Gaussian filter, sets reasonable timeslot for signal sending according to tag number and resets the timeslot at tag collision time. The simulation results verify effectiveness of the improved LANDMARC location algorithm.

Key words: underground location; LANDMARC; multipath effect; tag collision

0 引言

LANDMARC 是一种结合接收信号强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)和射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)的定位算法,适用于空旷环境下的定位,具有许多优点:① 阅读器数量较少,定位系统成本不高;② 可以大量布设成本较低的参考标签实现较高的定位精度;

③ 由于参考标签与待定位标签硬件结构完全相同,参考标签和待定位标签会受到相同的环境干扰,相对抵消了环境对定位带来的影响^[1]。但针对煤矿井下空间狭小、巷道复杂的特殊环境, LANDMARC 定位算法存在以下缺陷:① LANDMARC 定位算法中阅读器使用 1—8 个能量等级来表示接收到的信号强度,进而判断参考标签与待定位标签的位置关系,最终计算出待定位标签的位置,这会减小定位精

收稿日期:2014-12-25;修回日期:2015-02-04;责任编辑:盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51274011,61300001);安徽理工大学青年科学研究基金资助项目(12602)。

作者简介:韩涛(1984—),男,安徽淮南人,助理实验师,硕士,研究方向为矿山物联网,E-mail:than@aust.edu.cn。

度,增大误差;② 煤矿井下由多条狭长的巷道构成,电磁波在传递过程中容易受非视距误差和多径效应的影响;③ 若多个待定位标签同时出现在同一个区域内,则可能发生标签的碰撞冲突,产生错误。因此,本文针对煤矿井下特殊环境对 LANDMARC 定位算法进行改进。

1 LANDMARC 定位原理

LANDMARC 定位系统由阅读器、参考标签和待定位标签组成,如图 1 所示。首先,在待测区域内均匀布置有限个阅读器,再均匀分布数量较多的参考标签。参考标签的位置信息已知且与待定位标签在硬件结构上完全相同,定位时参考标签和待定位标签发送完全相同的电磁波。

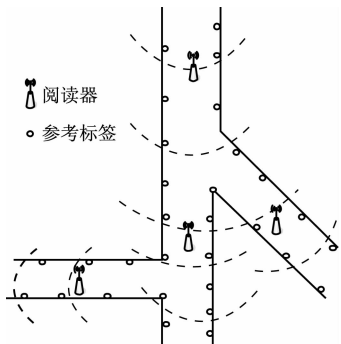


图 1 LANDMARC 定位系统组成

假设待定位标签发射的信号强度为 $S = (S_1, S_2, \dots, S_M)$, 其中 $S_i (i=1, 2, \dots, M)$ 为阅读器 i 接收到的待定位标签发射的信号强度。参考标签发射的信号强度为 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M)$, 其中 θ_i 为阅读器 i 接收到的参考标签发射的信号强度。

定义 E 表示参考标签和待定位标签的位置关系:

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^M (\theta_i - S_i)^2} \quad (1)$$

E 越小,表明参考标签与待定位标签距离越近。LANDMARC 定位算法通过比较不同 E 值找出距离待定位标签最近的参考标签,再根据 k 个最近参考标签的位置计算出待定位标签的位置坐标^[2-4]:

$$(x, y) = \sum_{j=1}^k w_j (x_j, y_j) \quad (2)$$

式中: w_j 为第 j 个邻近待定位标签的参考标签坐标的加权因子; (x_j, y_j) 为第 j 个最近参考标签的坐标。

2 LANDMARC 定位算法改进

2.1 RSSI 值的测量

在 LANDMARC 定位算法中,阅读器只能将接

收到的标签信号强度评定为 1—8 个等级,而不能直接得到 RSSI 值。这在选择最近参考标签时难免产生误差,从而使计算出的待定位标签的位置与真实位置误差较大。为了使阅读器能够具体测量出 RSSI 值,采用 CC2530 芯片制作 LANDMARC 定位算法中的阅读器。CC2530 具有功耗低、速度快、无线电灵敏度 高和抗干扰性能 强等特点,可测量 RSSI 的具体值,从而使阅读器更加准确地找出距离待定位标签最近的参考标签,提高定位精度。

2.2 针对非视距误差和多径效应的改进

虽然在 LANDMARC 定位算法中,参考标签与待定位标签是完全相同的 RFID 标签,可在一定程度上相对抵消环境的影响,但是煤矿井下环境恶劣,电磁波在传播过程中必然会受到非视距误差和多径效应的干扰,使定位误差增大。

在大多数情况下,参考标签与待定位标签受到环境的影响是相同的,即参考标签和待定位标签受到相同的非视距误差和多径效应影响,可以相对抵消干扰的情况属于正常情况,是大概率事件;只有在很少的情况下,环境会对参考标签和待定位标签产生不同的影响,即参考标签和待定位标签受到不同的非视距误差和多径效应影响,定位误差较大,是小概率事件。接收正常信号和接收误差信号的概率分布符合高斯分布。

本文采用高斯滤波方法^[5]来减少非视距误差和多径效应带来的影响。对接收到的同一个参考标签或待定位标签发射的 m 个信号,通过高斯滤波方法将小概率事件的电磁波信号滤除,保留大概率事件的电磁波信号,再取几何平均值作为参考标签或待定位标签发射信号的强度值。

高斯函数:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

式中: z 为随机变量; μ 为随机变量的均值; σ^2 为随机变量的方差。

用 $F(z)$ 表示随机事件的概率,根据经验,一般大概率事件取概率大于 0.6 的范围,即 $0.6 \leq F(z) \leq 1$, 于是 $0.15\sigma + \mu \leq z \leq 3.09\sigma + \mu$ 。所以通过高斯函数滤除小概率事件后,阅读器接收到的待定位标签信号强度的范围为 $[0.15\sigma + \mu, 3.09\sigma + \mu]$ 。

其中 $\mu = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i$, $\sigma = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (S_i - \mu)^2}$ 。将符合该区间的信号强度值取几何平均值作为阅读器接收到的参考标签或待定位标签的信号强度值。此时计算出的 E 值误差更小,得到的待定位标签的位置

坐标更加准确。

2.3 标签防碰撞算法

井下工作地点相对集中,工作人员密集,多个待定位标签同时向阅读器发送电磁波信号很可能会产生标签碰撞问题。标签碰撞是指当多个标签发送的信号同时到达阅读器时,阅读器接收到的信号发生冲突,阅读器无法辨识具体标签的情况。LANDMARC 定位算法中,所有的 RFID 标签每隔一个规定的时间发射 1 次信号,以减少发生标签碰撞的概率,但该方法在标签较少时效果较好,若区域中分布的标签较多,且待定位标签数量不确定时,发生标签碰撞的概率将增加,效率降低。另外由于较远的标签发射信号到达阅读器的传输距离远,标签定时发送信号的时间存在误差,当误差累积到一定程度就有可能发生标签碰撞。

为最大程度地避免标签碰撞,提高标签辨识的效率,本文将阅读器读周期分成多个时隙,每个标签都在单独的 1 个时隙中发射信号到阅读器^[6]。假设阅读器读周期内存在 N 个时隙,则每个时隙被标签独立选中的概率为 $\frac{1}{N}$,没被选中的概率为 $1 - \frac{1}{N}$,若有 n 个标签,则同一个时隙被 r ($r=0,1,\dots,n$) 个标签选中的概率为

$$P = C_n^r \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (4)$$

若 $r=0$,则时隙不被标签选中的概率为

$$P_{\text{emp}} = C_n^0 \left(\frac{1}{N}\right)^0 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (5)$$

若 $r=1$,则时隙被 1 个标签选中的概率为

$$P_{\text{mat}} = C_n^1 \left(\frac{1}{N}\right)^1 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} = n \left(\frac{1}{N}\right) \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (6)$$

此时标签被正常辨识出来。

若 $r \geq 2$,则同一时隙被 2 个以上标签选中的概率为

$$P_{\text{col}} = 1 - P_{\text{emp}} - P_{\text{mat}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \left(1 + \frac{n}{N-1}\right) \quad (7)$$

此时发生标签碰撞。

若要使标签识别效率最高,标签冲突最少,令

$$\frac{dP_{\text{mat}}}{dn} = 0 \quad (8)$$

由式(6)、式(8)可得

$$N = \frac{\exp(\frac{1}{n})}{\exp(\frac{1}{n}) - 1} \quad (9)$$

将式(9)泰勒级数展开得

$$N \approx \frac{1 + \frac{1}{n}}{1 + \frac{1}{n} - 1} = n + 1 \quad (10)$$

由此可看出,当时隙数等于或略大于标签数量时,标签的识别效率最高,因此需先估算出标签数量。先设定 P_{col} 的最大值和最小值,只有得到的 P_{col} 值在该区间内,才视其为有效,再通过式(7)计算出标签时隙数的估计值。根据标签数量就可以设定一个适合的 Q 值,使得时隙数等于或略大于标签数量,从而使辨识标签的效率达到最高。

上述方法只是使系统尽量避免标签碰撞,但遇到标签碰撞时还需要对碰撞的标签进行处理,使阅读器可以辨识发生碰撞的标签。标签发生碰撞时,时隙计数器不为 0 的标签将时隙计数器加 1,时隙计数器为 0 的标签即发生碰撞的标签,自动产生 1 个 $0 \sim (2^Q - 1)$ 范围内的随机数放到时隙计数器中,此时时隙计数器为 0 的标签再次发送信号,时隙计数器不为 0 的标签将时隙计数器加 1,然后不断重复这个过程,直到不再产生标签碰撞,此时阅读器便可以完全辨识出发生碰撞的标签。

3 仿真分析

在 Matlab 2012 环境中进行仿真。针对煤矿井下巷道狭长、弯道较多的特点,设置了 2 种实验区域,一种是 $600 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 的狭长直道,另一种是有 5 个弯道的 $600 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 的狭长区域,分别进行仿真实验。

3.1 RSSI 值与定位误差

仿真时采用 2 种方式计算 RSSI 值:一种是采用 LANDMARC 定位算法中使用的 1—8 个等级对 RSSI 进行标注;另一种是本文提出的改进的 LANDMARC 定位算法。分别通过这 2 种方法计算出距离待定位标签最近的参考标签,并计算待定位标签位置。在 $600 \text{ m} \times 6 \text{ m}$ 直道区域中,分别设置不同间隔的参考标签情况下,对待定位标签进行 100 次定位实验,计算平均定位误差,仿真结果如图 2 所示。

从图 2 可看出,随着参考标签间隔越来越大, LANDMARC 定位算法中采用 1—8 的 RSSI 等级不能很好地区分待定位标签的最近参考标签,使得定位误差急剧增大,而改进的 LANDMARC 定位算法通过计算具体 RSSI 值,很容易区分最近参考标签,定位精度较高。

3.2 弯道数与定位误差

井下巷道除了直道还有很多弯道,使得无线电

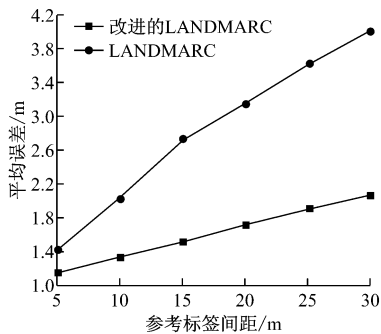


图 2 不同参考标签间距下不同定位算法的定位误差

磁波在井下巷道传输过程中受到非视距误差和多径效应的影响更加明显。为研究非视距误差和多径效应对定位算法的影响,针对不同的弯道数对 LANDMARC 定位算法和改进的 LANDMARC 定位算法进行实验。选择有 5 个弯道的 600 m×6 m 的狭长区域,每隔 20 m 设置 1 个参考标签,对每个待定位标签进行 100 次定位实验,计算平均定位误差,仿真结果如图 3 所示。

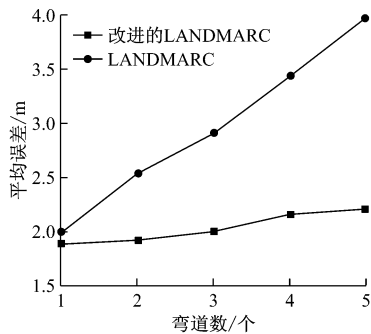


图 3 不同弯道数下不同定位算法的定位误差

从图 3 可看出, LANDMARC 定位算法随着弯道数的增加,定位误差急剧增大,而改进的 LANDMARC 定位算法由于采用了高斯滤波方法对非视距误差和多径效应进行处理,减小了定位误差,提高了定位的准确性。

3.3 待定位标签密度与识别率

在 600 m×6 m 直道区域中,参考标签布置密度相同的情况下,对 LANDMARC 定位算法、改进的 LANDMARC 定位算法和 RFID 定位方法^[4]中同时有多个待定位标签的情况进行实验,研究不同定位算法中可能发生标签碰撞的情况。分别在待测区域内设置 5, 20, 40, 60, 80, 100 个待定位标签,对每种待定位标签情况进行 100 次定位实验,计算每种情况下的待定位标签识别率,仿真结果如图 4 所示。

从图 4 可看出,随着区域中待定位标签的数量逐渐增多, RFID 定位方法无法有效避免标签碰撞,更不能处理标签碰撞,待定位标签识别率明显减小。

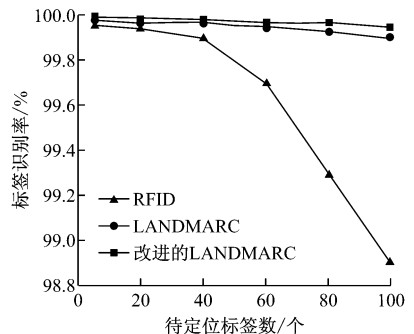


图 4 不同待定位标签数量下不同定位算法的标签识别率

LANDMARC 定位算法具有避免标签碰撞机制,产生的定位错误较 RFID 定位方法少,但由于没有处理标签碰撞机制,一旦发生标签碰撞,就会发生定位错误,所以随着待定位标签数量增多, LANDMARC 定位算法发生定位错误的情况也逐渐增多。而改进的 LANDMARC 定位算法既有避免标签碰撞机制,又能在发生标签碰撞时很好地处理标签碰撞情况,所以产生定位错误的情况最少,性能最佳。

4 结语

针对煤矿井下特殊环境对 LANDMARC 定位算法进行了改进:通过直接测量具体 RSSI 值精确选择最近参考标签;采用高斯滤波方法保留大概率正常信号,舍弃小概率误差信号;合理划分信号发送时隙,当发生标签碰撞后重新划分时隙再次发送。仿真结果表明,该改进 LANDMARC 定位算法减小了非视距误差、多径效应和标签碰撞对定位效果的影响,提高了定位精度。

参考文献:

[1] MALEKPOUR A, LING T C, LIM W C. Location determination using radio frequency RSSI and deterministic algorithm[C]//Proceedings of the 6th Annual Communication Networks and Services Research Conference, Halifax, 2008:488-495.

[2] 徐辉霞,包建军,谭达克,等.基于 RFID 的 LANDMARC 井下定位技术研究[J].工矿自动化, 2014,40(5):18-21.

[3] 彭霞.基于矿井 WiFi 通信系统的混合定位方法研究[J].工矿自动化,2013,39(8):28-31.

[4] 陈聪传,程良伦.区域细化的 RFID 室内定位算法[J].计算机应用与软件,2011,28(1):50-52.

[5] 朱明辉,张会清.基于 RSSI 的室内测距模型的研究[J].传感器与微系统,2010,29(8):19-22.

[6] 彭康,徐闯,余洪江,等.远程识别中多标签防冲突算法的改进[J].电子测量与仪器学报,2011,25(6): 558-563.