

Doi:10.3969/j.issn.1671-4172.2020.02.015

基于 UWB 与激光测距的地下铲运机井下定位系统

石潇杰^{1,2}, 李恒通^{1,2}, 石 峰^{1,2}, 郭 鑫^{1,2}, 高泽宇^{1,2}

(1. 北京矿冶科技集团有限公司, 北京 100160; 2. 北矿机电科技有限责任公司, 北京 100160)

摘 要:地下铲运机在井下巷道环境中无法通过接收 GPS 信号来实现车辆的定位,因此需要搭建其他定位系统来替代。UWB 定位系统通过基站与车载标签进行车辆井下位置定位。由于地下巷道狭长的特点,单一的 UWB 定位成本很高。对此展开研究,在地表搭建模拟巷道分别对 UWB 定位系统与 UWB 与激光测距融合定位系统进行测试,实验表明两种定位系统误差相距不大,都可满足使用要求,但采用 UWB 与激光测距融合定位系统可以极大的降低 UWB 基站的使用数量,从而降低系统成本。

关键词:地下铲运机;UWB 定位系统;UWB 与激光测距融合定位系统

中图分类号:TD422.4

文献标志码:A

文章编号:1671-4172(2020)02-0081-03

Fusion underground positioning system of UWB and laser range technology for Underground LHD

SHI Xiaojie^{1,2}, LI Hengtong^{1,2}, SHI Feng^{1,2}, GUO Xin^{1,2}, GAO Zeyu^{1,2}

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;

2. BGRIMM Machinery and Automation Technology Co., Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: The underground LHD cannot be located by receiving GPS signal in the underground tunnel environment, therefore, it is necessary to build other positioning system. UWB (Ultra-Wide Band) system can locate the LHD through the UWB sensor and UWB tags, while the cost of UWB is very high, attributed to the narrow and long characteristics of underground tunnels. In this paper, the simulation tunnel was built on the surface to test the UWB positioning system and the UWB and laser fusion positioning system, respectively. The experiment indicated that these two positioning systems can both meet the requirements for use. However, the use of UWB and laser fusion positioning system can greatly reduce the number of UWB sensors, further to reduce the system cost.

Key words: underground LHD; UWB positioning system; UWB and laser fusion positioning system

伴随着矿产资源的日渐枯竭,地下金属矿山的开采深度逐步加深,以金矿为例,目前国际主流金矿开采深度已达到 1 000 m 以下^[1]。井下环境恶劣,高温高湿粉尘大,随着深度的增加,人员工作环境愈加恶劣。目前全球各大矿山都逐步加大对矿山智能化,无人化的投入。地下铲运机作为井下矿石开采的重要设备之一,其自主行使功能的实现对矿山智能化有着重要的意义。

车辆的位置信息是实现车辆的自主行使的重要

参数之一,由于井下没有 GPS 信号,地下铲运机不能像乘用车那样利用 GPS 卫星信号实现车辆位置定位,因此需要用其他方式来获取车辆在井下的位置信息。UWB 技术通过在井下搭建基站,基站与车载标签之间进行通讯从而获取标签与基站之间的实时位置信息来达到车辆位置定位的目的。为获得车辆准确的二维位置信息,在一个区域内标签至少要接收 3 个基站的位置信息进行计算,且 UWB 基站布置方式为基站纵向间距与基站的横向间距比为 2:1。由于地下巷道狭长,单一 UWB 定位系统需要布置大量基站来保证定位精度,成本太高。为减少成本,研究采用 UWB 定位与激光测距融合的定位系统,通过 UWB 定位来获取车辆纵向位置信

基金项目:北京市科技计划项目(Z171100000917009)

作者简介:石潇杰(1994—),男,助理工程师,硕士,机械设计及理论专业,主要研究方向为无轨设备的研究与开发。E-mail: shixiaojie_1994@163.com。

息,激光测距来获取车辆横向位置信息,从而获得车辆的二维位置信息。

1 基础定位系统

1.1 UWB 定位系统原理

UWB 通讯技术是一种无线载波通讯技术,它不采用正弦载波而是应用纳秒级的非正弦波窄脉冲传输数据,工作频谱宽为 3.1~10.6 GHz^[2]。UWB 定位原理与卫星定位原理相似,即通过搭建基站,利用发射的 UWB 脉冲信号在基站与标签之间通讯进行测距。系统主要由基站、定位标签、中心处理器三部分组成。

按照测量参数的不同,UWB 定位原理主要分四种:1)基于到达时间法(Time of Arrival, TOA),2)基于到达时间差法(Time Difference of Arrival, ADOA),3)基于到达角度法(Angle of Arrival, AOA)和4)基于到达接收强度法(Received Signal Strength Indication, RSSI)^[3-5]。

TOF 定位是基于测距的方式,标签和每个需要定位的基站发起测距,测距完成后进行位置计算,本文主要采用此种定位方式。

$$D = c \times \Delta t \quad (1)$$

式中, D —标签距基站距离, c —光速, Δt —脉冲在标签与基站间传递时间。

图 1 为 UWB 定位原理图,基站 A 坐标为 (x_1, y_1) ,基站 B 坐标为 (x_2, y_2) ,基站 D 坐标为 (x_3, y_3) ,定位标签 C 坐标为 (x, y) 。

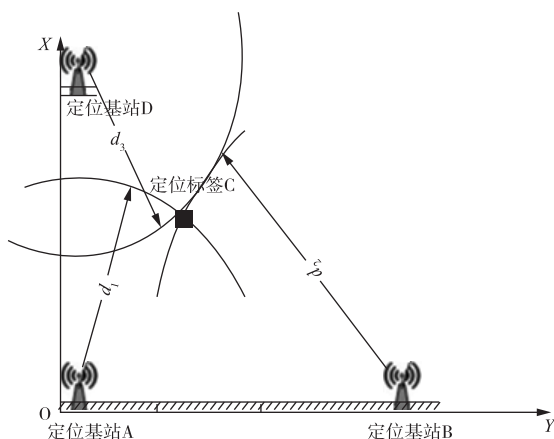


图 1 UWB 定位原理图

Fig. 1 UWB positioning principle

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中, d_1 、 d_2 、 d_3 分别为标签到基站 A、基站 B、基站 D 之间的距离。

通过求解方程(2)得到定位标签 C 的坐标。

为得到车辆的二维信息坐标,车载标签需要接收至少 3 个基站的的位置信息。井下巷道狭长,为保障 UWB 定位精确,基站布置为基站间纵向间距与横向间距比为 2:1。以长 100 m、宽 6 m 的巷道为例,基站纵向间隔为 12 m,横向间隔为 6 m,需要布置至少 13 个基站,成本太高。

1.2 UWB 与激光测距融合定位原理

在 UWB 与激光测距融合定位系统中,UWB 技术只负责获取车辆的纵向位置信息,横向位置信息由激光雷达给出,可以有效减少基站的布置数量。同样以长 100 m、宽 6 m 的巷道为例,基站布置数量只需要头尾两个。

图 2 为 UWB 与激光测距融合定位原理,通过安装在铲运机侧面的激光雷达测得标签距基站 AB 所成直线的距离 d_3 ,与 UWB 定位系统所得标签距基站的距离 d_1 、 d_2 联合求出标签位置。

基站 A 坐标 (x_a, y_a) ,基站 B 坐标 (x_b, y_b) ,标签 C 坐标 (x, y)

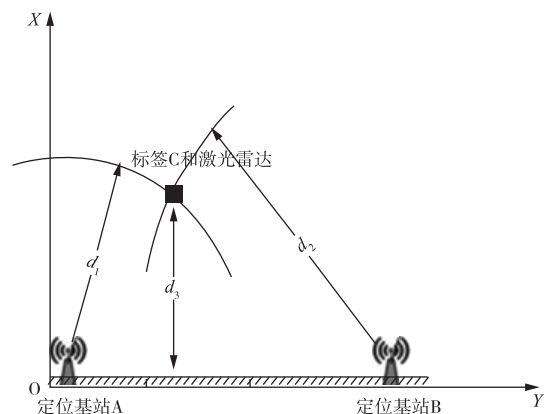


图 2 UWB 与激光测距融合定位原理图

Fig. 2 UWB and laser fusion positioning principle

$$\begin{cases} (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = d_1^2 \\ (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = d_2^2 \\ \frac{|Ax + By + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} = d_3 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $A = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}$, $B = -1$, $C = y_a - \left(\frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}\right)x_a$ 。

求解方程(3)从而求得标签 C 坐标。

2 模拟试验

在地表搭建模拟巷道分别对 UWB 定位系统,和

UWB 与激光测距融合定位系统进行试验以验证两种定位方式的误差。地表模拟巷道长 50 m,宽 6 m。

2.1 UWB 定位系统地表试验

UWB 标签安装在铲运机顶部,UWB 基站安装方式如图 3 所示,在长 50 m、宽 6 m 的巷道上共安装 7 个基站,标签 A 安装在铲运机车顶,以基站 1 为原点建立 UWB 坐标系,7 个基站的坐标分别为:基站 1 (0,0),基站 2(0,12),基站 3(0,24),基站 4(0,36),基站 5(0,48),基站 6(6,12),基站 7(6,36)。

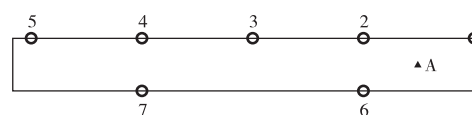


图 3 UWB 定位基站布置图

Fig. 3 UWB sensor layout of UWB positioning system

随机选取 10 个定位点进行测试,通过 UWB 定位所得位置信息与实际人工测量相比较得到表 1 UWB 定位误差,平均误差为 0.165 m。

表 1 UWB 定位误差

Table 1 UWB positioning error

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
误差/m	0.158	0.178	0.170	0.139	0.163	0.161	0.156	0.166	0.184	0.177

2.2 UWB 与激光测距融合定位系统地表测试

在长 50 m、宽 6 m 的模拟巷道上安装两个 UWB 定位基站,车载标签 A 安装在车顶上,测距传感器 B 安装在车辆侧面,如图 4 所示,以基站 1 为原点建立 UWB 坐标系,基站坐标分别为:基站 1(0,0),基站 2(0,48)。



图 4 UWB 与激光测距融合定位基站布置图

Fig. 4 UWB sensor layout of UWB and laser fusion positioning system

随机选取 10 个定位点进行测试,通过 UWB 与激光测距融合定位所得位置信息与实际人工测量相比较得到表 2 UWB 与激光测距融合定位误差,平均误差 0.186。

UWB 与激光测距融合定位系统所得车辆位置信息的平均误差为 0.186 m,UWB 定位系统车辆位置信息的平均误差为 0.165 m。UWB 与激光测距融合定位误差相比 UWB 定位误差略有提高,但总体相差不大。都可以满足地下铲运机定位误差不大于 0.3 m 的要求。

表 2 UWB 与激光测距融合定位误差

Table 2 UWB and laser positioning error

试验编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
误差/m	0.210	0.201	0.194	0.178	0.180	0.175	0.172	0.170	0.187	0.188

3 结论

本文以地下铲运机井下定位为背景,针对地下巷道狭长的特点,UWB 定位系统成本高的问题,提出采用 UWB 与激光测距融合的定位系统。试验结果表明,UWB 与激光测距融合定位系统可极大地减少 UWB 定位基站的使用数量,减少系统成本,且定位精度与 UWB 定位系统精度相差不大,满足使用要求。

参 考 文 献

- [1] 胡社荣,彭纪超,黄 灿,等. 千米以上深矿井开采研究现状与进展[J]. 中国矿业,2011(7):108-113.
HU Sherong,PENG Jichao,HUANG Can,et al. Present situation

and development of mining research in deep mines over one kilometer[J]. China Mining Magazine,2011(7):108-113.

- [2] 梁久楨. 无线定位系统[M]. 北京:电子工业出版社,2013.
LIANG Jiuzhen. Wireless positioning system [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2013.
- [3] HARA S,ANZAI D,YABU T,et al. A Perturbation Analysis on the Performance of TOA and TDOA Localization in Mixed LOS/NLOS Environments [J]. IEEE Transactions on Communications,2013,61(2):679-689.
- [4] 王雪延. 基于 UWB 基站配置的室内定位研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2014.
WANG Xueyan. Research on indoor location of UWB sensor configuration[D]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology,2014.