

文章编号:1671-251X(2019)06-0032-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2019010053

基于霍尔传感的煤矿人员定位精度验证系统

叶国庆^{1,2}, 包建军^{1,2}, 李亚斌^{1,2}, 罗克^{1,2}, 王军^{1,2}

(1. 中煤科工集团常州研究院有限公司, 江苏 常州 213015;
2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)



扫码移动阅读

摘要:针对煤矿人员定位精度静态测试方法自动化程度较低、时间和人力成本较高的问题,提出了基于霍尔传感的煤矿人员定位精度验证系统。该系统采用公共 UDP 接口对接不同厂家不同型号的定位基站,采用私有 UDP 接口传输霍尔传感设备的相关测距报文,采用生产-消费模型进行通信数据的采集、解析和入库;以霍尔测距结果作为基准数据,与定位基站采集的节点定位距离信息进行实时对比,从而验证定位系统的精度。测试结果表明,该系统自身最小测距误差率为 0.80%,最大误差率为 3.30%,平均误差率为 1.38%,大大低于人员定位精度验证系统所允许的误差率 5%。精度验证应用实例分析结果表明,该系统能够有效验证人员定位系统的精度。

关键词:煤矿人员定位;精度验证;霍尔传感;非接触式测距;UDP 协议;生产-消费模型
中图分类号:TD655.3 文献标志码:A

Mine personnel positioning accuracy verification system based on Hall sensing

YE Guoqing^{1,2}, BAO Jianjun^{1,2}, LI Yabin^{1,2}, LUO Ke^{1,2}, WANG Jun^{1,2}

(1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;
2. Tiandi (Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: In view of problems of low automation degree and high time and labor cost of static test method of mine personnel positioning accuracy, a mine personnel positioning accuracy verification system based on Hall sensing was proposed. The system uses public UDP interface to interface with different types of positioning base stations of different manufacturers, uses proprietary UDP interface to transmit related ranging messages of Hall sensing device, and uses production-consumption model to collect, parse and store communication data. The Hall ranging result is used as the reference data, and the node positioning distance information collected by positioning base station is compared in real time, so as to verify accuracy of the positioning system. The test results show that the minimum ranging error rate of the system itself is 0.80%, the maximum error rate is 3.30%, and the average error rate is 1.38%, which is much lower than the 5% error rate allowed by the personnel positioning accuracy verification system. The results of accuracy verification application example show that the system can effectively verify the accuracy of positioning system.

Key words: mine personnel positioning; accuracy verification; Hall sensing; non-contact ranging; UDP protocol; production-consumption model

收稿日期:2019-01-14;修回日期:2019-05-08;责任编辑:胡娟。
基金项目:天地科技股份有限公司科技创新资金专项项目(2018-TD-MS013)。
作者简介:叶国庆(1986—),男,江苏徐州人,助理研究员,主要研究方向为煤矿井下定位及通信技术,E-mail:tdkj_yegq@163.com。
引用格式:叶国庆,包建军,李亚斌,等.基于霍尔传感的煤矿人员定位精度验证系统[J].工矿自动化,2019,45(6):32-36.
YE Guoqing,BAO Jianjun,LI Yabin,et al. Mine personnel positioning accuracy verification system based on Hall sensing[J]. Industry and Mine Automation,2019,45(6):32-36.

0 引言

随着煤矿“六大系统”的实施,人员定位系统在各大矿井已得到深度普及。目前煤矿人员定位系统正在从区域定位向高精度定位方向发展,所采用的定位技术也从最初的 RFID (Radio Frequency Identification,无线射频识别)、ZigBee 等向高精度测距定位的方向发展^[1],如 TOF(Time of Flight,飞行时间)、UWB(Ultra Wideband,超宽带)等。由于测试条件的限制,定位精度指标的测试一直是采用静态测试方法进行。所谓静态测试方法是指将待测定位标签静止放置于测试平台,测试基站分别在距离平台 100,80,60 m 等处测出定位距离,然后和卷尺测出来的准确距离进行比对。这种自动化程度较低的静态测试方法无法真正满足煤矿人员、机车运动中定位精度检测的需求,且时间成本和人力成本较高。

作为非接触式测距方式,霍尔传感测距具有精度高、抗干扰能力强及成本低等优点^[2]。因此,本文提出基于霍尔传感的煤矿人员定位精度验证系统,该系统以霍尔测距结果作为基准数据,与定位基站采集的节点定位距离信息进行实时对比,从而验证定位系统的精度。

1 系统主体框架

基于霍尔传感的煤矿人员定位精度验证系统主要由霍尔传感设备、UDP(User Datagram Protocol,用户数据报协议)接口、测控中心、定位基站等组成,如图 1 所示。

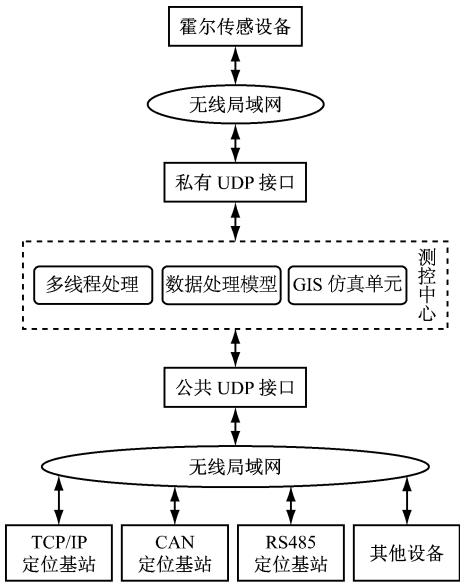


图 1 基于霍尔传感的煤矿人员定位精度验证系统主体框架
Fig.1 Main frame of mine personnel positioning accuracy verification system based on Hall sensing
定位基站产生定位原始数据,包括定位卡和基

站的距离信息及定位时间戳。霍尔传感设备产生霍尔测距原始数据,包括测得的距离信息及测距时间戳。定位数据和测距信息通过无线局域网传输到测控中心。

UDP 接口分为 2 种:一种是公共 UDP 接口,该接口具有开放性,能够对接不同厂家不同型号的定位基站;另一种是私有 UDP 接口,该接口用于传输霍尔传感设备的相关测距报文。

测控中心是整个系统的核心处理平台,承担着测距数据采集、相关协议和命令的收发和解析、高并发多线程数据处理^[3-4]和误差分析、GIS 仿真展示^[5]等功能。

2 系统关键技术实现

2.1 霍尔传感设备

霍尔传感设备利用霍尔效应实现测距。当霍尔传感设备通过磁块所形成的磁场时会引起相应的电势变化,通过测量电势即可得到被测量对象的行进距离。霍尔传感设备的主要组成部分是传感器头和齿圈,齿圈由电动机定子、磁钢体和电子电路等组成^[6],主体是一个直径为 240 mm 的不锈钢圆盘,圆盘外圈等距离嵌入 24 个磁钢体,如图 2 所示。相邻 2 个磁钢体的霍尔信号相位差约为 15°,因此轮盘转动的每个周期会形成 24 个信号脉冲,每个信号脉冲产生的距离约为 23.6 mm。

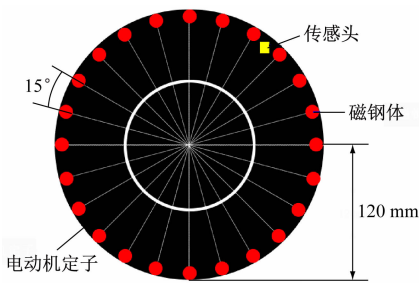


图 2 霍尔传感设备结构
Fig.2 Structure of Hall sensing device
2.2 UDP 接口

为了适应不同厂家不同定位基站的通信协议(TCP/RS485/CAN),提出了一套公共 UDP 接口,不同厂家按照约定的协议格式打包各自的定位数据报文并采用 UDP 广播包形式发送。UDP 是 OSI 七层网络模型中一种无连接的传输层协议,它的主要优点是传输效率高、延迟小、可靠性高^[7-8]。

基于霍尔传感的定位精度验证系统具备高并发特性,霍尔传感数据报文发送频率为 100 Hz,定位数据的接收更是需要满足 100 张定位卡同时发送(每张卡每秒发送 10 次)要求,所以 UDP 通信模式最为适合。所有的应检系统按照这一开放协议对定位数据进行打包处理并发送到服务端,公共 UDP

格式见表 1。

表 1 公共 UDP 格式
Table 1 Format of public UDP

字段名称	字段长度	内容
Header	3 byte	0xFFFFFFFF
Branch ID	1 byte	1—254
Commond	1 byte	0x01
Length	1 byte	1—32
Data	4 byte arr	1—2;Sender; 3—4;Distance
Check byte	2 byte	CRC16

2.3 数据处理模型

生产-消费模型是比较经典的线程之间的同步机制^[9-10],本文采用生产-消费模型进行通信数据的采集、解析和入库。在该模型中,生产者生产产品提供给若干个消费者去消费,为了使生产者和消费者能并发执行,在两者之间设置一个或者多个缓冲区(Queue),生产者将其生产的产品放入缓冲区中,消费者可以从缓冲区中取走产品进行消费,多个线程共享一个公共的固定大小的缓冲区,如图 3 所示。

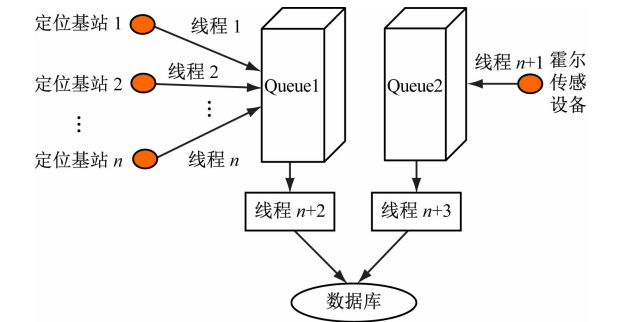


图 3 数据处理模型
Fig. 3 Data processing model

图 3 中定位基站和霍尔传感设备充当生产者的角色,其产生的定位原始数据、霍尔测距数据分别进入各自的缓冲区。而线程 $n+2$ 和线程 $n+3$ 则扮演着生产-消费模型中的消费者角色,这 2 个线程按照先进先出的原则分别从 2 个数据队列中取出数据进行解析并写入数据库。

2.4 GIS 仿真单元

由于监测节点多且位置密集,对 GIS 软件的实时跟踪速度和显示效果提出了很高要求。本文采用以 DWG 底图为支撑、以 GDI+ 技术为核心的 GIS 仿真平台进行仿真。DWG 底图主要提供一套二维坐标体系,以支撑系统中移动节点和霍尔传感设备的精确位置、速度等相关信息的展示。GDI+ 是 GDI(Graphics Device Interface,图形设备接口)的优化版本。GDI 是图形显示与实际物理设备之间的桥梁。本文中轮机小车、JCC 轨道、移动节点、相关文字等对象都通过 GDI 技术进行渲染。

由于 GIS 平台所承载的图层复杂、对象较多,本文通过双缓冲技术^[11]解决图层对象高速绘制过程中的卡顿、闪烁等问题。

3 系统测试及应用实例

3.1 系统自身精度测试

为了验证基于霍尔传感的定位精度验证系统的有效性和可靠性,设计了一套完整的定位精度验证装置,包括安装有霍尔轮毂的轮机小车(额定电压为 AC220 V)、长度为 110 m 的 JCC 导轨、激光测距仪、综合控制软件平台、测控中心站。通过与静态激光测距结果对比来验证霍尔传感设备的测距精度。

用轮机小车载卡模拟携卡人员动态行进轨迹。在轮机小车行进过程中,从轨道起始端开始每隔 5 m 停顿一次,在静止状态下用激光测距仪测量霍尔传感设备与轨道起始端的精确距离,然后与霍尔测距结果作对比,结果见表 2。

表 2 定位精度验证系统误差分析
Table 2 Error analysis of positioning accuracy verification system

序号	霍尔测距 结果/m	激光测距 结果/m	绝对 误差/m	绝对 误差率/%
1	5.00	5.12	0.12	2.40
2	10.00	9.80	0.20	2.00
3	15.00	15.38	0.38	2.50
4	20.00	20.66	0.66	3.30
5	25.00	25.22	0.22	0.80
6	30.00	29.43	0.57	1.90
7	35.00	35.66	0.66	1.80
8	40.00	40.51	0.51	1.30
9	45.00	44.72	0.28	0.60
10	50.00	50.83	0.83	1.60
11	55.00	55.59	0.59	1.10
12	60.00	59.44	0.66	1.10
13	65.00	65.77	0.77	1.20
14	70.00	70.31	0.31	0.40
15	75.00	75.83	0.83	1.10
16	80.00	80.70	0.70	0.80
18	85.00	85.68	0.68	0.80
19	90.00	90.77	0.77	0.80
20	95.00	95.82	0.82	0.90

测试结果表明,霍尔传感设备自身最小测距误差率为 0.80%,最大误差率为 3.30%,平均误差率为 1.38%,大大低于矿用定位精度验证系统所允许的误差率 5%。

3.2 精度验证应用实例

通过高速 UDP 接口转发不同应检产品的基站数据,霍尔测距数据和待测定位卡的实时定位数据

通过高速无线局域网最终汇集到测控中心,测控中心进行多线程处理、报文解析及相关误差计算后,将基准测距信息和定位卡测距信息存储到数据库,进而可形成相关数据报表。以定位卡 4024 为例,单卡误差分析结果见表 3。多卡检测时的综合误差分析结果见表 4。

表 3 单卡误差分析
Table 3 Single card error analysis

序号	卡号	接收时间	霍尔测距结果/m	定位卡测距结果/m	绝对误差/m	绝对误差率/%
1	4024	2018-11-20T16:10:12.282	2.82	2.90	0.08	2.80
2	4024	2018-11-20T16:10:13.282	7.02	7.22	0.20	2.80
3	4024	2018-11-20T16:10:14.280	12.65	12.16	0.49	3.80
4	4024	2018-11-20T16:10:15.280	17.44	17.03	0.41	2.30
5	4024	2018-11-20T16:10:16.281	22.91	22.22	0.69	3.00
6	4024	2018-11-20T16:10:17.279	27.00	27.38	0.71	2.60
7	4024	2018-11-20T16:10:18.280	32.72	32.12	0.60	1.80
8	4024	2018-11-20T16:10:19.281	37.31	36.89	0.42	1.10
9	4024	2018-11-20T16:10:20.280	42.87	43.34	0.53	1.20
10	4024	2018-11-20T16:10:21.280	47.65	47.01	0.64	1.10
11	4024	2018-11-20T16:10:22.280	52.88	53.17	0.71	1.30
12	4024	2018-11-20T16:10:23.279	57.00	57.70	0.70	1.20
13	4024	2018-11-20T16:10:24.280	62.54	63.19	0.65	1.00
14	4024	2018-11-20T16:10:25.282	67.11	67.89	0.78	1.20
15	4024	2018-11-20T16:10:26.279	72.77	73.60	0.83	1.10
16	4024	2018-11-20T16:10:27.279	77.75	77.05	0.70	0.90
18	4024	2018-11-20T16:10:28.279	82.33	82.99	0.66	0.80
19	4024	2018-11-20T16:10:29.279	87.67	88.30	0.73	0.80
20	4024	2018-11-20T16:10:30.279	92.59	93.41	0.82	0.80

表 4 综合误差分析
Table 4 Comprehensive error analysis

序号	卡号	定位次数	最大绝对误差/m	最大误差率/%	最小绝对误差/m	最小误差率/%	平均误差/m	平均误差率/%
1	4024	20	0.83	3.81	0.08	0.80	0.57	1.30
2	4025	19	0.90	2.73	0.12	0.93	0.60	1.11
3	4027	20	0.93	3.32	0.08	0.85	0.55	1.72
4	4028	20	0.86	3.58	0.08	1.02	0.62	1.28
5	4029	20	1.01	4.14	0.08	0.98	0.61	2.19
6	4030	19	0.80	2.91	0.08	1.12	0.51	1.84
7	4031	20	0.88	3.12	0.08	0.88	0.49	1.55
8	4032	19	0.79	2.85	0.08	0.94	0.56	1.11
9	4033	19	0.91	2.06	0.08	0.95	0.71	1.13
10	4034	20	0.83	3.71	0.08	1.23	0.69	1.27

由表 3 可知,单卡最小误差率为 0.80%,最大误差率为 3.80%,平均误差率为 1.30%。由表 4 可知,多卡检测时,各张卡的平均误差率均在 2.50% 以下。

4 结论

(1) 提出了基于霍尔传感的定位精度验证系

统,介绍了系统主体框架及霍尔传感测距、UDP 接口协议、数据处理模型、GIS 仿真单元等关键技术实现。该系统能够在目标动态移动的情况下对定位精度进行实时验证,符合当前煤矿人员定位系统精度验证的实际需求。

(2) 系统自身精度测试结果表明,其最小测距误差率为 0.80%,最大误差率为 3.30%,平均误差

率为1.38%,大大低于矿用定位精度验证系统所允许的误差率5%;精度验证应用实例分析结果表明,该系统能够有效测量定位系统的精度。

(3) 随着矿用定位技术的不断进步,特别是基于UWB定位芯片的高速发展,个别厂家的理论定位精度已经能够达到厘米级别。后续研究可从以下方面提高定位精度验证系统的检测精度^[13-15]:改进结构工艺,进一步增大霍尔传感设备外围磁钢的分布密度,同时相邻2个磁钢之间的相位角度差应严格一致;提高系统抗干扰能力,霍尔传感设备工作过程中的最大干扰是外部环境中的电磁干扰,因此有必要研究更加高效的抗干扰算法。

参考文献(References):

- [1] 包建军. 煤矿井下装备接近探测方法研究[J]. 工矿自动化, 2017, 43(1): 1-4.
BAO Jianjun. Research on proximity detection method for machines in coal mine[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(1): 1-4.
- [2] 张斯其. 基于开关霍尔传感器的电机位置及转速估算改进技术研究[J]. 微电机, 2018, 51(9): 51-54.
ZHANG Siqi. Research on improvement of motor position and speed estimation based on switch Hall sensor[J]. Micromotors, 2018, 51(9): 51-54.
- [3] 亓开元, 韩燕波, 赵卓峰, 等. 支持高并发数据流处理的MapReduce中间结果缓存[J]. 计算机研究与发展, 2013, 50(1): 111-121.
QI Kaiyuan, HAN Yanbo, ZHAO Zhuofeng, et al. MapReduce intermediate result cache for concurrent data stream processing [J]. Journal of Computer Research and Development, 2013, 50(1): 111-121.
- [4] 李涛, 董前琨, 张帅, 等. 基于线程池的GPU任务并行计算模式研究[J]. 计算机学报, 2018, 41(10): 2175-2192.
LI Tao, DONG Qiankun, ZHANG Shuai, et al. GPU task parallel computing paradigm based on thread pool model[J]. Chinese Journal of Computers, 2018, 41(10): 2175-2192.
- [5] 王平, 卢本陶, 刘旭. 基于GIS及AutoCAD的煤矿二三维通风仿真模拟系统[J]. 煤矿安全, 2016, 47(12): 90-92.
WANG Ping, LU Bentao, LIU Xu. Two and three dimensional mine ventilation simulation system based on GIS and AutoCAD[J]. Safety in Coal Mines, 2016, 47(12): 90-92.
- [6] 刘昕彤, 孙士尉, 张铁壁, 等. 基于霍尔效应的新型差动式角位移传感器[J]. 微特电机, 2017, 45(11): 78-80.
LIU Xintong, SUN Shiwei, ZHANG Tiebi, et al. A novel differential angular displacement sensor based on Hall effect [J]. Small & Special Electrical Machines, 2017, 45(11): 78-80.
- [7] 袁和, 张光锋. 基于UDP的实时数据可靠传输[J]. 电子技术与软件工程, 2017(24): 151-152.
- [8] 孙露, 王黎明. 基于UDP/IP协议分布式测试高速数据传输嵌入系统设计[J]. 核电子学与探测技术, 2014, 34(6): 750-753.
SUN Lu, WANG Liming. Design of distributed measurement high-speed transmission embedded system based on UDP/IP protocol [J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2014, 34(6): 750-753.
- [9] 马文涛, 李双庆. TinyOS中多优先级任务队列调度策略研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(22): 106-110.
MA Wentao, LI Shuangqing. Research on multi-level priority task queue scheduling strategy in TinyOS[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(22): 106-110.
- [10] 王金峰, 陈新房, 潘志安, 等. 关键段线程同步技术研究是实现[J]. 科技资讯, 2016, 14(33): 6.
- [11] 王强, 汤小慷, 谢存, 等. 基于GDI与双缓冲技术的雷达PPI显示器的仿真[J]. 科技视界, 2016(12): 123.
- [12] 崔书华, 李果, 沈思, 等. 测速数据模型误差对弹道参数的影响分析[J]. 弹箭与制导学报, 2016, 36(4): 113-115.
CUI Shuhua, LI Guo, SHEN Si, et al. Analysis of velocity data model error on trajectory parameter[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2016, 36(4): 113-115.
- [13] 王长强, 徐爱功, 隋心. UWB测距的NLOS误差削弱方法[J]. 导航定位学报, 2017, 5(3): 24-27.
WANG Changqiang, XU Aigong, SUI Xin. A method of NLOS error inhibition for UWB ranging [J]. Journal of Navigation and Positioning, 2017, 5(3): 24-27.
- [14] 黄文准, 杨亚东, 司开波, 等. 一种新的卫星导航定位系统抗干扰体系研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(20): 67-71.
HUANG Wenzhun, YANG Yadong, SI Kaibo, et al. Studies of a novel satellite navigation and positioning system anti-jamming architecture [J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(20): 67-71.
- [15] 胥汇臻, 金文芳, 吴珍. 多霍尔器件提高飞轮转速测量精度的研究[J]. 航空精密制造技术, 2017, 53(5): 9-11.
XU Huili, JIN Wenfang, WU Zhen. Research of increasing measurement precision of flywheel speed based on Hall position sensors[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2017, 53(5): 9-11.