

文章编号:1671-251X(2021)07-0092-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2020120025

基于 RS485 数据帧计时的总线设备间距离测量

柏思忠^{1,2}



扫码移动阅读

(1. 中煤科工集团重庆研究院有限公司, 重庆 400039;
2. 瓦斯灾害监控与应急技术国家重点实验室, 重庆 400039)

摘要:针对煤矿井下大量工作的在线设备不具备定位功能、已安装无线定位的设备易受电磁干扰导致定位精度低等问题,结合电缆故障测距的时域反射法和无线单边双向测距飞行时间法,提出了一种基于 RS485 数据帧计时的总线设备间距离测量方法,即以通信电缆为载体,利用通信数据在一对主从机之间往返的飞行时间来测量主从机之间的距离,总线沿线设备通过监听数据测量自身与从机之间的距离,从而实现总线上所有设备之间距离测量,并可根据 2 次不同参考从机的测量结果计算出设备一维分布。从计时时钟频率、主从机时钟偏差、电路时延、电磁波传播速度 4 个方面分析了影响距离测量精度的因素,并提出了相应措施以提高测量精度。采用 1 台矿用本安型显示屏为宿主、8 台矿用传感器为从机建立试验平台,采用该方法测量总线设备间距离,结果表明该方法无需改变硬件,只更新软件即可测量出 RS485 总线上所有设备之间的距离,并可建立以宿主为原点的一维分布;在电缆长度 5 km 范围内距离测量误差不超过±1.5 m,且测量结果不受传输损耗、电磁干扰影响。

关键词:智能化煤矿;井下设备定位;设备间距离测量;RS485 数据帧计时;电缆故障测距;时域反射法;单边双向测距;飞行时间法

中图分类号:TD65 文献标志码:A

Distance measurement between bus equipment based on RS485 data frame timing

BAI Sizhong^{1,2}

(1. CCTEG Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China; 2. State Key Laboratory of the Gas Disaster Detecting, Preventing and Emergency Controlling, Chongqing 400039, China)

Abstract: There are a large number of online equipment working in underground coal mines that do not have positioning function and the equipment installed with wireless positioning are susceptible to electromagnetic interference, resulting in low positioning accuracy. In order to solve the above problems, a distance measurement method between bus equipment based on RS485 data frame timing is proposed by combining the time domain reflectometry method of cable fault location and wireless single-sided-two-way-ranging time of flight method. The method uses the communication cable as a carrier to measure the distance between master and slave computers by using the flight time of communication data between a pair of master and slave computers. And the equipment along the bus measure the distance between themselves and slave computers by monitoring the data so as to realize the distance measurement between all equipment on the bus. Moreover, the one-dimensional distribution of equipment can be calculated based on the measurement results of 2 different reference slave computers. The factors affecting the distance

收稿日期:2020-12-14;**修回日期:**2021-07-09;**责任编辑:**李明。
基金项目:重庆市技术创新与应用发展重点项目(cstc2019jscx-mbdxX0007);中煤科工集团重庆研究院有限公司重点项目(2019ZDXM01, CQ2011)。
作者简介:柏思忠(1978—),男,四川阆中人,副研究员,硕士,主要研究方向为超声波流量检测、室内设备定位与导航、仪器仪表数据处理和传输,E-mail:bsz3188@163.com。
引用格式:柏思忠. 基于 RS485 数据帧计时的总线设备间距离测量[J]. 工矿自动化,2021,47(7):92-97.
BAI Sizhong. Distance measurement between bus equipment based on RS485 data frame timing[J]. Industry and Mine Automation, 2021,47(7):92-97.

measurement accuracy are analyzed from four aspects, clock frequency, master-slave computer clock deviation, circuit time delay and electromagnetic wave propagation speed. And the corresponding measures are proposed to improve the measurement accuracy. The method uses one mine intrinsically safe display as master computer and eight mine sensors as slave computers to establish the test platform so as to measure the distance between the bus equipment. The results show that this method does not need to change the hardware and only updates the software to measure the distance between all equipment on the RS485 bus, and a one-dimensional distribution with the master computer as the origin can be established. The distance measurement error within 5 km of the cable length does not exceed ± 1.5 m, and the measurement result is not affected by transmission loss and electromagnetic interference.

Key words: intelligent coal mine; underground equipment positioning; distance measurement between equipment; RS485 data frame timing; cable fault location; time domain reflectometry method; single-sided-two-way-ranging; time of flight method

0 引言

煤矿井下设备和仪器仪表的位置信息是定位和导航的基础,是煤矿智能化、信息化的前提。王国法等^[1-2]在科学规划智能化煤矿顶层设计时,要求建立地下精准位置服务系统,包括定位和导航组合技术,为井下人员、车辆、机电设备提供精准定位服务;GB/T 33900—2017《工业物联网仪表应用属性协议》^[3]规定工业物联网仪表位置属性指工业物联网仪表的安装位置,是经纬度确定的绝对位置、海拔高度及相对位置信息。可见,无论是智能化煤矿顶层设计还是工业物联网仪表自身要求,智能化煤矿用设备和仪器仪表都应该提供位置信息。

现阶段煤矿井下设备和仪器仪表定位存在 2 个主要问题:① 大量工作的在线设备不具备提供位置信息的功能^[4],增加定位功能需要内置定位模块逐台进行升级改造,数量庞大且涉及安标管理,短期内无法实现。② 以无线定位技术为主,但定位性能受多方面影响,如李涛等^[5]分析了煤矿井下 ZigBee、WiFi、RFID(Radio Frequency Identification, 射频识别)、UWB(Ultra Wide Band,超宽带)4 种无线定位技术的优缺点,指出井下环境中强电磁干扰会影响定位精度;陈伟^[6]指出 RFID 技术传输距离短且极易受干扰,ZigBee 技术定位误差偏大,WiFi 技术同频干扰严重且定位精度不高;王伟^[7]指出井下存在多种影响 UWB 等无线定位精度的噪声,特别是遮挡引起的非视距误差导致定位误差较大;孙继平等^[8-9]指出煤矿井下无线传输受无线频段、天线位置和巷道工况影响,导致传输损耗大,且受本质安全限制,无线发射功率小,而机电设备特别是变频器功率大、启停频繁、设备相对集中,对无线传输造成严重的电磁干扰。

针对上述问题,本文提出了一种采用有线方式

实现设备间距离测量的方法。首先阐述了设备间距离测量原理;然后分析了影响距离测量精度的主要因素,并针对影响因素制定了相应措施;最后通过试验验证了采用该方法进行设备间距离测量和定位的效果。

1 设备间距离测量原理

除部分无线设备外,煤矿井下设备间采用电缆连接进行供电和通信。若电缆按规范安装和铺设,则设备间距离可通过测量连接设备的电缆长度得到。基于电缆故障测距的时域反射(Time Domain Reflectometry, TDR)法^[10]和无线单边双向测距(Single-Sided-Two-Way-Ranging, SS-TWR)飞行时间(Time of Flight, TOF)法^[11],提出了基于 RS485 数据帧计时的总线设备间距离测量方法。

1.1 TDR 法

TDR 法不仅可用于测量传输线的特征阻抗,还能定位断点或短路点^[12],据此可测量电缆长度。如图 1 所示,在电缆一端发射 1 个电压脉冲,脉冲沿电缆传输,在另一端会发生反射。记录从发送脉冲到接收脉冲的时间 t ,结合电磁波在电缆中的传播速度 v_s ,即可计算出电缆长度:

$$D = \frac{v_s t}{2}$$

(1)

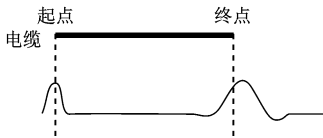


图 1 TDR 法测量电缆长度原理

Fig. 1 Principle of TDR measuring cable length

1.2 SS-TWR TOF 法

SS-TWR TOF 法原理如图 2 所示。假设基站发送 UWB 信号时刻为 T_0 ,标签接收信号时刻为 T_R ,标签对信号进行时间戳记录后向基站回发信号

的时刻为 T_S , 基站接收到回发信号的时刻为 T_{End} 。

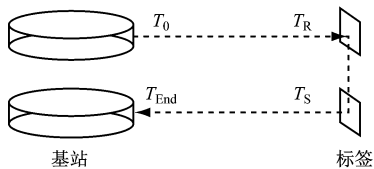


图 2 SS-TWR TOF 法原理

Fig. 2 SS-TWR TOF principle

根据图 2 可知, UWB 信号从基站到标签的 TOF 为

$$T_{\text{tof}} = \frac{T_{\text{End}} - T_0 - (T_S - T_R)}{2} \quad (2)$$

根据 T_{tof} 可计算出基站与标签间的距离:

$$D_{\text{tof}} = T_{\text{tof}} c \quad (3)$$

式中 c 为电磁波在空气中的传播速度, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

1.3 基于 RS485 数据帧计时的总线设备间距离测量方法

用一段有限长度的电缆连接主机 E_0 和任意一台从机 E_i , $i = 1, 2, \dots, n$ (n 为从机数量)。根据 TDR 法测量电缆长度原理, 采用 RS485 数据帧中某一固定位置的波形作为发送和接收数据的特征波, 用来记录传输时刻。结合 SS-TWR TOF 法原理, 记录主机发送呼叫数据时刻 T_0 、从机接收呼叫数据时刻 T_{iR} 、从机向主机回发应答数据时刻 T_{iS} 、主机接收应答数据时刻 T_{End} , 如图 3 所示。所有记录的时刻均以主机和从机 MCU 串口中断时刻为准。

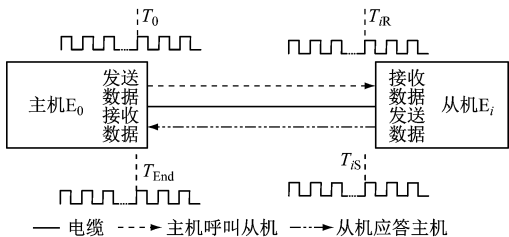


图 3 RS485 数据帧计时原理

Fig. 3 RS485 data frame timing principle

根据记录时刻计算数据从主机到从机的 TOF:

$$T_{0i} = \frac{T_{\text{End}} - T_0 - (T_{iS} - T_{iR})}{2} \quad (4)$$

进而得出主机 E_0 与从机 E_i 之间的电缆长度 (设备间距离):

$$D_{0i} = T_{0i} v_s = \frac{T_{\text{End}} - T_0 - (T_{iS} - T_{iR})}{2} v_s \quad (5)$$

RS485 总线上主机和沿线所有从机连接如图 4 所示。

主机 E_0 和应答从机 E_i 之间的距离通过式 (5) 计算。其他从机与主机之间的距离计算方法如下。其他任意从机 E_j ($j = 1, 2, \dots, n, j \neq i$) 在线监听数据

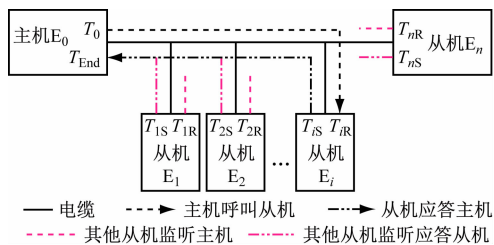


图 4 RS485 总线设备连接

Fig. 4 Connection among RS485 bus equipments

传输中的特征波, 记录本机接收到各特征波的时刻, 计算出 E_i 与 E_j 之间的距离:

$$D_{ji} = T_{ji} v_s = \frac{T_{j\text{End}} - T_{j0} - (T_{is} - T_{iR})}{2} v_s \quad (6)$$

式中: T_{ji} 为数据从 E_i 传输到 E_j 的 TOF; $T_{j\text{End}}$ 为 E_j 接收到 E_i 应答数据时刻; T_{j0} 为 E_j 接收到主机呼叫数据时刻。

所有从机的一维距离坐标以应答从机 E_i 为原点, 主机 E_0 到 E_i 的距离 D_{0i} 、任意从机 E_k ($k = 1, 2, \dots, n$) 到 E_i 的距离 D_{ki} ($k = i$ 时 $D_{ki} = 0, k \neq i$ 时 D_{ki} 根据式 (6) 计算) 共同组成一维向量 $\mathbf{A}_i = [D_{0i} \ D_{1i} \ \dots \ D_{ni}]$ 。同理, 主机呼叫另一台从机 E_m ($m = 1, 2, \dots, n, m \neq i$), 得到一维向量 $\mathbf{A}_m = [D_{0m} \ D_{1m} \ \dots \ D_{nm}]$ 。根据 2 个一维向量中的距离, 得出总线上任意从机 E_k 以主机 E_0 为原点的一维坐标:

$$x_k = \begin{cases} D_{0i} - D_{ki} & |D_{0i} - D_{ki} - (D_{0m} - D_{km})| \leq \frac{v_s}{f} \\ D_{0i} + D_{ki} & |D_{0i} + D_{ki} - (D_{0m} + D_{km})| \leq \frac{v_s}{f} \end{cases} \quad (7)$$

式中 f 为计量 TOF 的计数器频率。

总线上从机的一维坐标 $\mathbf{X} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]$ 、所有设备的一维分布如图 5 所示。

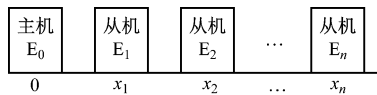


图 5 设备一维分布

Fig. 5 One-dimensional distribution of equipments

2 设备间距离测量精度分析

分析式 (5)、式 (6) 可知, 设备间距离测量精度与计时时刻精度、电磁波传播速度有关。计时时刻精度主要取决于计时时钟频率、主从机时钟偏差和电路时延, 因此采用 SS-TWR TOF 法进行设备间距离测量时, 精度从计时时钟频率、主从机时钟偏差、电路时延、电磁波传播速度 4 个方面进行分析, 并采取相应措施提高测量精度。

2.1 计时时钟频率

主机和从机各收发时刻的计时方式: MCU 的

系统计数器按照计时时钟频率累加,依据一定周期周而复始运行,数据收发时刻 T 通过直接捕获系统计数器值 N 得到。

$$T = \frac{N}{(1-K)f}$$

(8)

式中 K 为时钟漂移率,取决于外部晶振和 MCU 的锁相环频率漂移值。

在时钟漂移率 K 和计数器频率 f 一定的情况下,计数器值 N 越大,则计时偏差越大。假设 $K=10\times10^{-6}$, $f=100\text{ MHz}$, $v_s=2\times10^8\text{ m/s}$, 当 $N=10^4$ 时,计时偏差约为 10^{-9} s ,距离偏差约为 0.2 m ; 当 $N=10^6$ 时,计时偏差约为 10^{-7} s ,距离偏差约为 20 m 。随着 N 进一步增大,计时偏差增大。因此,在计算数据收发时刻时,不采用计数器绝对数值,而采用同一计数器不同时刻的相对数值,以消除累计误差,且控制在 10^4 数量级。

可见,要提高计时时钟频率精度,首先选择频率稳定度高的外部晶振,减小时钟漂移率;然后提高计数器计时频率;最后采用计数器相对数值,避免绝对数值造成大的累计误差,且距离测量范围不超过 5 km 时,计数器相对数值不超过 10^4 数量级。

2.2 主从机时钟偏差

主从机分别记录数据收发时刻。主机时钟和各从机时钟独立运行在各自 MCU 系统时钟基础上,相互之间没有同步性和协调性,主机某一计数器值和相同时刻从机计数器值的差值是随机的。该值附加在计数器值上,将其增大到 $10^5, 10^6, 10^7$ 甚至更大,造成距离偏差几米、几十米、几百米甚至更多。

针对主从机时钟偏差问题,若采用校时方法,主机用计数器值精准校时每台从机,则每台从机与主机计时器值的差值包含了 TOF,因此无法实现同步。若主机和从机采用同一计数器的相对数值而非绝对数值,即可从原理上消除时钟偏差对距离测量的影响。因此,主从机选用计数器相对数值解决时钟偏差问题。

2.3 电路时延

在计算主从机之间的距离时,TOF 依据主机和各从机的数据收发时刻计算,计算结果除了数据在通信电缆中的 TOF 外,还包括数据从 MCU 到总线和总线到 MCU 之间的电路固定时延。固定时延为

$$\Delta t_{0iB} = \Delta t_{\text{EndB}} + \Delta t_{0B} + \Delta t_{iSB} + \Delta t_{iRB}$$

(9)

式中: Δt_{EndB} 为数据从总线传输至主机 MCU 的时延; Δt_{0B} 为数据从主机 MCU 传输至总线的时延; Δt_{iSB} 为数据从从机 E_i MCU 传输至总线的时延; Δt_{iRB} 为数据从总线传输至从机 E_i MCU 的电路时延。

考虑固定时延时,数据在通信电缆中的 TOF 为

$$T_{|0i|} = \frac{1}{2} \{ T_{\text{End}} - f\Delta t_{\text{EndB}} - (T_0 + f\Delta t_{0B}) - [T_{is} + f\Delta t_{iSB} - (T_{iR} - f\Delta t_{iRB})] \} = T_{0i} - \frac{f\Delta t_{0iB}}{2}$$

(10)

除固定时延外,电路时延还包括传输波形边沿变化引起的时延。对此,采用千米长度标校方法,分别用长度为 $0, 1, 2, 3, 4, 5\text{ km}$ 的通信电缆连接主机和从机总线端口,测量电路时延,结果见表 1。可看出电缆长度为 0 时,电路时延(仅有固定时延)为 95 ns ,传输波形边沿变化导致每千米时延额外增加 $180\sim210\text{ ns}$ 。为减小电路时延对距离测量精度的影响,应去除相应长度电缆电路时延标校值,得到净 TOF。

表 1 电路时延千米长度标校结果

Table 1 Kilometer length calibration results of circuit time delay

电缆长度/km	0	1	2	3	4	5
电路时延/ns	95	270	460	555	760	970

2.4 电磁波传播速度

测量总线上设备间距离时,电磁波在通信电缆中的传播速度直接影响距离测量结果。考虑电磁波传播速度偏差时,主从机之间的距离为

$$D'_{0i} = T_{0i}(1+d)v_s = (1+d)D_{0i}$$

(11)

式中 d 为电磁波传播速度的实际偏差率。

假设 $d=2\%$, 测量 $1\,000\text{ m}$ 电缆时偏差为 2 m , 可见电磁波传播速度对测量结果影响较大。

电磁波传播速度与通信电缆材质^[13]密切相关。

$$v_s = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

(12)

式中: μ_r 为通信电缆外层绝缘材质的相对磁导率; ϵ_r 为通信电缆外层绝缘材质的相对介电常数。

从式(12)可看出,电磁波在通信电缆中的传输速度与导线材质、长度等无关,取决于外层绝缘材质。针对该问题,采用电缆故障测试仪对实际使用的标准长度通信电缆进行测试^[14],反算出电磁波在实际电缆中的传播速度^[15],以消除误差。

3 试验验证

3.1 试验平台

试验平台如图 6 所示。1 台矿用本安型显示屏为主机(E_0),其通过 RS485 总线连接 8 台从机($E_1\sim E_8$),包括 4 台 GD4 瓦斯抽放多参数传感器(简称流量计)和 4 台 GJG100J(B)管道激光甲烷传

感器(简称甲烷传感器)。1 号流量计(E_1)和 1 号甲烷传感器(E_2)通过矿用通信电缆 MHYVP 1×4 连接在距主机 100 m 电缆处;2 号流量计(E_3)和 2 号甲烷传感器(E_4)连接在距主机 500 m 电缆处;3 号流量计(E_5)和 3 号甲烷传感器(E_6)连接在距主机 1 000 m 电缆处;4 号流量计(E_7)和 4 号甲烷传感器(E_8)连接在距主机 2 000 m 电缆处。通信方式采用主从点对点轮询机制,主机依次呼叫 E_1 — E_8 ,对应从机应答,周而复始进行半双工通信。

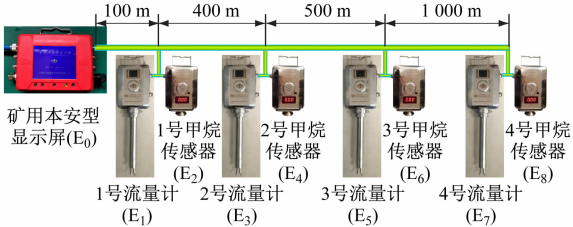


图 6 试验平台

Fig. 6 Experimental platform

主机和从机 MCU 均采用 STM32F407VET6。运行前后台程序,计数器 TIM2 采用 32 位自动重载计数器,计时时钟频率为 84 MHz,预分频比置为 1 (不分频),计时周期为 8.4×10^7 (对应时长 1 s),通过函数 TIM_GetCounter(TIM2)捕获计数器 TIM2 当前值。

3.2 试验及结果分析

主机和从机之间的 TOF 通过数据帧收发完成,采用主机和从机之间的校时命令帧进行测量,帧格式见表 2。以第 3 个字节收发串口中断截取计数器值作为计时时刻。

表 2 校时命令帧格式

Table 2 Format of timing command frame

字节数	1	1	1	1	8	2
主机呼叫	帧头	地址号	校时命令	帧长度	数据	校验
从机应答	帧头	地址号	校时命令	帧长度	数据	校验

试验步骤包括电磁波传播速度测试、主从机距离测试、主从机位置一维分布计算。

(1) 电磁波传播速度测试。矿用通信电缆 MHYVP 1×4 为聚乙烯绝缘铜芯材料,截取 100 m 标准长度,利用电缆故障测试仪对被测电缆进行测试,反算出电磁波传播速度。经测试,矿用通信电缆 MHYVP 1×4 中电磁波传播速度为 1.94×10^8 m/s。

(2) 主从机距离测试。测试步骤:① 主机 MCU 呼叫 E_3 ,在发送完校时命令帧第 3 字节时捕获计数器 TIM2 值作为主机发送时刻 T_0 。② E_3 接收校时命令帧第 3 字节时捕获计数器 TIM2 值作为从机接收时刻 T_{3R} 。③ E_3 接收完 1 帧数据后向主

机发送校时命令应答帧,发送完第 3 字节时捕获计数器 TIM2 值作为从机发送时刻 T_{3S} ,并将校时命令帧的前 4 字节赋值为 T_{3R} ,后 4 字节赋值为 T_{3S} ,回发给主机。④ 主机接收到校时命令应答帧的第 3 字节时捕获计数器 TIM2 值作为主机接收时刻 T_{End} 。⑤ 计算主从机之间数据传输的净 TOF,计算主机和 E_3 之间的距离 D_{03} 。⑥ 其他从机 E_j ($j=1, 2, 4, 5, \dots, 8$)全过程监听数据传输特征波,记录本机接收呼叫数据时刻 T_{j0} 、应答从机接收数据时刻 T_{3R} 、应答从机发送数据时刻 T_{3S} 、本机接收应答数据时刻 T_{jEnd} ,计算本机与 E_3 之间数据传输的净 TOF $T_{|j3|}$,进而得出本机与 E_3 之间的距离 D_{j3} 。测试过程中,除电路固定时延外,所有记录时刻和 TOF 均用计数器值表示。可得 $T_0=408\,864$, $T_{3R}=103\,742$, $T_{3S}=1\,363\,892$, $T_{End}=1\,669\,463$, $T_{03}=441$, $\Delta t_{03B}=190$ ns, $T_{|03|}=433$, $D_{03}=500.01$ m,其他数据见表 3,其中 Δt_{0jB} 为相应从机处的电路固定时延。特别地, E_7 监听的本机接收应答数据时刻 T_{jEnd} 比接收呼叫数据时刻 T_{j0} 小,原因是计数器进入下一个循环周期,所以应在对应数值上加 8.4×10^7 。

表 3 设备间距离测试数据

Table 3 Test data of distance between equipments

从机	T_{j0}	T_{jEnd}	T_{j3}	$\Delta t_{0jB}/\text{ns}$	$T_{ j3 }$	D_{j3}/m
E_1	15 342	1 275 845	351	119	346	399.55
E_2	38 932	1 299 436	352	119	347	400.70
E_4	76 942	1 337 101	9	190	1	1.15
E_5	1 088 541	2 349 162	456	540	433	500.01
E_6	741 006	2 001 626	455	540	432	498.86
E_7	83 089 021	350 539	1 338	920	1 299	1 500.04
E_8	718	1 262 235	1 337	920	1 298	1 498.88

根据测试结果可知: E_3 与主机的距离为 500.01 m;以 E_3 为参考, E_4 与 E_3 的距离为 1.15 m, E_1 , E_2 与 E_3 的距离分别为 399.55, 400.70 m, E_5 , E_6 与 E_3 的距离分别为 500.01, 498.86 m, E_7 , E_8 与 E_3 的距离分别为 1 500.04, 1 498.88 m。重复测试 10 次,主从机之间的距离和各从机之间的距离没有变化。

(3) 主从机位置一维分布计算。应答从机 E_3 与主机、 E_3 与其他从机之间的距离为一维标量数据,距离数据无法表明其他从机是在 E_3 的近主机侧还是远主机侧,因此,增加主机对 E_5 的呼叫,以 E_5 为参考重复进行测试,所得结果见表 4。其他从机与应答从机之间距离差小于 1.5 m 时,表示 2 台从机紧挨在一起,用相同坐标表示,其他从机位置根据式(7)转换为一维坐标。以主机 E_0 为原点,从机 E_1 — E_8 的一维坐标为 $\mathbf{X}=[99.89\ 99.89\ 500.01$

500.01 1 000.02 1 000.02 1 999.47 1 999.47]。总线上所有设备的一维分布如图 7 所示。

表 4 从机间距离及一维坐标计算结果

Table 4 Calculation results of distance between slaves and one-dimension coordinate

指标	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
距 E ₃ 距离/m	399.55	400.70	0	1.15	500.01	598.86	1 500.04	1 498.88
距 E ₅ 距离/m	900.71	899.56	500.01	498.86	0	0	998.87	1 000.02
一维坐标/m	99.89	99.89	500.01	500.01	1 000.02	1 000.02	1 999.47	1 999.47

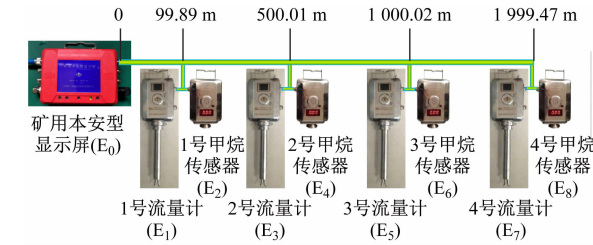


图 7 试验设备一维分布

Fig. 7 One-dimensional distribution of experimental equipments

针对试验设备,电缆总长度为 5 km 时,末端从机测量 RS485 信号峰峰值为 0.9 V,远大于 RS485 总线 200 mV 的接收要求,因此 5 km 范围内传播损耗很小,不影响距离测量精度;按 GB/T 2423. 10—2008《电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Fc:振动(正弦)》中试验 Fc 规定的方法带电测试,按 GB/T 17626. 3—2006《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》进行 3 级射频电磁场辐射抗扰度试验,按 GB/T 17626. 4—2008《电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》进行 3 级电快速瞬变脉冲群抗扰度试验,测试数据和计算结果均在±1.5 m 误差范围内。

4 结论

- (1) 根据 TDR 法和 SS-TWR TOF 法原理,提出了基于 RS485 数据帧计时的总线设备间距离测量方法,制定了提高计时时钟频率精度、减去电路时延测量净 TOF、消除主从机时钟偏差、准确测量电缆中电磁波传播速度等措施,以提高距离测量精度,并根据 2 次不同参考点的测量结果将标量数据转换为一维坐标,提供沿线所有设备的一维分布。
- (2) 试验结果表明:不改变硬件,只更新软件即可通过有线方式测量 RS485 总线上所有设备之间的距离;在电缆长度 5 km 范围内,RS485 总线沿线所有设备之间距离测量误差不超过±1.5 m;针对 RS485 总线上所有设备可建立以主机为原点的一维分布。
- (3) 该方法适用于总线型拓扑结构设备之间距

离测量,特别是矿用本安型分站基于 RS485 连接总线型传感器、液压支架监测设备、带式输送机沿线监测设备等场合,是一种可靠的有线测量设备间距离和定位方式,是无线定位的有效补充。但该方法只能建立一维分布,无法建立二维或三维分布,不适用于树状、星型或其他带分支网络总线拓扑结构。

参考文献 (References):

[1] 王国法,杜毅博,任怀伟,等. 智能化煤矿顶层设计研究与实践[J]. 煤炭学报,2020,45(6):1909-1924.
WANG Guofa, DU Yibo, REN Huaiwei, et al. Top level design and practice of smart coal mines [J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45 (6): 1909-1924.

[2] 王国法,任怀伟,庞义辉,等. 煤矿智能化(初级阶段)技术体系研究与工程进展[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):1-27.
WANG Guofa, REN Huaiwei, PANG Yihui, et al. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages[J]. Coal Science and Technology,2020,48(7):1-27.

[3] GB/T 33900—2017 工业物联网仪表应用属性协议[S].
GB/T 33900-2017 Application attribute protocol for instrument of industrial Internet of things[S].

[4] 张新. 矿山井下定位技术应用现状[J]. 化工矿物与加工,2020,49(5):51-55.
ZHANG Xin. Status of application of underground positioning technology in mines [J]. Industrial Minerals & Processing,2020,49(5):51-55.

[5] 李涛,刘旭,邓帅,等. 井下无线定位系统综述[J]. 有色金属(矿山部分),2018,70(5):91-94.
LI Tao, LIU Xu, DENG Shuai, et al. Survey on underground wireless positioning system [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2018, 70 (5): 91-94.

[6] 陈伟. 煤矿井下精确定位系统研究[J]. 工矿自动化,2019,45(12):86-90.
CHEN Wei. Research on precise positioning system of coal mine underground [J]. Industry and Mine Automation,2019,45 (12):86-90.

[7] 王伟. 基于卡尔曼滤波和加权 LM 法的井下精确定位算法[J]. 工矿自动化,2019,45(11):5-9.

- WANG Wei. Underground precise positioning algorithm based on Kalman filter and weighted LM algorithm[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(11):5-9.
- [8] 孙继平,张高敏. 矿用 5G 频段选择及天线优化设置研究[J]. 工矿自动化,2020,46(5):1-7.
- SUN Jiping, ZHANG Gaomin. Research on 5G frequency band selection and antenna optimization setting in coal mine [J]. Industry and Mine Automation,2020,46(5):1-7.
- [9] 孙继平. 煤矿信息化自动化新技术与发展[J]. 煤炭科学技术,2016,44(1):19-23.
- SUN Jiping. New technology and development of mine informatization and automation[J]. Coal Science and Technology,2016,44(1):19-23.
- [10] 陈仁朋,陈卓,陆明,等. 基于频率步进原理的 TDR 研制及在土体含水率测试中的应用[J]. 岩土工程学报, 2019,41(7):1191-1199.
- CHEN Renpeng, CHEN Zhuo, LU Ming, et al. Development of TDR based on stepped-frequency principle and its application in measurement of volumetric water content of soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,2019,41(7):1191-1199.
- [11] 孙继平,蒋恩松. 基于 WiFi 信号二次扩频的矿井 TOA 测距方法[J]. 工矿自动化,2017,43(10):53-58.
- SUN Jiping, JIANG Ensong. Mine TOA ranging method based on re-spread spectrum to WiFi signal [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(10): 53-58.
- [12] 彭张,袁本胜,冯兴隆,等. 基于 TDR 监测技术的自然崩落法顶板崩落高度测量 [J]. 现代矿业, 2018, 34(8):86-88.
- PENG Zhang, YUAN Bensheng, FENG Xinglong, et al. Measurement of roof caving height based on TDR monitoring technology of natural caving method [J]. Modern Mining,2018,34(8):86-88.
- [13] 李卫涛. 煤矿井下电缆故障定位技术研究[J]. 现代机械,2018(5):98-100.
- LI Weitao. Research on fault location technology of cable in coal mine[J]. Modern Machinery,2018(5): 98-100.
- [14] 王丹阳,唐健钧,陈讴,等. 基于时域反射法的航空电缆故障定位技术研究[J]. 航空制造技术,2019,62(增刊 2):84-88.
- WANG Danyang, TANG Jianjun, CHEN Ou, et al. Aerospace-cable fault location technology research based on time domain reflectometry (TDR) [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2019, 62(S2):84-88.
- [15] 高闯. 基于 TDR/SSTDR 电缆故障诊断方法研究 [D]. 南京:南京航空航天大学,2019.
- GAO Chuang. Research on cable fault diagnosis based on TDR/SSTDR[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,2019.