

基于惯性导航技术的井下电机车精确定位系统^①

牛迎丽¹, 李晓峰², 乔 和¹, 葛爱丽¹

¹(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

²(阜新矿业集团实业有限责任公司, 阜新 123000)

摘 要: 目前矿井运输系统中所采用的射频识别等电机车定位方法, 只能检测到电机车在某一区域内, 不能实现精确定位. 通过对移动目标定位技术、数据通讯技术以及可视化技术的研究, 结合对煤矿井下特殊工作条件的分析, 提出了将惯性导航技术应用到井下定位系统的方案. 利用加速度计和陀螺仪测得井下电机车位置、速度、方向等数据信息, 通过无线通讯与有线通讯相结合的方式, 将数据传送到井上调度中心计算机, 应用组态王软件实时显示井下电机车的精确位置. 该系统便于调度员了解电机车实时情况, 提高了行车安全和效率, 排除了撞车等事故的安全隐患.

关键词: 惯性导航; 数据通信; 可视化; 精确定位

Precise Positioning System of Mining Locomotive Based on Inertial Navigation Technology

NIU Ying-Li¹, LI Xiao-Feng², QIAO He¹, GE Ai-Li¹

¹(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

²(Fuxin Mining Industry Group Industry Co. Ltd, Fuxin 123000, China)

Abstract: The positioning method such as radio frequency identification used in the mine transportation system can only detect the specific position of the locomotive, but cannot realize the precise positioning. By studying moving target location technology, data communication technology and visualization technology, combined with the special working conditions of the coal mine, a new mine positioning system used inertial navigation technology was proposed. The information of the locomotive, including location, speed and direction, was measured by accelerometers and gyroscopes. Through the wireless communication and wired communication, the data was transferred to the computer control center, using the Kingview software to show the precise location of the locomotive. This system makes it convenient for control room persons to get real-time information of the electric locomotive, and improves safety and efficiency by removing incidents.

Key words: inertial navigation; data communication; visualization; precise positioning

目前影响煤矿井下电机车运行安全和效率的主要因素是调度人员和司机工作的盲目性. 机车一旦开出, 调度和司机就无法及时取得联系, 更改调度命令非常困难, 如果司机不能及时了解其他在线机车的位置和运行情况, 撞车事故时有发生, 具有很大的安全隐患.

本文研究了一套定位精度高和可靠性高的井下车辆定位系统. 该系统应用捷联惯性导航技术来实现矿井电机车的精确轨迹追踪. 改进后的井下电机车定位

系统, 可以实现定位精确、报警准确、数据通讯灵活、稳定可靠.

1 系统构成及工作原理

本文所研究的基于惯性导航技术的井下电机车精确定位系统的总体构成如图 1 所示, 该系统主要由车载机系统、节点机系统和上位机系统三大子系统组成.

^① 收稿时间:2012-02-28;收到修改稿时间:2012-03-27

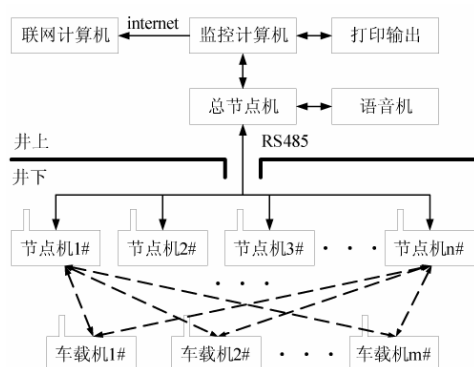


图1 系统拓扑结构图

车载机安装在矿井电机车的车头里,是实现惯性导航精确定位的物理平台。车载机上固连着陀螺仪与加速度计,加速度计采集电机车在载体坐标系下三个轴向上的实时加速度,然后把采集的数据传给控制器,然后通过控制器内部的捷联算法就可以计算出机车的速度和位移。在车载机上还集成了一个语音模块和无线通讯模块,可以实现语音通话功能和调度实时进行。通讯节点机主要起到数据传输中介的作用,主要包括无线通讯模块、主控制模块、CAN总线收发器模块三部分。上位机包括监控主机、显示界面,根据车载机传输给上位机的相关数据,在界面上显示电机车在轨道上运行的具体位置及速度等信息,实现机车的精确定位。

2 基于捷联惯导的矿井电机车精确定位原理

因为电机车在行驶过程中并不是直线行驶,而且行驶的轨道也不是绝对平坦,重力加速度会在加速度计的三个轴向上产生分量。如果直接利用积分原理计算位移和速度,那么求出的结果将于实际数值不符。因此,本文通过坐标变换的方法来滤除重力加速度在三个轴向上产生的分量。

设电机车的定位坐标系 $OX_nY_nZ_n$, 加速度计的三个轴向构成载体坐标系 $OX_bY_bZ_b$ 。由 $OX_nY_nZ_n$ 坐标系到 $OX_bY_bZ_b$ 坐标系的变换可得:

$$\begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & -\sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\gamma \cos\psi + \sin\gamma \sin\theta \sin\psi & \cos\gamma \sin\psi - \sin\gamma \sin\theta \cos\psi & -\sin\gamma \cos\theta \\ -\sin\psi \cos\theta & \cos\theta \cos\psi & \sin\theta \\ \sin\gamma \cos\psi + \cos\gamma \sin\theta \sin\psi & \sin\gamma \sin\psi - \cos\gamma \sin\theta \cos\psi & \cos\gamma \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = C_n^b \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

其中 C_n^b 为旋转矩阵。

(1)式就是定位坐标系 $OX_nY_nZ_n$ 与载体坐标系 $OX_bY_bZ_b$ 之间的转换关系式。若旋转矩阵已知,则可以利用(1)式求得重力加速度在三个轴上的分量,下面采用欧拉法求取旋转矩阵中的参数。

设坐标系 $OX_bY_bZ_b$ 相对坐标系 $OX_nY_nZ_n$ 的角速度向量 ω 为:

$$\omega = \psi + \theta + \gamma$$

沿载体坐标系 $OX_bY_bZ_b$ 的投影为:

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & -\sin\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi \\ \theta \\ \gamma \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \gamma \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由上式得:

$$\begin{bmatrix} \psi \\ \theta \\ \gamma \end{bmatrix} = \frac{1}{\cos\theta} \begin{bmatrix} -\sin\gamma & 0 & \cos\gamma \\ \cos\gamma \cos\theta & 0 & \sin\gamma \cos\theta \\ \sin\gamma \cos\theta & \cos\theta & \sin\theta \cos\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

公式(3)称为欧拉微分方程,式中 $\omega_x^b, \omega_y^b, \omega_z^b$ 为陀螺仪输出分量。通过此微分方程即可求得航向角 ψ , 横滚角 γ , 俯仰角 θ 。再通过公式(1)将载体坐标系下的加速度值变换到定位坐标系下,用 a^n 表示。另外,机车行驶轨道不平,重力加速度将会在坐标系 $OX_bY_bZ_b$ 的三个轴向上产生分量 g^b , 因此也需将该分量通过(1)式转换到定位坐标系下,用 g^n 表示,这样定位坐标系下各轴实际的加速度分量就是 a^n 与 g^n 的代数和,依据积分计算原理计算实际的速度和位移坐标,

就可实现电机车精确的轨迹跟踪。

3 硬件电路组成

3.1 车载机设计

车载机系统结构组成框图如图 2 所示。主控器分别向陀螺仪和加速度计发送读取信息请求, 然后这些数据经过 A/D 转换传送给主控器, 主控器利用这些数据进行捷联惯导计算, 计算出对应电机车的位移坐标、速度等信息, 然后将这些数据再通过无线通讯模块传送给节点机。

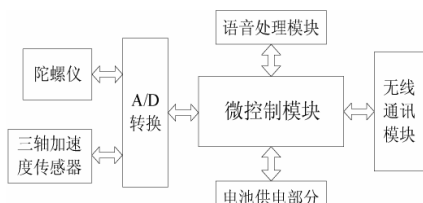


图 2 车载机系统组成框图

车载机的主控模块选择飞思卡尔公司的十六位单片机 9S12DG128BDGV1 作为主控芯片, 其主要起到对无线通讯模块和语音模块等的控制作用。

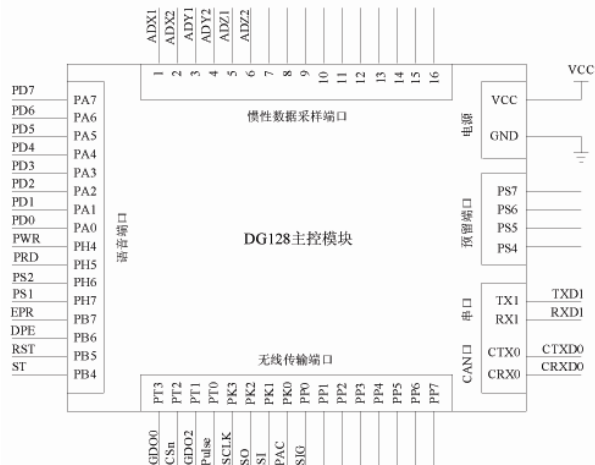


图 3 主控模块功能分配图

本系统将基于 AMBE 算法的专用语音压缩/解码 AMBE-1000 芯片应用于煤矿井下语音通讯中, 模拟语音信号与 AMBE-1000 芯片之间要通过模数转换来连接, 模数转换芯片的选择对系统的声音质量和可靠性起着关键性的作用, 另外考虑器件的信噪比和滤波特性, 本系统选则 16 位线性芯片 CSP1027-S 作为模拟语音信号与 AMBE-1000 之间转换的桥梁。语音处

理外接电路如图 4 所示。

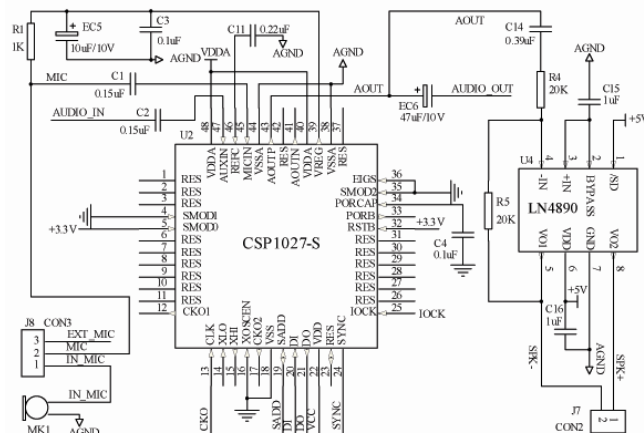


图 4 语音模/数转换电路

3.2 节点机设计

节点机主要起到数据信息传输中介的作用, 包括无线通讯模块、语音模块、CAN 收发器模块、电源模块和主控制模块, 主控制模块还采用 9S12DT128BDGV1 微控制芯片。节点机结构框图如图 5 所示。节点机在工作时, 将车载机发送过来的行车数据和语音数据通过 CAN 总线传送给上位机, 同时也可将上位机的命令数据和语音机传来的语言数据传送给车载机, 实现调度人员与司机之间的通话。

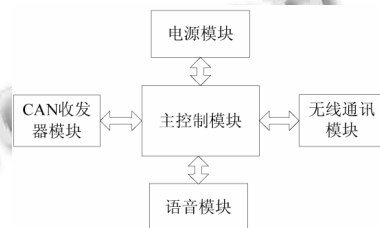


图 5 节点机结构框图

4 机车定位系统模拟试验

4.1 模拟结构搭建

为了验证惯性误差的补偿效果和数据通讯的可靠性、灵活性, 在实验中安装了模拟系统, 将 5 个节点机



图 6 机车定位系统从站图

布置于模拟轨道沿线,车载机分别安装在 2 个自制的电机车模型上。

4.2 组态王监控画面

主画面是对定位数据进行最终显示的最直观的部分,它直接实现对工业现场的模拟。系统开机画面和运行主画面如图 7 和 8 所示。



图 7 系统开机画面



图 8 机车监控主画面

4.3 定位精度测试

定位精度测试实验如图 9 所示,取一段长度为 30m 的模拟轨道来进行测试,首先不采用误差修正算法进行误差补偿,让机车运行 100m,记录下位移数据。然后再采用误差修正算法补偿误差,再让机车运行 100m,重新记录位移数据,重复做了 30 次实验,机车定位显示画面如图 9 所示,具体的实验数据如表 1 所示。

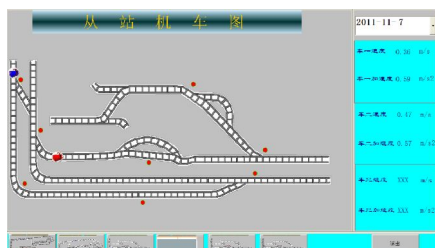


图 9 机车定位从站显示界面

从图 9 可以看出,通过观测电机车的实际停车位置,比较上位机显示位置与电机车实际位置的对应情况,结果表明,显示位置与停车位置基本一致。

表 1 定位精度测试

第 N 次 试验	实际行 程	不带误差补偿的捷 联算法结果	带误差补偿的 捷联算法结果
1	100 米	103.4 米	100.4 米
2	100 米	103.7 米	99.6 米
3	100 米	97.3 米	98.9 米
:	:	:	:
:	:	:	:
30	100 米	104.3 米	101.2 米

从表 1 中的数据可以更加直观的看出,经过误差补偿后的捷联算法计算出的位移要比直接进行惯性导航运算得出的结果更加精确。

5 结论

基于惯性导航技术的煤矿井下机车定位系统,是适应当今煤矿安全生产的要求而提出的,对井下的高效率安全生产与管理有着重大的意义。本系统通过惯性导航技术中的加速度计和陀螺仪实现数据的采集,通过无线传输与有线传输的方式实现数据的传输,由组态软件实现数据的处理和存储,并实现实时报警、机车考勤、数据管理等功能。系统还实现了井下车辆活动轨迹、速度等运行参数的显示,可以更有效地监控井下车辆的实时情况,使定位更加精确。

参考文献

- 1 梁军,段丽华,汪玉凤,等.矿井机车定位跟踪系统探讨.煤矿机电,2008(4):57-63.
- 2 湛浩旻.煤矿井下移动目标定位系统设计.哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- 3 王一帆.远程智能语音采集器设计与实现.西安电子科技大学,2010.
- 4 姚远,任永昌,陈晓纪.基于 Zigbee 技术的矿山井下车辆定位系统研究.煤矿机械, 2007,28(12):139-141.
- 5 湛浩旻,孙长嵩,吴珊,等.Zigbee 技术在煤矿井下救援系统中的应用.计算机工程与应用,2006,42(24):181-183.
- 6 陈永冰,钟斌.惯性导航原理.北京:国防工业出版社,2007.
- 7 封亚斌.采用串口通信技术实现 Modbus 数据通信.自动化仪表,2004,25(10):56-58.
- 8 湛浩旻.煤矿井下移动目标定位系统设计.哈尔滨工程大学,2007.
- 9 侯玉峰.基于惯性导航的井下机车精确定位系统的研究.辽宁工程技术大学,2010.