第34卷 第21期 计 算 机 工 程 2008年11月
Vol.34 No.21 Computer Engineering November 2008
·工程应用技术与实现· 文章编号：1000—3428(2008)21—0227—03 文献标识码：A 中图分类号：TP18

基于多位置寻北技术的伺服系统

刘 畅[1,2]，乔彦峰[1]，王志乾[1]，沈铖武[1]
(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所，长春 130033；2. 中国科学院研究生院，北京 100039)

摘 要：在介绍多位置寻北技术原理的基础上，设计一个位置、速度双闭环伺服控制系统，以保证陀螺在转动过程中不受冲击。该系统采用分度定位的方法，在转台一周等间隔选取 n 个点，通过 PID 控制器对每点实时进行位置和速度的校正，使各点的转动时间不超过 200 ms，定位精度 1.1′，实现定向时间短、精度高的方位信息的测量，提高陀螺测量的稳定性，为获得高精度寻北结果提供了保障。
关键词：多位置；寻北；伺服；PID 控制器

Servo System Based on Technology of Multiposition North-seeker

LIU Chang[1,2], QIAO Yan-feng[1], WANG Zhi-qian[1], SHEN Cheng-wu[1]
(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033;
2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

【Abstract】 In order to prevent the impact in running process, the double loop servo system is designed on the base of the principle of technology of mutiposition north-seeker. The system applys the method of indexing localization, which chooses the equal-space points aroud swivel table. Every point adjusts position and speed of real time by PID controller, the time of running is less than 200 ms and orientation precision is 1.1′. The method realizes short-time and high-accuracy orientation information survey. It is the safeguard for the high- precision results.
【Key words】 multiposition; north-seeker; servo; PID controller

1 概述

惯性寻北技术是惯性技术领域的重要组成部分。它通过测量或敏感地球速率来获得北向信息，从而测量出任意测点的真子午线位置，实现找北过程。寻北装置在许多领域都得到了广泛的应用，除了在航空、航天、航海导航及武器制导等方面具有非常重要的应用外，在其他如遂道施工、矿山开采、大地测量、资源勘测等民用工程领域中也越来越显示出广阔的应用前景。本文在介绍捷联式寻北原理的基础上，结合了工程设计的实用性，设计了适合于捷联式寻北装置的伺服系统，实现了转台快速、稳定、准确的定位，保证陀螺在转动中不受冲击，为陀螺的准确测量和寻北的精度提供保障。

2 寻北原理

捷联式速率陀螺罗盘是将速率陀螺垂直安装在旋转支架台面上，使其敏感轴与台面平行，陀螺测量地球自转角速度的北向分量，通过转台多位置转动实现，以克服寻北过程中转台定向精度和定向时间之间的矛盾。该方法的最大特点是陀螺不产生任何摆动，陀螺罗盘结构简单，寻北过程十分短暂。在台面水平情况下，当转台逆时针旋转时，在一周n个转角位置 $\theta_i=(i-1)\times 2\pi/n\ \ i=1,2,\cdots,n$ 上 $y_i=R+a\cos\theta_i+b\sin\theta_i+w_i$，其中，$R$ 为陀螺常值漂移；w_i 为陀螺测量噪声；$a=\omega_N\cos\Psi, b=\omega_N\sin\Psi$，其中，$\omega_N$ 为地球自转角速率的北向分量[1]。通过最小二乘估计得

$$\hat{R}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i \tag{1}$$

$$\hat{a}=\frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i\cos\theta_i \tag{2}$$

$$\hat{b}=\frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i\sin\theta_i \tag{3}$$

当测量噪声为白噪声时，$\{w_i\}$均值为零，方差为 σ_w^2，$\hat{R}$，$\hat{a}$、$\hat{b}$ 均为无偏估计，即

$$E(\hat{R})=R, E(\hat{a})=a, E(\hat{b})=b \tag{4}$$

其方差为

$$V[\hat{R}]=\frac{1}{n}\sigma_w^2, V[\hat{a}]=V[\hat{b}]=\frac{2}{n}\sigma_w^2 \tag{5}$$

设真实方位角及其估计值为

$$\psi=\arctan\frac{b}{a} \tag{6}$$

$$\hat{\psi}=\arctan\frac{\hat{b}}{\hat{a}} \tag{7}$$

令 $\delta\Psi=\hat{\Psi}-\Psi, \delta a=\hat{a}-a, \delta b=\hat{b}-b$，当 $\delta\Psi$ 很小时，可为

$$\delta\Psi=\frac{a\delta b-b\delta a}{a^2+b^2} \tag{8}$$

$$E[\delta\Psi]=\frac{aE[\delta b]-bE[\delta a]}{a^2+b^2}=0 \tag{9}$$

即 $E[\hat{\Psi}]=\Psi$，方差为

$$V[\hat{\Psi}]=V[\delta\Psi]=\frac{1}{a^2+b^2}V[\hat{a}]=\frac{1}{a^2+b^2}V[\hat{b}]=\frac{2\sigma_w^2}{n\omega_N^2} \tag{10}$$

即

$$\sigma_{\hat{\psi}}=\sqrt{\frac{2}{n}}\frac{\sigma_w}{\omega_N} \tag{11}$$

从式(11)可以看出单点陀螺精度越高，寻北位置数越多，

基金项目：中国科学院知识创新工程领域前沿基金资助项目
作者简介：刘 畅(1980－)，女，研究实习员、硕士研究生，主研方向：惯性寻北技术；乔彦峰，研究员、博士生导师；王志乾，副研究员；沈铖武，助理研究员、硕士
收稿日期：2008-08-30 **E-mail：**small_liu_1230@163.com

寻北精度越高。根据工程要求以及对寻北系统工作时间和精度的考虑，本系统选取 120 个点。

3 伺服控制系统原理

根据多位置寻北技术的原理，为实现整个系统能够准确地对真北方向进行定位，需对陀螺转台进行分度定位控制，完成转台转动－停止－转动－停止…的工作过程，因此，采用速度、位置双闭环控制方法[2]，原理框图如图 1 所示：速度环为内环，位置环为外环。

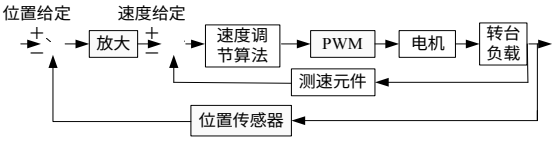


图 1 伺服系统原理框

在转台一周等间隔选择 120 个点，每个点转动 3°。系统接收位置传感器反馈的每点转动的位置值，与给定的位置值进行比较，偏差信号通过放大模块得到速度给定值，该值同时与测速元件反馈得到的转台速度值进行比较。速度偏差信号通过速度调节算法输出 PWM 到电机驱动模块，驱动电机转动，使转台在既定时间内达到预定的位置和速度，使转台在每一点都能快速、稳定、准确的定位，保证陀螺在转动中不受冲击，实现陀螺的多位置测量。

4 伺服控制系统硬件设计[3]

本文所设计的伺服系统主要由 DSP 核心控制模块、反馈元件、直流伺服电机和电机驱动模块组成，如图 2 所示。

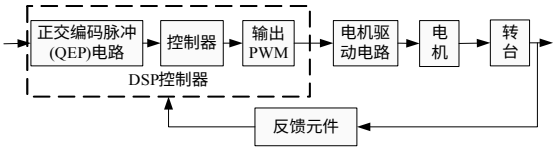


图 2 伺服系统硬件组成框图

4.1 DSP核心控制模块

TI 公司的 TMS320LF2407A 运动控制芯片是 TMS320C2000^{TM}平台下的一种定点DSP芯片。240x＋芯片为C2xxCPU功能强大的TMS320^{TM}DSP结构设计提供了低成本、低功耗、高性能的处理能力，对电机运动的数字化控制非常有用。几种先进外设被集成到该芯片内，以形成真正的单芯片控制，具有处理性能好(30MIPS)、外设集成度高、程序存储器更大、A/D转换速度快等特点。

TMS320LF2407A 有 2 个事件管理器模块：EVA 和 EVB，用于电机数字化控制作用。该模块的性能包括中间和边缘对齐的 PWM 发生器以及可编程的死区控制性能，以防止桥式驱动主电路上下桥短路。

4.2 反馈元件

每个事件管理器模块都有正交编码脉冲(QEP)电路。该电路被使能以后，可以在编码和计数引脚上输入正交编码脉冲。正交编码脉冲电路可用于连接光电编码器以获得旋转机械的位置和速率等信息。本系统速度环的测速元件和位置环的位置传感器均选用光电编码器作为反馈元件。

光电编码器是转速和转角的检测元件，由光源、光栅码盘和光敏元件 3 部分组成，与电动机相连，当电机转动时，带动码盘旋转，直接输出数字式电脉冲信号。本文设计的伺服系统选用增量式光电编码器。增量式编码器在码盘上均匀地刻制一定数量的光栅，当电机转动时，码盘随之一起转动。通过光栅的作用，持续不断地开放或封闭光通路，因此在接收装置的输出端便得到频率与转速成正比的方波脉冲序列。

DSP 的正交编码脉冲(QEP)电路接收编码器输出的两列相差 90°的脉冲系列。当电动机轴上的编码器产生正交编码脉冲时，通过检测 2 个序列钟的哪一个序列领先，就可以测出电机转动的方向：正转时 A 相超前 B 相；反转时 B 相超前 A 相。QEP 电路的方向检测逻辑测定哪个脉冲序列的相位领先，然后产生一个方向信号作为通用定时器的方向输入，以此来选定定时器的计数模式。两个正交编码输入脉冲的两个边沿均被 QEP 电路计数，因此送到通用定时器的 QEP 电路产生的时钟频率是每个输入序列频率的 4 倍。通过信号处理电路和可逆计数器可以输出位置增量信号，再经过测速算法，可以得出转速信号。

5 软件设计[4-6]

由多位置寻北原理可知，为实现在规定时间内完成快速高精度寻北，对等间隔选取的每一个点的转动时间、稳定时间、定位精度以及陀螺在各点的测量时间、测量值的准确性有较高的要求。只有转台转动的时间短、定位精度高，才能加长陀螺稳定和测量的时间，提高测量值的精度。

PID 控制原理简单，使用方便，鲁棒性比较强，是工业过程中应用最广泛的一种控制规律，可以满足对伺服系统转动时间短和定位精度高的要求。位置式 PID 控制算法的离散差分公式如下所示：

$$u_n = K_P E_n + K_I \sum E_n + K_D (E_n - E_{n-1}) \tag{12}$$

其中，K_P为比例系数。加快系统的响应速度，提高系统的调节精度。K_P越大，系统的响应速度越快，调节精度越高，但容易产生超调，导致系统不稳定。K_P过小，调节精度越低，响应速度缓慢，延长调节时间，降低系统的动、静态性能。

K_I为积分作用系数。消除系统的稳态误差。K_I越大，系统的稳态误差消除的越快，K_I过大，会导致在响应过程的初期产生积分饱和现象，加长响应时间。K_I过小则会影响系统的调节精度。

K_D为微分作用系数。微分调节具有某种程度的预见性，有导前的作用，可以抑制振荡，加快系统的动作速度，减少调节时间，提高系统的稳定性。

软件设计框图如图 3 所示。

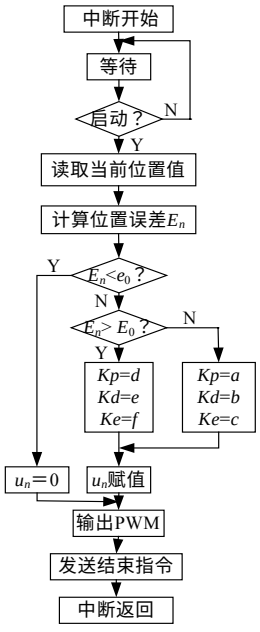


图 3 控制器流程

其中，ε_0为位置偏差的下限值，当位置误差小于ε_0时电机停转；E_0为位置偏差阈值。根据系统的实际情况，各点的控制过程以E_0为分界点，进行分段控制，同时伺服系统与上位机通过RS422 进行通信，接收到上位机发出的工作命令后，DSP开始控制电机的启动和转动，当位置误差小于ε_0时，电机停止转动，并将该信息发送给上位机，等待下次的启动命令。

6 实验结果

本系统选取 120 个点，即 3°/点，选用 J75LYX011 直流力矩电机，最大空转速度为 520 r/min，光电编码器为 72 00l p，采样时间为 10 ms，图 4 和图 5 分别为 PID 分段校正前、后各点的工作时间，PID 分段校正前各点时间值在 260 ms~400 ms 之间，而 PID 分段校正后使每点从转动到停止的时间不超过 260 ms，定位精度 1.1′，转速 8.3 r/min。该伺服系统的设计提高了陀螺测量时的稳定性，为获得高精度的寻北精度提供了保障。

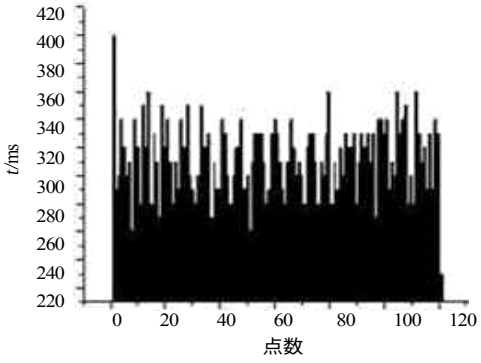


图 4 PID 分段校正前各点的工作时间

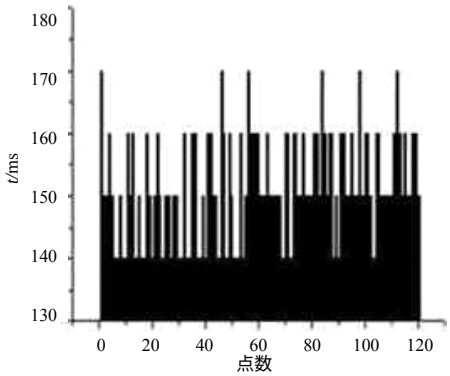


图 5 PID 分段校正后各点的工作时间

7 结束语

本文对陀螺多位置寻北仪的伺服系统从原理、硬件设计、软件设计等方面进行了介绍，同时通过对实验结果的比较，证明了该伺服系统的控制方法可以满足准确性、快速性的要求，具有很好的实用性。

参考文献

[1] 邓正隆. 惯性技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.

[2] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[3] 江思敏. TMS320LF240X DSP 硬件开发教程[M]. 1 版. 北京: 机械工业出版社, 2003.

[4] 范晓烨, 王 豪, 张道中. 伺服控制系统的计算机实现[J]. 计算机工程, 2004, 30(11): 1746-176.

[5] 黄 峰, 汪岳峰. 模糊参数自整定 PID 控制器的设计与仿真研究[J]. 光学精密工程, 2004, 12(2): 235-239.

[6] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.

（上接第 226 页）

6 UART 功能测试

UART 功能测试采用 AT89S52 单片机与键盘控制 UART 工作，用 16×2 点阵的 LCD1602 显示发送、接收数据，其中 UART 的 THR, reset, WR 信号由单片机控制，parityEn, paritEv, databits1, databits0 外接拨码开关控制，RxRDY, toe 信号采用查询方式检测接收、发送状态及读取和写入并行信号。测试系统如图 9 所示。

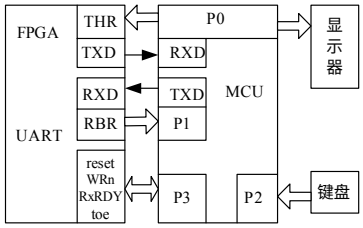


图 9 测试系统框图

单片机的 P2 口作为测试连接控制口，由键盘设定测试项目，读取 P2 口各位状态，验证 UART 的各项功能。

7 结束语

本文完成的 UART，实现了全双工收/发数据传输。具备可编程收/发 5~8 位数据位、提供奇偶校验位，接收缓冲寄存器与发送保持寄存器分离。接收模块带奇偶校验错、帧出错信号，当接收完一帧数据或发送完一帧数据后提供指示信号。UART 带全局复位信号和 16 倍波特率的时钟信号。通过功能测试电路，结合串口调试助手和实际应用，以及单片机编程验证了 UART 收发功能，各项通信指标均满足要求。

参考文献

[1] 贾子申, 李淑清, 王冠雅. 基于 FPGA 的 UART 控制器设[J]. 电子测量技术, 2008, 31(3): 82-83.

[2] 白瑞林, 王 建, 沈宪明. 基于 FPGA 的 CMAC-PID 控制器的研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(7): 240-242.

[3] 潘 松, 黄继业. EDA 技术与 VHDL[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007-01.