

一种新型数字式手柄控制器的设计*

陈颖¹,张夏疆¹,薛媛媛¹,杨萌¹,尚婷²

(1.西安应用光学研究所,陕西 西安 710065;

2.西安理工大学,陕西 西安 710048)

摘要:介绍了几种数字式手柄控制器的优缺点,针对某数字伺服系统实际需求,设计了一种具有CAN总线通信功能的新型数字式手柄控制器。根据角速度积分原理,详细讨论各部分硬件组成电路,给出软件流程。通过实验比较和效果分析,该手柄不仅能输出任意角位置,还能实现跟踪角速度命令的连续变化。其结构易于实现,开发成本低,有较高灵活性和稳定性,充分发挥软硬件结合潜力作用。在雷达跟踪、周视监控等数字式伺服控制中有巨大应用前景。

关键词: 伺服控制;角位置;角增量

中图分类号: TP272

文献标识码: B

文章编号: 1674-7720(2013)18-0061-03

A new-style design of digital handle controller

Chen Ying¹, Zhang Xiajiang¹, Xue Yuanyuan¹, Yang Meng¹, Shang Ting²

(1. Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an 710065, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Advantages and disadvantages of several digital handle controller were discussed in this article. Considering practical demand of one digital servo control system, a new-style digital handle controller with the communication of CAN-bus was designed. Basing the principle of angle rate integral, the hardware structure and software flow chart is presented in this paper. Evaluating after testing through the practice attempt and effect, this handle controller not only outputs discretionary angle-position, but also generates consecutively changing angle-rate of track. It has more flexibility and stability, and advantages of simple structure, low cast and high reliability. There are potential application in digital servo control area such as radar track and monitoring around vision.

Key words: servo control; angle position; angle increment

角位置伺服控制系统应用于飞行器姿态控制和检测导弹制导控制、雷达天线跟踪系统,也在工业机器人、数控机床等方面广泛应用。随着高速处理器的发展,原有伺服系统的模拟控制器件逐渐被高性能数字式控制器取代。以DSP为控制核心和数字化接口的测角元件组成的数字角位置伺服控制系统具有精度高、速度快、稳定性好以及计算机接口简单等优点,极大地提高了系统的整体性能。线性连续变化输入的数字式手柄控制器替代了原先的输出模拟信号的手柄控制器,成为数字伺服系统中人机交互的重要组成部分^[1-2]。本文利用数字式器件准确、抗干扰能力强的特点,结合模拟式器件控制

信号平滑变化、连续性好的优点,设计出一种速度可变的数字式手柄控制器。

1 设计方案

1.1 手柄介绍

在数字伺服控制系统中,角度用数码表示。测角装置将圆周等分成 2^n 个,每个等分单位角是 $\delta=360^\circ/2^n$ 。 n 越大,单位角 δ 越小,说明分辨率越高。一旦 δ 确定,每个输出角位置的编码值对应一个角度值。通常将数字式测角装置的二进制位数 X 做为数字式角位置伺服系统的运算位数 n ,所以一般取手柄输入角位置数字量位数也等于 n 。例如,某数字伺服控制系统选用16位的测角装置,其输出轴旋转一周,角度从 $0\sim 360^\circ$ 变化,则编码值从0000H~FFFH,再回到0000H。此数字控制系统的

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 63

* 国家专利:手柄控制器信号处理方法(201010263246.X)

技术与方法 Technique and Method

运算位数就是 16 位,手柄输入角也是 16 位。

许多老式模拟角位置伺服系统的手柄控制杆是电位器形式,通过操纵杆的偏转角度改变电位器输入的电信号,实现角位置手动控制。其中选用的电位器调节精度必须非常高,才能使角度转位稳定与准确,这无疑提高了手柄的成本。在新一代的数字式角位置伺服控制系统中手柄输入有以下几种方法:(1)电信号经过 A/D 转换成离散数字信号;(2)电信号经 V/f 或 I/f 变换后由加减法计数器形成数字信号。这两种方法由电信号的强弱来控制数字信号大小,一般国内高精度的电位器造价非常昂贵,若选用普通电位器其电信号不能稳定输出,也不能达到理想效果;(3)加减法计数器直接形成数字信号。它通过数值积分获得数字信号大小;(4)直接使用高精度角位置传感器输出数字量。由于成本较高,该方法也不宜采用。

1.2 设计原理

本文设计的数字式手柄借鉴角速度的积分原理,属于数字量计算机采样控制。角位置 θ 和角速度 ω 的关系式可表示成:

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau, \omega(t) = \frac{d\theta}{dt} \quad (1)$$

对于数字式伺服控制系统,输入的角位置也应该是一种离散数字量,这样能够方便伺服计算机直接获取数据,进行控制算法的计算,而不是像模拟式伺服控制系统中的输入模拟量连续变化。因此式(1)角速度积分形式表示的角位置量要通过数值计算的方法逼近。如果以 T 为采样周期,用一系列的采样时刻 KT 代替连续时间 t , $\Delta\theta(KT)$ 表示第 KT 次采样的角增量, $\omega(KT)$ 表示第 KT 次采样周期的角速度。以增量代替微分,并以后向差分的形式表示;以和式代替积分,并以矩形积分的形式表示。可将上式近似变换成:

$$\theta(KT) = \sum_{j=0}^K \Delta\theta(jT) \approx T \sum_{j=0}^K \omega(jT) \quad (2)$$

$$\omega(KT) = \frac{d\theta}{dt} \approx \frac{\theta(KT) - \theta(KT-T)}{T} = \frac{\Delta\theta(KT)}{T} \quad (3)$$

其中, $K=0, 1, 2, 3 \dots$ 。

由式(2)可以看出, KT 时刻的角位置是 K 个采样周期内角增量 $\Delta\theta$ 的累加和。只要将采样周期 T 选取足够小,近似忽略角度累加时间,同时每个周期内的角增量 $\Delta\theta$ 选取足够大,就可以快速获得任意角位置的数字量。即认为是实时输出的角位置命令,近似得到数字伺服系统的阶跃输入信号。

当采样周期选定后,还要实现系统的目标跟踪特性,即速度斜坡和加速度命令输入。也就是实现由伺服系统输入角位置的变化快慢,得到可变的角速度。由式(3)看出, $\omega(KT)$ 与 $\Delta\theta(KT)$ 和 T 有关,此时采样周期 T 确定后,改变 $\Delta\theta(KT)$ 的值,可实现输入角速度的变化。

1.3 技术方案

由于某数字伺服系统的角位置数字量是 16 位数,

所以设计一个 16 位计数器输出手柄角位置命令。设计的计算机采样系统不断采集由电位器输出的可变的模拟电信号,将其转化成离散数字量,用来表示本周期的角增量 θ 并累加到 16 位计数器中。由于每个周期的角增量可以任意变化,只要采样周期选取合适,任意角位置命令都可以快速发出。也实现了可变的角速度命令与加速度命令实时输出。采用 CAN 总线通信方式实现手柄对伺服系统的控制。CAN 总线即控制器局域网,是目前国际上应用最广泛的现场总线之一,它是一种多主方式的串行通信总线设计规范,具有高位速率、高抗电磁干扰性、低成本、极高的总线利用率等特性,最大通信速率为 1 Mb/s,最大传输距离达 10 km。

2 手柄设计

2.1 硬件电路

手柄电路由单片机系统、A/D 采集、CAN 总线通信、键盘与显示电路等组成。其原理图如图 1 所示。以高速单片机为控制核心的单片机系统,主要控制采集两路幅值可变的双极性模拟电压信号,并将其转变成对应的数字量,作为本周期的角增量值 $\Delta\theta$ 累加到 16 位计数器中。循环发送计数器中的数据,通过 CAN 总线告知数字伺服系统不断更新当前的方位与俯仰角位置命令。

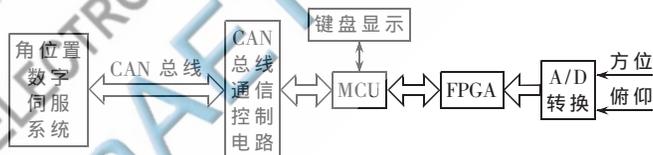


图 1 手柄结构原理图

MCU 选用 LPC932 芯片,它是单片封装的增强型 8051 微控制器,采用高性能处理器结构,指令执行时间只需 2~4 个时钟周期^[3]。执行代码速率是标准 8051 芯片的 6 倍。它继承了许多系统级的功能,适合于高集成度、低成本、低功耗的场合,可以满足多方面的性能要求。

A/D 采集芯片选用 Analog Device 的 AD976A。它是一款单路高速、低功耗、16 位的并行 ADC,片内带有采样保持器和输出缓存。采样速率最高可达到 200 KS/s,采用 5 V 单电源供电,可对输入双极性 ± 10 V 范围内模拟电信号进行转换。本设计用 2 片 AD976A 分别对方位、俯仰两路模拟电信号进行转换,使用 FPGA 作为选通转换数据、发出转换命令,并且对其他功能电路有逻辑控制的作用,方便、准确、可靠性高。

通信部分采用 PHILIPS 公司的 CAN 控制器芯片 SJA1000 和 CAN 总线驱动器 PCA82C50。CAN 总线通信具有 Basic CAN 和 Peli CAN 两种工作模式。Basic CAN 工作在 CAN2.0A 协议,Peli CAN 工作在 CAN2.0B 协议。在本设计中考虑到通信节点不多,故采用了 Basic CAN 工作模式。设置总线通信波特率为 200 KB/s,总线的驱动器选用 PCA82C50,它是协议控制器和物理传输线路间的接口芯片,此器件对总线上的数据提供差动发送与

技术与方法 Technique and Method

接收能力。在控制器和收发器之间采用高速光电耦合器 6N137,提高了系统的抗干扰性能和安全性能^[4]。

显示电路采用 8279 芯片驱动两个 4 位 LED 显示,用来实时输出显示方位和俯仰角命令值,以便及时与数字伺服控制系统中人机界面的实际方位、俯仰角位置进行比较,分析其伺服控制性能。角位置命令也可由键盘输入,用来测试数字伺服系统的阶跃信号响应。

2.2 软件设计

根据对手柄控制器方位、俯仰角位置输出量的技术要求,结合硬件电路构成,系统软件主要实现以下功能:

(1) 模拟电信号的快速 A/D 采集,通过极性判断后,获得单位周期内的角增量 $\Delta\theta$, 将其累加入角位置命令寄存器。

(2) CAN 总线通信初始化、CAN 总线数据发送及配置键盘中断、驱动显示模块。

软件总体设计流程图如图 2 所示。流程图包括系统初始化、单位周期内角增量测量、计算方位、俯仰角位置命令和 CAN 总线数据通信。

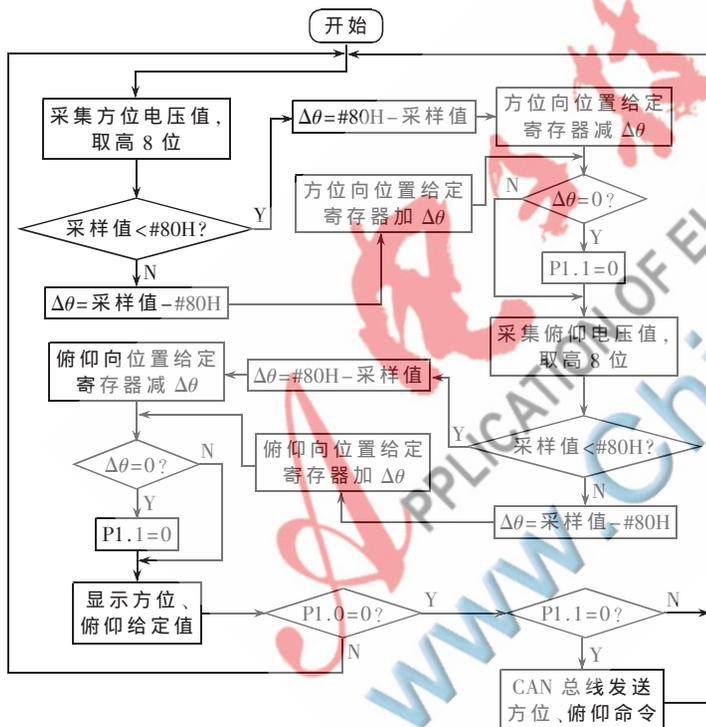


图 2 软件流程图

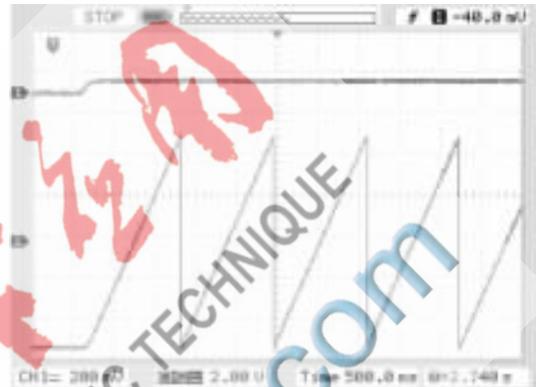
3 实验分析

普通电位器的调节精度和稳定性较差,并且受到电源电路的纹波影响,使得电位器输出模拟电信号的纹波较大,在 ± 30 mV 之间。而 AD976A 的转换精度是 0.3 mV,这样得到的 16 位数字量不停跳变,难以达到功能要求。所以将转换的数字量取高 8 位表示角增量 $\Delta\theta$, 牺牲 A/D 采集转换精度来换取稳定、不跳变的数字量。

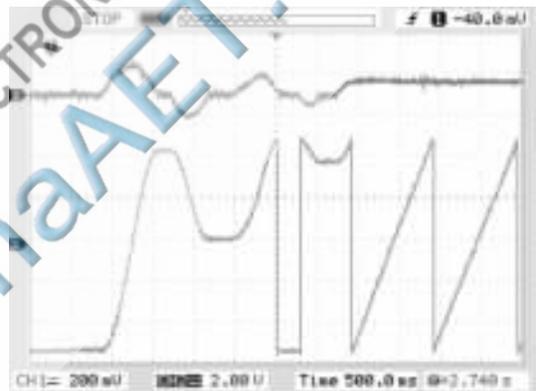
虽然表示单位周期角增量的范围降低到 $-256 \sim +255$,测得采样周期是 5 ms,但它可以提供的角速度命令最高

可达 $280^\circ/\text{s}$,在角位置伺服跟踪系统中已满足最高速度要求。所以本设计方案克服了普通电位器调节精度差和电源纹波大的影响。

图 3(a)是用加减法计数器设计的角位置命令。图 3(b)是设计出的 16 位数字式手柄控制器用示波器测试角增量变化和角位置命令数字量 D/A 转换后的曲线图。角位置命令是 0000H,电压是 -5 V,当角位置命令连续变化到 FFFFH 时,电压是 $+5$ V,超过此位置电压又重新回到 -5 V,即在 0000H。角位置变化曲线的斜率即是角速度。



(a) 计数器实现的手柄控制器



(b) 新型手柄控制器

1—角增量 2—角位置量

图 3 不同手柄控制器控制效果比较图

从图中角位置变化曲线看出,用此方案设计的手柄控制器只能实现角速度恒定的角位置命令变化。比较两图可以分析得出,本文设计的手柄控制器不仅可以输出任意角位置量,还可输出连续变化的跟踪角速度。

本文依据角速度积分原理,选用高性能增强型单片机与高速率的转换芯片,设计出一种新型数字式手柄控制器。在角位置数字伺服控制系统中,既能输出任意角位置命令,又能实现跟踪角速度命令的连续可变。具有结构简单、集成度高、系统抗电磁干扰能力强、数字量输出稳定等优点。并且应用先进的 CAN 总线技术,优化了通信平台,为进一步拓展手柄控制功能和实现网络化伺服系统的控制与管理奠定基础。适于在雷达跟踪、周视监控等领域广泛应用。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 65

技术与方法 Technique and Method

参考文献

- [1] 卢志刚, 吴杰, 吴潮. 数字伺服控制系统与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [2] 丛爽, 李泽湘. 实用运动控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] 周立功. LPC900 系列单片机及应用技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.

- [4] 李正军. 现场总线及其应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

(收稿日期: 2013-05-29)

作者简介:

陈颖, 男, 1980 年生, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 惯性导航、制导控制及伺服控制。

