

基于线阵 CCD 的精密测角系统

Precision Angle-Measuring System Based on Linear CCD

(1.中科院长春光学精密机械与物理研究所;2.山东滨州学院) 孙 航¹ 耿爱辉¹ 张海波¹ 王 萱²
SUN Hang GENG Ai-hui ZHANG Hai-bo WANG Xuan

摘要: 本文提出了一种基于线阵 CCD 的精密测角系统,该系统由线阵 CCD 作为光学传感器、利用嵌入式处理器和可编程逻辑器件对 CCD 进行驱动和数据采集和处理。实现了对小范围内角度的精密测量,系统的测角频率可达到 200Hz,测角精度为 0.02mrad,可实时动态的对小角度进行非接触测量。

关键词: 角度测量; 线阵 CCD; DSP; CPLD; A/D 转换

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

Abstract: A kind of precision Angle-measuring system based on Linear CCD is put forward in this paper. This system use linear CCD as optical sensor, use DSP and CPLD to acquire and process the data of CCD. The system can realized the precision measuring during the comparatively small degree, it's frequency of work can receive 200 Hz, and the measure precision can receive 0.02mrad. The system can measure the degree accurately during small range on real time but not to touch the target.

Key words: Angle Measurement; Linear CCD; DSP; CPLD; A/D Conversion

引言

高精度的角度标定装置,在工业测量、科学实验、国防科技工业等领域有着广泛的应用。例如:运载体(飞机、战车)姿态的确定,机器人移动手臂相对于机体转过的角度的确定,精密数控机床中刀片姿态的确定等等。

测量角度的方法有:机械测量方法,电磁测量方法,光学测量方法以及光电测量方法等。机械测量方法早期应用较多,优点是简单,成本低,但是其设备体积庞大,测量精度不够高,测量延时大,多数情况下不能实时动态测量,而且,也不能实施非接触式测量。电磁测量方法利用电磁感应的原理来测量角度,可实施接触式测量,测量精度高,测量速度快,但不能应用于非接触式测量。几何光学测量方法是利用光的反射折射原理来确定出角度关系的一种测角方法,该方法的精度高,但实现起来较为复杂,需要设计精密的光路,而且往往需要人工干预才能完成测量。而以近代波动光学为基础的光电检测法以其高精度、高可靠性、实现简单、体积小、重量轻、可维护性好等优点。

在光学式动态小角度测量系统中,目前主要采用的方法有圆光栅测角、激光干涉测角和激光自准直测角等。采用圆光栅和激光干涉测角方法研制的动态测角系统,结构一般较为复杂,在应用方式,现场的可用性、动态性和经济方面都存在着不足。根据激光自准直原理,利用激光本身方向性好的特点,以激光光强分布中心作为基准直线,采用 CCD、四象限光电管或 PSD 作为光电探测器,可以较好地实现小角度的静态和动态测量。

1 系统工作原理

线阵 CCD(Linear Charge Coupled Device)是一种高精度的二维图像传感器,具有体积小、速度快、分辨率高、稳定性好、抗干扰性强、灵敏度高、测量误差小等特点而在高精度非接触测

控领域中得到广泛应用。CCD 成像检测的基本原理是在光学系统的作用下,将被测物体的角度变换转化为光束角度的变化,光束照射在 CCD 器件的受光面上,受光窗面受光线照射的像素中产生光生电荷,然后在 CCD 驱动脉冲的控制下,将电荷转移并移位传输至输出电路,经输出电路将电荷量转化为电压量输出。CCD 输出的是模拟量,经放大电路和 A/D 转化电路转化为数字量,CPU 将数字量采集后进行计算以生成所需的角度值。当 CCD 用于实时测量时,要考虑到整个系统的精度和速度,本文选用的 CCD 像素大小为 11 μ m,像敏单元数为 2700 个像元,像元复位脉冲采用 250kHz,选用的 A/D 芯片为 TLV1572,采样频率为 1.25MSPS。采用的核心处理器为 TMS320C5409 其工作频率可达到 80MIPS。

系统由一反射镜,自准直光学系统,线阵 CCD,DSP 及采集电路,CPLD 及驱动电路组成,其工作原理如图 1 所示。

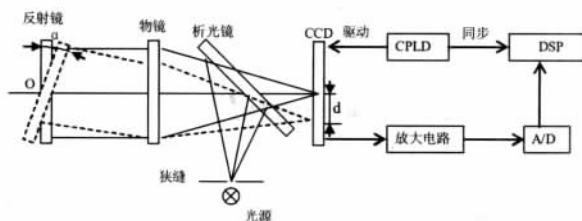


图 1 系统工作原理示意图

线阵 CCD 垂直于自准直物镜光轴,其中心位于物镜的焦点上。当反射镜法线平行物镜光轴时,狭缝发出的光线,经析光镜、物镜成平行光照射在反射镜的反射面上。经反射镜、物镜作用成像在 CCD 中心。当反射镜绕 O 点转动角 α 时,光斑像偏离 CCD 中心的距离 d 与转角 α 的关系为

$$d = f'tg2\alpha \quad (1)$$

即

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{d}{f'}\right) \quad (2)$$

孙 航: 助理研究员 硕士

式中 f' 为自准直物镜的焦距,显然利用 CCD 测出 d 值就可以得到转角 α 值,测角精度(角分辨)为:

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta d}{2f' \left[1 + \left(\frac{d}{f'} \right)^2 \right]} \leq \frac{\Delta d}{2f'} \quad (3)$$

式中 Δd 取决于 CCD 像素间距,可达像素间距的 1/4,本系统中 CCD 采用 TCD1251UD, 其像素大小为 $11\mu\text{m}$, 焦距为 100mm 。其测角精度 α 可达 0.02mrad 。

2 CCD 的驱动

本系统中 CCD 的驱动信号主要包括两路电平相反的时钟信号 CLK1,CLK2,转移栅脉冲 SH 以及复位栅脉冲 RS。其电平要求为电压幅值为 5V 的 TTL 电平, 因此 CPLD 输出脉冲后需要经过 74LS14 将 3V 的信号转化为幅值为 5V 的电平信号。CLK1,CLK2 频率为 500K, 要求在 SH 为高电平时,CLK1 为高电平 CLK2 为低电平。RS 的频率为 250K,其下降沿要求与 CLK1, CLK2 的跳变沿有最小 125nS 的间隔。

CPLD 的编程采用 Quatus 开发环境, 顶层文件使用图形化编程。顶层文件中的每个小模块使用 VHDL 语言编程。CPLD 的工作时钟采用 16M 晶振,经计数器 32 分频产生 500K 的时钟信号, 再经过 JK 触发器产生 250K 的 CLK1,CLK2 时钟脉冲,同时 JK 触发器的清零端接 SH 信号以保证 SH 的高电平同时 CLK1 的同步高电平。复位栅脉冲 RS 由晶振首先通过 16 分频产生 1M 脉冲信号,然后通过设置局部计数变量调整 RS 与时钟 CLK1 的脉冲间隔,同时产生 A/D 转换的采样脉冲其部分 VHDL 语言的描述如下:

```
BEGIN
PROCESS(CLK1M)      --经分频产生的 1M 脉冲
VARIABLE count: INTEGER RANGE 0 TO 3;      --定义局部计数变量
BEGIN
    IF CLK1M'event AND CLK1M='1' THEN      --设置局部计数变量
        IF count=count'high THEN
            count:=0;
        ELSE
            count:=count+1;
        END IF;
    END IF;
    --通过计数变量产生 RS 信号
    IF count=1 THEN
        RS<='0';
    ELSE
        RS<='1';
    END IF;
    --通过计数变量产生 A/D 采样信号
    IF count=2 THEN
        SP_A<='1';
    ELSE
        SP_A<='0';
    END IF;
END PROCESS;
程序编制完成后经过仿真产生的部分驱动脉冲信号如图2 所示。
```

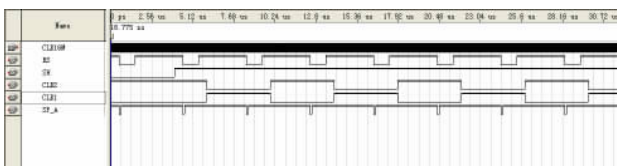


图 2 仿真产生的 CCD 驱动脉冲信号

3 CCD 信号处理

CCD 产生的输出信号为差动直流模拟信号 OS 和 DOS,其幅值 $|V_{OS}-V_{DOS}|$ 在饱和状态下为 200mV, 经过 AD8031 放大为饱和状态下为 5V 的直流模拟信号, 此信号再经 TLV1572 进行 A/D 采样。TLV1572 为串口模数转换器其转换精度为 10 位,工作频率可达 1.25MSPS。TLV1572 为串行芯片, 可以与 TMS320C5409 的 McBSP 口无缝连接。其连接关系如图 3 所示:

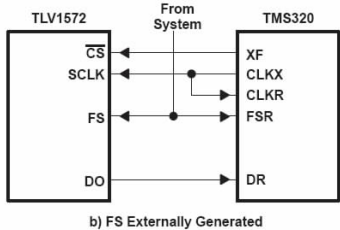


图 3 TLV1572 外同步示意图

其中 CS 为片选信号,由 DSP 的 I/O 脚 XF 进行 A/D 采样的控制, 当系统上电后 TMS320C5409 完成初始化后对 TLV1572 进行片选使 TLV1572 开始工作。SCLK 为采样时钟由 TMS320C5409 的片内外设 McBSP 产生,其频率至少为采样频率的 16 倍。本系统中采样频率为 500K,因此 SCLK 的频率经 DSP 内部锁相环的倍频达到了 12MHz。FS 为帧同步信号,当 CS 有效的 3 个采样时钟之后 TLV1572 锁定工作模式, 此时 FS 可以跳变为高电平,当 FS 为高电平时 TLV1572 开始对 CCD 的一个像元的模拟信号进行 A/D 采样, 当 FS 由高电平跳变为低平时, TLV1572 开始将采样结果转移到 DO 线上, 经过 6 个无效位后, 10 位的采样结果由高位到低位输出在 DO 线上。

TMS320C5409 在 McBSP 中断中接收 CCD 像元的每个采样值,将采集到的采样值与设定的阈值相比较,如果大于阈值则认为是光斑点,将此点的坐标值记录到数组中。以转移脉冲调宽之后作为 TMS320C5409 的外部中断,在中断中将一场像元坐标值归零,以在下场中重新递增。并将数组中记录的坐标求平均并计算出与 CCD 靶面中心的距离以求出 Δd 进而代入公式 2 求出角度值 $\Delta\alpha$ 。

4 实验结果

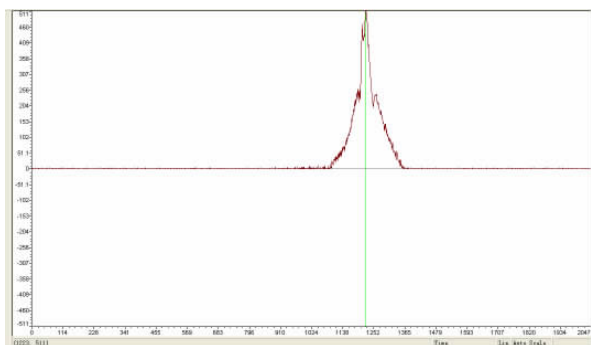


图 4 CCD 采样信号图

(下转第 56 页)

技术创新

及其组合,把这些组合路线分别与移动目标航迹求取匹配度量值,将取得最大匹配度量值的组合路线作为移动目标当前行驶路线。

5 PC 机测试

GIS 应用的测试服务器和客户端都放在普通的 PC 机上,为了模拟测试客户端在运动状态下的定位效果,本次测试没有使用 GPS 接收机,取而代之的是一组变化的 GPS 数据。客户端向服务器发送经纬度信息或者其他请求指令,然后等待服务器返回处理后的输出地图,地图中用黑色“x”表示移动的用户。运行效果如下:



图 5.1 匹配效果对比

图 5.1 包括了两种不同的定位状态下的效果,左图的效果图是在没有使用地图匹配算法的情况下用户的定位轨迹截图,可以看出用户已经偏离了地图中的道路元。右边的效果图是在使用地图匹配算法的情况下用户定位轨迹截图,可以看出用户虽然偏离了道路图元,但通过地图匹配算法可以重新将用户的位置修改为道路图元上的切点。

6 结束语

J2ME 平台拥有很多 Java 技术的特性:跨平台性、代码可移植性以及网络安全性等,在无线领域的应用前景极为广阔。随着手机移动定位技术的日趋成熟,在 J2ME 支持下开发的本移动 GIS 系统可以使用户通过手机等移动通讯设备方便地获知自己目前所处的位置,查询附近各种场所的地理属性和空间信息,为用户的出行提供全方位的地理信息服务。

本文作者创新点:通过使用 J2ME 技术实现 GIS 客户端,是 GIS 客户端能够得到很好的跨平台特性,避免了使用一般嵌入式 GIS 开发平台带来的操作系统依赖性。

参考文献

- [1]陈述彪,鲁学军,周成虎.地理信息系统导论.科学出版社.1999
- [2]刘大杰.全球定位系统(GPS)原理与数据处理.同济大学出版社.1996
- [3]Bruce Eckel.Thinking in java.机械工业出版社.2004
- [4]张小伟.J2ME 无线平台应用开发.清华大学出版社.2004
- [5]刘光.地理信息系统二次开发教程组件篇.清华大学出版社.2003
- [6]MapInfo.MapX4.5 online help.http://www.MapInfo.com.2002
- [7]唐伦,陈晓凤.WebGIS 企业应用开发技术综述.中国数据通信.2005
- [8]王萌,杨晓云,周坚和,张增芳.基于 GPS/GIS 的车辆定位系统

设计.微计算机信息,2007,9-1:229-230

作者简介:邓炼勇(1983-),男,硕士研究生,研究方向为通信与信号处理,嵌入式硬件开发;陆以勤(1968-),男,广东省德庆人,华南理工大学教授,博士,研究方向为移动智能终端,电信网,Petri 网。

Biography: DENG Lian-yong, male, Han, graduate student of school of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, his research interests include Development of hardware in embedded system.

(510640 广州 华南理工大学电子与信息学院) 邓炼勇 陆以勤
(College of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, 510640, China)
DENG Lian-yong LU Yi-qin

通讯地址:(510640 广东省广州市天河区五山华南理工大学西八学生宿舍 401) 邓炼勇

(收稿日期:2008.12.09)(修稿日期:2009.03.09)

(上接第 62 页)

利用 DSP 的调试软件 Code Composer Studio 进行 DSP 的实时在线仿真,将采集到的完整一场 CCD 像元采样值显示出来如图 4 所示。

经过计算,光斑的中心点为第 1227 个像元偏离 CCD 靶面中心第 1350 个像元 123 个像元单位即 $1353\mu\text{m}$, 带入公式 2 得出所测角度值为 6.765mrad 。

5 结语

本文所阐述的基于线阵 CCD 的精密测角系统,实现了动态实时的小范围角度内的精密角度测量,其具有测量精度高其测角精度可达到 0.02mrad , 动态性能好测角频率可达到 200Hz , 非接触测量的特点,在某工程实践中已经得到了应用。

本文作者创新点:本文提出了利用线阵 CCD 和嵌入式处理器以及可编程逻辑器件对精密角度的动态实时测量的完整解决方案。

参考文献

- [1]王斧,程守澄等.CCD 精密测角系统[J].光电工程,1997,20-5.
- [2]史亚莉,高云国等.提高 CCD 激光自准直测角精度的硬件方法[J].光学精密工程,2008,16-4.
- [3]YUSUKES,WEIG,SATOSHIK,A micro-angle sensor based on laser autocollimation[J]. SPIE,2005,6052.
- [4]钟锡华.现代光学基础[M].北京大学出版社,2004.
- [5]孙福佳,李厦.基于 CPLD 和 DSP 的线阵 CCD 检测系统的设计[J].微计算机信息,2007,9-2:225-226.

作者简介:孙航(1979-),男,吉林长春人,助理研究员,硕士,主要从事电子学设计和开发。

Biography: SUN Hang (1979--), Male, born in Changchun of Jilin province, assistant researcher, master. Now research in design and development of electrical.

(130033 吉林长春 长春光学精密机械与物理研究所) 孙 航
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jinlin, 130033, China)
SUN Hang

通讯地址:(130033 吉林长春东南湖大路 16 号长春光学精密机械与物理研究所光电对抗部) 孙 航

(收稿日期:2008.12.05)(修稿日期:2009.03.05)