

文章编号: 2095-4980(2017)06-1045-05

一种多轴测量控制系统的解决方案

高瀚达¹, 杨再华², 林 岩¹

(1.北京航空航天大学 自动化科学与电气工程学院, 北京 100191; 2.中国空间技术研究院 北京卫星环境工程研究所, 北京 100094)

摘 要: 提出了一种基于嵌入式与图像处理技术的多轴控制与测量系统解决方案。首先设计了嵌入式视频处理硬件平台。在此基础上, 完成了基于 Linux 系统的视频采集、传输应用软件的开发及基于微软基础类(MFC)的视频处理与通信软件的开发, 实现了嵌入式平台、手持平台、伺服驱动器、经纬仪间的数据交互与协同控制。通过对某测量系统的改造, 实现了简化测量操作、提高测量精确度的目标。

关键词: 多轴伺服系统; 视频采集; 图像处理

中图分类号: TN964.3; TP271 **文献标志码:** A **doi:** 10.11805/TKYDA201706.1045

Solution of a multi-axis measurement-control system

GAO Handa¹, YANG Zaihua², LIN Yan¹

(1.School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China; 2.Beijing Institute of Satellite Environment Engineering, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: A solution to multi-axis control, measurement system based on embedded and image processing technologies is presented. Firstly, the hardware part of the embedded video processing system is designed. Based on this, Linux-based video capture, transmission applications as well as development of both video processing and transmission on the basis of Microsoft Foundation Classes(MFC) are completed. Then data exchanging and cooperative control among embedded platform, handheld platform, servo drivers and theodolite are implemented. To reform one measurement system as an example, the goal of simplifying measurement operation and improving measurement accuracy is realized.

Keywords: multi-axis servo system; video capture; image processing

随着工业加工装配手段精确度的提高, 对辅助测量系统的精确度要求更加严格, 传统手持且依靠操作者经验的测量手段显然已经不能够满足工业测量精确度的需要。体积小、高性能的嵌入式设备与分辨精确度高且识别稳定的图像处理技术相结合的控制、测量手段自然成为高精度自动化测量系统的选择之一。经纬仪以其非接触式测量、可视化测量、高精度等优点在航空、航天等空间大尺寸测量领域应用广泛。但传统经纬仪测量手段有着测量精确度依赖操作者经验、测量效率低的缺点。本文以一典型多轴经纬仪测量系统的改造为例, 提出了一种测量控制系统的解决方案, 通过图像处理的结果对经纬仪的转动进行引导, 只需在测量开始阶段输入垂直平面内待测点坐标即可自主完成全部测量。在不改变原系统机械结构的前提下, 实现了在测量精确度与控制速度提高的同时简化操作, 具有一定的实用价值。

1 多轴伺服控制、测量系统结构简介

1.1 测量方法

系统机械结构见图 1。测量过程俯视图意见图 2, 测量过程为: 1) 垂直矫正, 经纬仪在位置 b 由主视轴向平面镜发射一束十字光线, 将反射后的十字光线中心与经纬仪目镜内的参考十字中心重合, 这时经纬仪视轴与平面镜垂直; 2) 根据已知被测装备测量点坐标, 移动经纬仪到垂直于水平面的平行平面内同一坐标位置 a , 并将同时将经纬仪向被测装备旋转 90° ; 3) 再次从主视轴进行观测, 若反射光线与参考十字中心重合则装配合格。

收稿日期: 2016-05-30; 修回日期: 2016-07-11

基金项目: 航天 CAST 创新基金资助项目(118CAST2014103001)

考虑到对装配合格与否的判断依赖于平面镜反射回经纬仪的光十字图像，选择使用 CMOS 传感器于目镜获取视频并使用数字图像处理技术对视频流进行分析，计算得到位置偏差并控制多轴伺服系统运动。

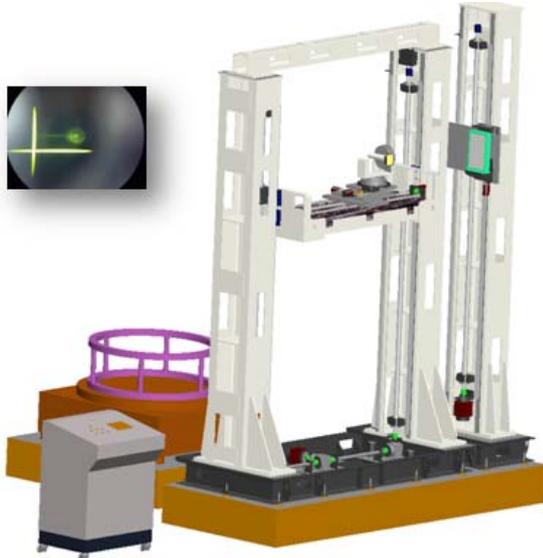


Fig.1 Schematic diagram of the system
图 1 系统结构示意图

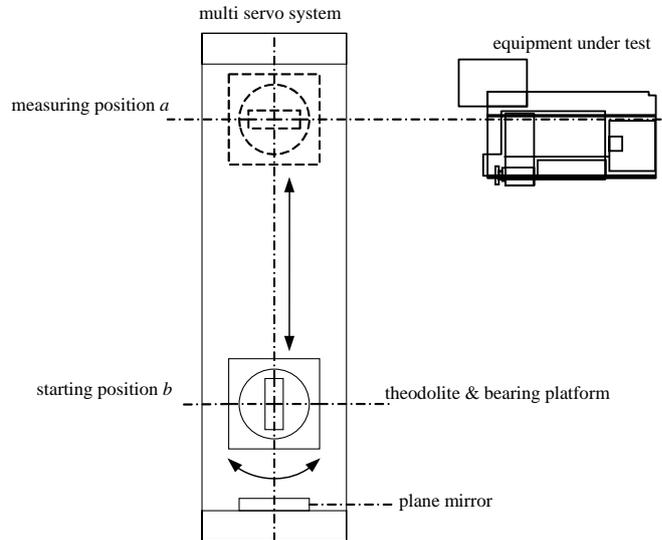


Fig.2 Top view during measurement
图 2 测量过程俯视图

1.2 系统结构

系统结构框图如图 3 所示，按设计功能可分为 4 部分：LTi 生产的伺服电机，位置编码器，LUST 生产的 Servo One Junior 电机驱动器，经纬仪承载平台组成的多轴伺服系统；Leica 生产的 TPS5000 电子经纬仪，平面镜，CMOS 传感器组成的图像采集与测量系统；嵌入式系统，无线接入点(Access Point, AP)组成的控制系统；用户操作平台(手持 PC)。多轴伺服系统的主要功能是带动经纬仪在与水平垂直且不超过限位的平面内移动，同时牵引平面镜沿垂直水平面的轴向移动并在垂直矫正时保证平面镜与经纬仪的高度一致。

测量系统使用电子经纬仪作为测量工具，通过对目镜变焦，可接收到 2 组不同图像。即由经纬仪发射，位于图像中心的参考十字，见图 4；平面镜反射后被经纬仪接收的动十字，见图 5。图 4 用于确定图像内原点坐标，测量时只需获取 1 次。原点坐标取得后，调整焦距到视频(如图 5 所示)即可开始测量过程。为实现测量目标，采取如下方案：嵌入式设备由经纬仪目镜拍摄视频、编码，同时将视频流发给手持端。由手持端获取承载平台位置并将承载平台的目标位置发送给伺服驱动器，计算十字光标偏差后经由嵌入式系统转发给电子经纬仪。

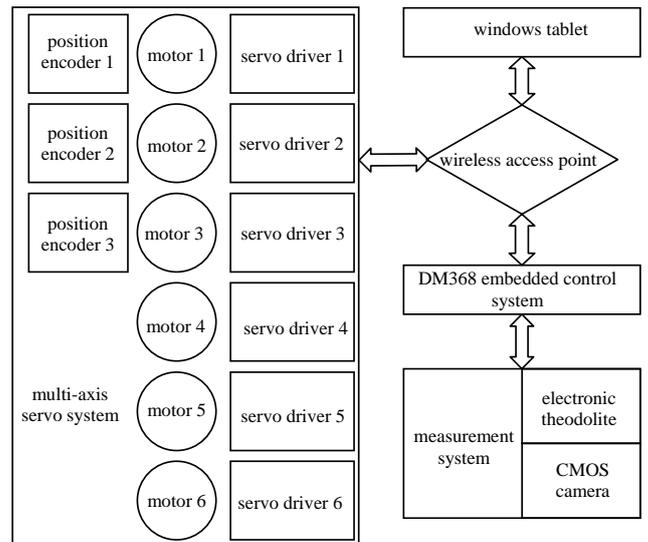


Fig.3 Block diagram of the measurement system
图 3 测量系统结构框图

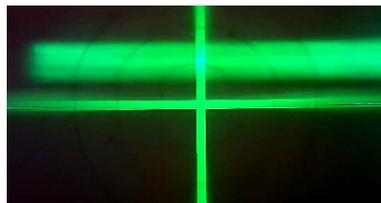


Fig.4 Filmed cross for reference
图 4 拍摄到的参考十字

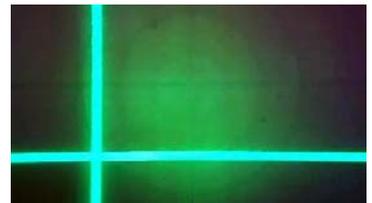


Fig.5 Filmed moving cross
图 5 拍摄到的动十字

2 嵌入式系统硬件设计方案

嵌入式系统硬件结构如图 6 所示。系统使用 DM368 嵌入式处理器，片内资源管理与运算任务采用 ARM9 核芯片 RTL8201，使系统能够与无线 AP 连接，进而与手持端交换信息；16 位 DDR2 作为系统缓存，小体积的 TFcard 用于存储 Bootloader、Linux 内核以及应用程序。

嵌入式系统硬件设计可分为电源电路设计、视频采集电路设计、存储与通信电路设计 3 部分^[1-2]。

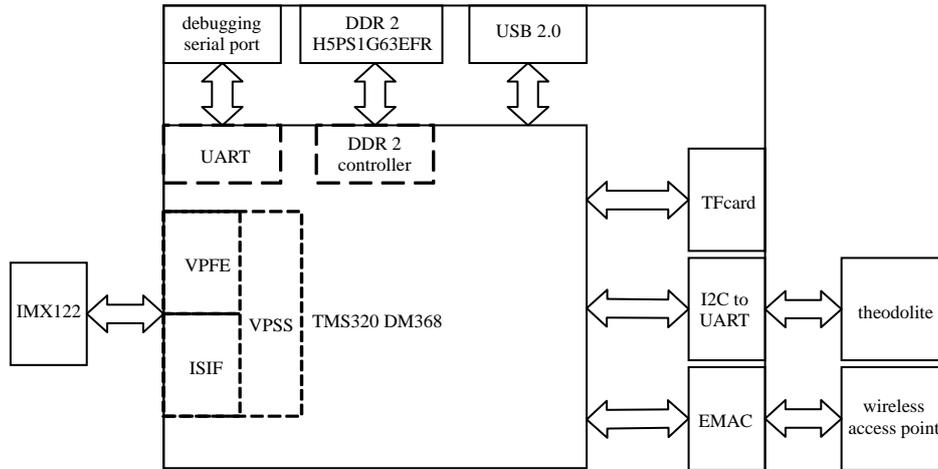


Fig.6 Block diagram of the embedded system for hardware
图 6 嵌入式系统硬件框图

2.1 电源电路设计

嵌入式设备使用 5 V 外部直流电源供电，核心 TMS320DM368 需要 3.3 V, 1.8 V, 1.3 V 直流供电^[3]；EMAC 芯片、串口调试芯片 MAX3221、I2C 扩展芯片 MAX14830 以及 RTL8201, SN65HVD 与 MAX3074 需要 3.3 V 直流供电；DDR2 芯片 H5PS1G63EFR 需要 1.8 V 直流供电。选用 TPS6300D 与 XM5082 两款 DC-DC 芯片为各芯片提供所需电压，其中，TPS6300D 降压模式下在输出电压为 3.3 V 时，输出电流为 1.2 A；XM5082 是一种 1.2 A 恒流输出、 U_{out} 电压范围 0.6 V~ U_{in} (2.5~6.0 V) 的降压型电源芯片。考虑电源电压的稳定性，在使用高性能电源芯片的同时外围电路应当摆放储能元件，避免在系统能耗突然上升时电压下降导致芯片不稳定工作甚至重启。另外考虑到电源工作时产生的交流噪声，电源旁路需要增加与数字地间的滤波电容^[4]。

2.2 视频采集电路设计

视频采集由片内的视频处理子系统 (Video Process Sub-System, VPSS) 完成，VPSS 集成了视频处理前端 (Video Processing Front End, VPFE)、视频处理后端 (Video Processing Back End, VPBE)。VPFE 包含 ISP (Image Signal Processor) 功能，可完成对传感器输出的 raw 格式数据的处理。图像传感器与 VPFE 的图像信号接口 (Image Signal Interface, ISIF) 相连接^[5]。

2.3 存储与通信电路设计

为满足系统运行需要，系统使用的片内存储、通信资源有 DDR2 控制器、MMC/SD 控制器、外部 UART 接口、8 位 I2C 总线接口、EMAC 控制器、USB 控制器。DDR 控制器有 256 MB 寻址空间^[6]，与 DM368 通过 EMIF 总线连接。片内 EMAC 结合 RTL8201 网络芯片可以达到 10/100 Mbps 的传输速率^[7]，系统由此网络接口与手持端进行通信。为增加扩展性，使用 MAX14830 为 I2C 外扩芯片^[8]，作为一种高速 SPI/I2C 转 UART 扩展芯片，MAX14830 可额外扩展得到 4 个通用串口，与经纬仪的通信可由扩展出的 RS232 通用串口完成。考虑到在对嵌入式系统进行系统移植、调试时需要及时检测设备状态、发送指令，系统使用 DM368 片内 UART 进行外扩，使用 MAX3221 芯片将 TTL 电平转换为 PC 串口电平^[9]，实现调试串口。

3 嵌入式系统软件设计方案

系统软件架构如图 7 所示，使用 TI 提供的内核版本 2.6.32 的 Linux 嵌入式操作系统，系统内包含了通信协议、设备驱动、线程管理、文件管理等封装库供开发者调用。应用程序需要实现的功能有：视频采集、编码、与手持端建立连接并传输视频流以及向电子经纬仪转发控制字。

3.1 视频采集与编码设计

视频采集以及编码过程如图 8 所示，函数封装来自 TI 提供的 DVSDK (Digital Video Software Development Kit) 开发库，编码后的视频流由通信线程发送至手持端。

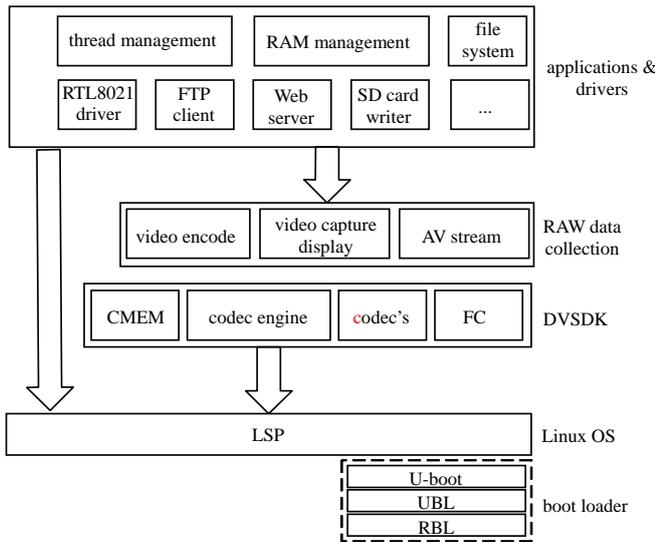


Fig.7 Block diagram of the embedded system for software
图 7 嵌入式系统软件架构

3.2 通信设计

系统经由 RJ45 接口接入以太网，其与手持 PC 端经过无线 AP 相连。在 Linux 嵌入式系统上实现基于 TCP/IP 的 Socket 连接(作 Socket 客户端)，既实现了高速传输又确保了链接的稳定安全^[10]。嵌入式系统与电子经纬仪间物理上通过 RS232 串口相连，电子经纬仪在结构上可以等价为一个双轴伺服系统，通过对串口发送 ASCII 控制字进行读、写操作^[11]，取得经纬仪的当前转动角度，并设置目标转角。

4 手持端软件设计方案

手持端使用 Windows 操作系统的平板电脑，基于 MFC 的应用程序实现的主要功能有：1) 与嵌入式系统、伺服驱动器建立连接，设定承载平台目标位置。2) 显示视频并处理，取得十字中点并计算偏差量。3) 将偏差量封装成可读控制字并下发。手持端软件时序图如图 9 所示。

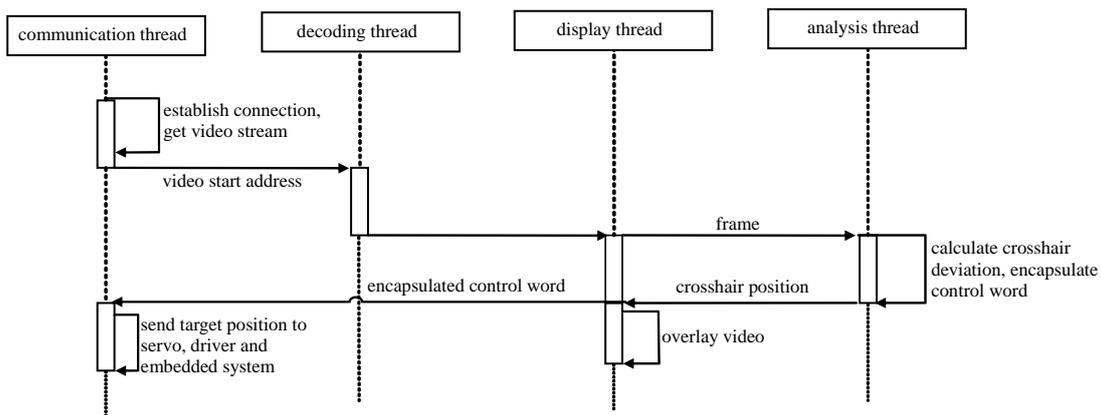


Fig.9 Software timing diagram of handheld client
图 9 手持端软件时序图

4.1 通信设计

在与嵌入式系统通信上选择以 WiFi 技术作为媒介，利用 Windows 的应用程序编程接口(Application Programming Interface, API)函数实现 Socket 服务器，在同一指定端口号下响应 Socket 客户端(嵌入式端、伺服驱动器)的连接请求^[12]，建立连接并与之通信。

4.2 视频处理与经纬仪位置矫正

原始帧图像只有 2 种颜色且区分明显，因此偏差计算的过程为：先对图像做二值化处理^[13]，再求取参考十

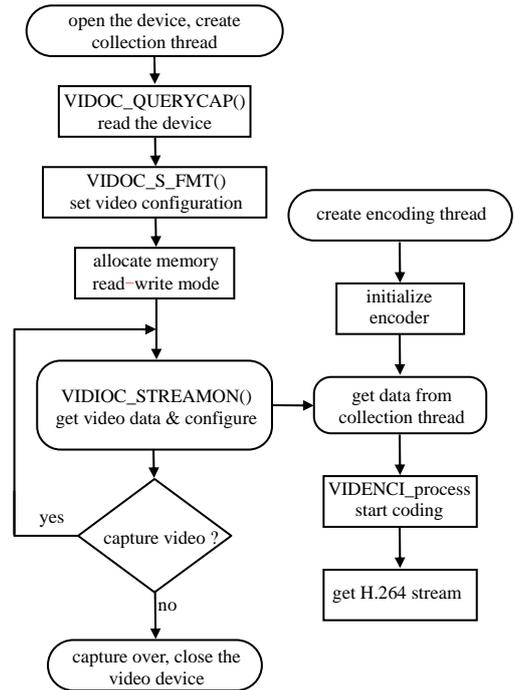


Fig.8 Video capture and encoding flowchart
图 8 视频采集与编码流程图

字、可动十字中心坐标。以纵坐标为例，对于长 α 、宽 β 个像素的图像而言，取得横线上每位像素对应纵向灰度值变化率最高的 2 点 y_{j1}, y_{j2} 坐标值，对所有像素点纵坐标求和，取平均值的二分之一，即得到十字中点的纵坐标 y 。求横坐标 x 的方法相似，参见公式(1)。

$$x = \frac{\sum_{i=0}^{\beta-1} (x_{1i} + x_{2i})}{2\beta}, \quad y = \frac{\sum_{j=0}^{\alpha-1} (y_{1j} + y_{2j})}{2\alpha} \quad (1)$$

对图 3 处理后可得到图像的中心，并以此为原点建立坐标系；对图 4 所示图像处理后取平面坐标系内动十字中心位置坐标，并求出位置偏差。首先根据偏差量确定经纬仪水平、垂直两轴的旋转方向。由于经纬仪目镜内的偏差是通过光学放大后的图像求得，实际偏差较小，故每次控制水平、垂直轴转过一个单位，直到两中心点误差不超过千分之一弧度便实现了经纬仪矫正。

5 结论

本文以一多轴伺服系统改造为例，设计实现了多轴测量系统的嵌入式改造方案，结合图像处理技术取得经纬仪位置偏差，通过对伺服驱动器、电子经纬仪发送控制字实现了对承载平台的位置、经纬仪转角的控制。在实验中有效验证了系统的精确度与稳定性，实现了设计目标。改造过程中原伺服系统机械结构基本无需改动，节省了大量时间与成本的同时简化操作过程，提高测量精确度，本方案具有一定的实用价值。

参考文献：

- [1] 刘洪振,金立左. 基于 DM365 显控平台的设计与实现[J]. 工业控制计算机, 2015,28(1):75-85. (LIU Hongzhen,JIN Lizuo. Design and realization of display console based on DM365 platform[J]. Industrial Control Computer, 2015,28(1):75-85.)
- [2] 怯肇乾. 嵌入式系统硬件体系设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2007. (QIE Zhaoqian. Embedded system hardware structural design[M]. Beijing:Beihang University Press, 2007.)
- [3] BOHRA Manoj. TMS320DM36x SoC architecture and throughput[R]. Texas Instruments Incorporated, 2009.
- [4] 林超文. PADS9.5 实战攻略与高速 PCB 设计[M]. 北京:电子工业出版社, 2014. (LIN Chaowen. PADS9.5 practical strategy and high-speed PCB design[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2014.)
- [5] TI. TMS320DM36x Digital Media System-on-Chip(DMSoC) Video Processing Front End(VPFE) user's guide[R]. Texas Instruments Incorporated, 2010.
- [6] TI. TMS320DM36x DMSoC DDR2/mDDR memory controller user's guide[R]. Texas Instruments Incorporated, 2009.
- [7] REALTEK. RTL8201CP single-chip/single-port 10/100M fast ethernet phyceiver[R]. Realtek Semiconductor Corp., 2004.
- [8] MAXIM. MAX14830 quad serial UART with 128-word FIFOs[R]. Maxim Integrated, 2013.
- [9] TI. MAX3221 3 V to 5.5 V Single-Channel RS-232 Line Driver/Receiver[R]. Texas Instruments Incorporated, 2004.
- [10] 文全刚. 嵌入式 Linux 操作系统原理与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2014. (WEN Quangang. Principle and application of embedded linux operating system[M]. Beijing:Beihang University Press, 2014.)
- [11] LEICA. GeoCOM reference manual[R]. Leica Geosystems, 1999.
- [12] 付强松. 基于无线移动网络的远程数据采集系统的设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2007,5(5):352-355. (FU Qiangsong. Design of long-distance collection and control system based the mobile network[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2007,5(5):352-355.)
- [13] 冈萨雷斯,伍兹. 数字图像处理[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社, 2010. (GONZALEZ R C,WOODS R E. Digital image processing[M]. 3rd ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2010.)

作者简介：



高瀚达(1992-), 男, 内蒙古自治区呼伦贝尔市人, 硕士, 主要研究方向为嵌入式控制系统.email:15335580224@189.cn.

杨再华(1980-), 男, 河北省涞水县人, 在读博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为航天器智能装配检测技术研究及应用。

林 岩(1955-), 男, 北京市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为鲁棒控制、自适应控制理论及应用。