

采用 MSP430 单片机的自动调焦控制系统 在经纬仪上的应用

林兆华^{1,2}, 刘鑫¹, 王岚¹, 张淑梅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: 使用 MSP430 系列单片机作为经纬仪自动调焦的控制核心, 采用直线电位器作为位置测量器件。测试结果表明: 该系统实现了光电经纬仪的自动调焦控制, 提高了调焦精度, 且在实际应用中取得了良好效果, 具有较强的实用价值。

关键词: 经纬仪; 自动调焦; MSP430 单片机; TLC2543 直线电位器

中图分类号: V 271.4 TN29 文献标志码: A 文章编号: 1671-637X(2011)01-0048-05

Application of MSP430 in Autofocus System of Theodolite

LIN Zhaohua^{1,2}, LIU Xin¹, WANG Lan¹, ZHANG Shumei¹

(1 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130033, China
2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract The MSP430 was used as the control center for autofocusing system of theodolite, and the line potentiometer was used as position measurement device. The measurement result demonstrated that this controlling system realized the autofocusing of the theodolite and improved its precision. The system runs steadily in practical application, which possesses high precision and has a good practical value.

Key words theodolite; autofocusing; MSP430; TLC2543; line potentiometer

0 引言

光电经纬仪是现代靶场进行弹道测量的重要光测设备。经纬仪对空中目标进行跟踪测量时, 目标与经纬仪的相对位置不断发生变化, 造成目标像点离焦, 影响成像质量, 因此, 提高光电经纬仪的成像质量, 对目标跟踪测量具有重要意义。自动调焦是根据设备的相关信息, 沿光轴方向改变物面的位置, 自动调整目标像点的位置, 使其始终位于焦面上, 以获得最佳的成像质量, 从而提高对目标的捕获与跟踪能力。因此, 自动调焦技术成为保证经纬仪成像质量的关键技术^[1-5]。

传统的调焦机构采用旋转步进电机和旋转电位器组成, 由于电位器与丝杠、丝杠与电机之间存在齿轮传动空回, 因此, 调焦精度很难保证。为提高调焦精度, 本文采用 MSP430LF169 单片机作为经纬仪自动调焦系统的控制核心, 采用直线电位器作为位置测量器件,

采用直线电机作为系统执行电机, 实现了光电经纬仪的自动调焦控制, 该系统工作稳定可靠、功耗低、调焦精度高。

1 自动调焦方法

目前自动调焦方法主要有: 传统程序控制法、光电自准直法和图像处理法等。其中, 光电自准直法调焦操作复杂, 不能实现很好的控制。图像处理法原理是 CPU 通过光学镜头和 CCD 采集到一系列的数字图像, 对每一帧图像进行实时处理, 判断对焦是否准确, 成像是否清晰, 并给出反馈信号控制镜头的运行, 直到采集到的图像符合使用要求, 即完成自动调焦^[6]。但这种自动调焦方法对计算机硬件提出了较高的要求, 并且其处理的算法针对不同性质的图像有着不同的表现, 需要选择合适的评价函数^[7-8]。因此, 对于实时性要求较高的光电经纬仪来说, 其可实行性很差。

在现有的调焦方法中, 光电经纬仪常采用传统程序控制法来实现自动调焦。该方法要在不同时刻、温度、距离等条件下, 利用光学设计和实验数据, 用数据拟合的方法, 得出调焦量计算公式。根据计算公式编

收稿日期: 2009-10-14 修回日期: 2010-03-24

基金项目: 八六三计划资助项目 (2008AA0047)

作者简介: 林兆华 (1979-), 男, 山东潍坊人, 博士生, 主要研究方向为光电测控技术。

制相应的控制程序。当系统工作时, 根据环境温度值和距离信息等参数, 利用编制的控制程序来调整目标像点的位置, 使其始终位于焦面上, 以获得最佳的成像质量。该方法简单、易行, 虽然只能考虑到有限几个因素对焦点位置变化的影响, 但在实际应用中取得了良好效果。

2 系统的硬件设计

图 1 为系统自动调焦工作原理框图, 系统通过调整相机位置来达到调整目标像点与主焦面重合。采用精密线绕电位器检测相机的位置, 单片机根据电位器的电压值、温度值与距离信息等参数进行运算, 得出误差电压值。如果误差电压不等于零, 单片机送出驱动脉冲, 经功率模块驱动电机转动, 通过机械传动带动相机移动, 同时也带动检测电位器向减小误差电压的方向移动, 直至误差趋近于零, 系统处于平衡状态。

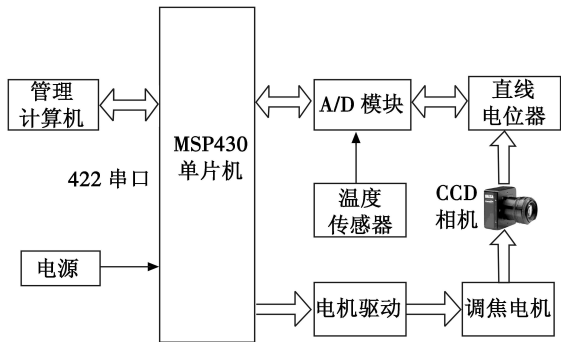


图 1 自动调焦系统工作原理框图

Fig. 1 Block diagram of the auto-focusing system

2 1 主控芯片及外围电路

在设计中采用 MSP430LF169 单片机作为经纬仪自动调焦的控制核心, 其内部为 16 位 RISC 结构, 具有丰富的寻址方式、简洁的内核指令, 运行速度快, 能实现 125 ns 指令周期。同时, 内部集成有丰富的片内外设: 60 kB 电可擦写 Flash 存储器; 看门狗; 定时器; 12 位 ADC; USART 串口; 丰富的 I/O 口等。另外片内 JTAG 调试接口令其开发方式方便快捷。

系统采用 5 V 电压供电, 采用芯片 SPX1117-3.3 进行电压转换, 将输入的 5 V 电压转换为 3.3 V, 作为单片机的工作电压。复位电路采用 MAX809STR 芯片, 其可靠性比 R-C 复位电路要高。选用 MAX3491 芯片实现与管理计算机 RS-422 通讯方式, 接收管理计算机的距离信息。

由于 MSP430 系列微控制器工作在 3 V 低电源电压模式下, 因此与其他 5 V 逻辑器件共存于一个系统时, 必须处理好混合电压的接口问题, 以达到系统数据可靠传输的目的。系统采用 8 位双向电平转换 SN74LVC4245A

接口芯片将单片机的输出电压转换成 5 V 系统外设的输入电压。

2 2 数据采集单元

为提高系统的调焦精度, 选用线性度为 0.1% 的直线电位器取代旋转电位器, 省掉了电位器与丝杠之间齿轮传动, 减少了齿轮空回误差。

单片机控制电机往往要占用多的 I/O 口, 使用并行 ADC 会限制系统 I/O 口功能的扩展, 因此, 本系统选用型号 TLC2543 的串行 ADC。TLC2543 是有 11 个输入端的 12 位模数转换器, 具有转换快、稳定性好、与微处理器接口简单、价格低等优点, 能够节省单片机的 I/O 资源^[9]。TLC2543 采用 SPI 串行接口与单片机进行数据交换。其电路连接图如图 2 所示。图中 AIN0 ~ AIN10 为模拟电压输入端, 输入量程为 0 ~ 5 V。/CS 为片选端, 连接单片机的 P3.0 端; ADDIN 端为串行数据输入端, 连接单片机的 P3.1 端; DO 端为 A/D 转换结果的三态串行输出端, 连接单片机的 P3.2 端; EOC 端为转换结束端, 连接单片机的 P2.7 端; I/O CLK 端为 I/O 时钟端, 连接单片机的 P3.3 端。REF+ 为正基准电压端, REF- 为负基准电压端, VCC 为电源端, GND 为地端。8 位数据控制字从 ADDIN 端串行输入, 它规定了 TLC2543 要转换的模拟量通道、转换后的输出数据长度以及输出数据的格式。

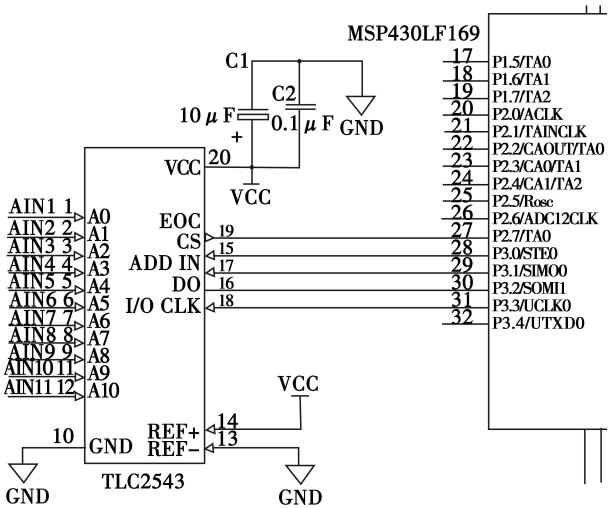


图 2 TLC2543 与 MSP430 单片机接线原理图

Fig. 2 The connection of TLC2543 and MSP430

开始时, 片选 /CS 端为高, I/O CLK、ADDIN 端被禁止, DO 端呈高阻状态, EOC 端为高。使 /CS 端变低, I/O CLK、ADDIN 端使能, DO 端脱离高阻状态。时钟信号从 I/O CLK 端依次加入, 随着时钟信号的加入, 控制字在时钟信号的上升沿从 ADDIN 端一位一位地被送入 TLC2543 (高位先送入), 同时上一周期转换的 A/D 数据, 即输出数据寄存器中的数据, 从 DO 端逐位移

出。TLC2543在收到第 4 个时钟信号后, 通道号也已收到, 此时, TLC2543开始对选定通道的模拟量进行采样, EOC 端变低, 开始对本次采样的模拟量进行 A/D 转换, 转换时间约需 10 μ s 转换完成后 EOC 端变高, 转换的数据放在输出数据寄存器中, 待下一个工作周期输出, 此后, 可以进行新的工作周期。

对 TLC2543操作关键是理清接口时序图和寄存器的使用方式。TLC2543的接口时序图如图 3 所示, 从图中可看出, 在片选信号 (/CS 端) 有效的情况下, 首先根据 A/D 转换的功能需要来配置输入的数据。需要注意的是, 在读数据同时, TLC2543将上一次转换的数据从数据输出口伴随输入时钟输出。为了提高 A/D 采样的速率, 可以采用在设置本次采样的同时, 将上次 A/D 采样的值读出的办法^[10]。

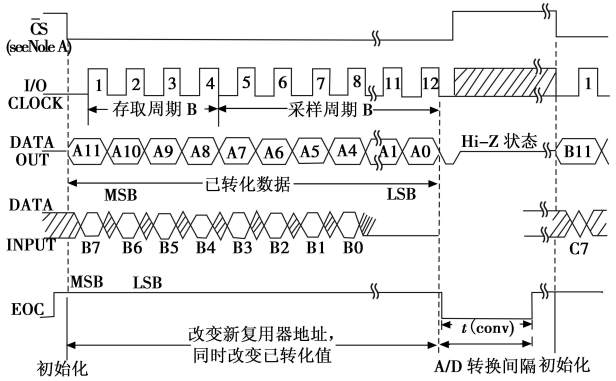


图 3 MSB在前, 用 /CS控制的 12-bit模式时序图
Fig 3 Timing series of 12-bit mode using /CS with MSB first

2 3 电机与驱动电路

系统调焦电机选用海顿 28000系列混合式直线步进电机, 电机螺旋杆直接带动负载。电机步长为 0.0031mm, 工作电压为 5V, 每相电流为 0.24A, 在每秒钟 1000步的速度下可产生 60N 的推力。它具有定位精度高、转矩大、惯性小、响应频率高等优点, 满足使用要求。

直线步进电机驱动器选用海顿高性能细分驱动器 DCM401Q, 其采用新型的双极性恒流斩波驱动技术, 使用同样的电机时, 可以比其他驱动方式输出更大的速度和功率, 单片机每发一个脉冲信号, 驱动器使步进电机行进一个步长的距离。步进电机速度与脉冲信号频率成正比。

图 4为单片机与步进电机的连接示意图, 步进电机驱动器需要 3路控制信号端: FREE1端、UD1端和 CP端。FREE1端为电机驱动器的脱机端, 高电平有效, 即 FREE为高电平时, 电机处于释放状态。UD1端为方向控制端, 当 UD1为高电平时, 步进电机正转,

UD1为低电平或悬空时, 步进电机反转。CP端为步进脉冲输入端, 上升沿有效, CP 频率决定了电机的转速。FREE1端和 UD1端输出采用单片机的 I/O 口, CP 端脉冲输出采用单片机的 PWM 口, 通过设置 MSP430 定时器 Timer-B 的寄存器, 从而实现输出任意频率的波形。

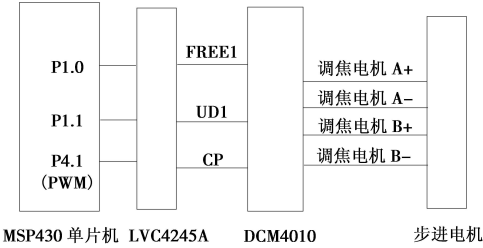


图 4 MSP430单片机与步进电机的连接框图
Fig 4 Block diagram for the connection of step motor and MSP430

2 4 温度采集电路

温度采集单元电路放于经纬仪的镜筒内, 实时采集系统环境温度, 采用电压输出式模拟温度传感器 TMP36。TMP36是美国模拟器件公司生产的一种低电源电压的模拟集成温度传感器, 电源电压范围是 +2.7 ~ 5.5V, 额定测温范围是 -40 ~ +125 $^{\circ}$ C。其输出电压与摄氏温度成线性关系, 测温时不需要进行温标转换。

温度传感器与单片机的接口电路非常简单, 将温度传感器的电压输出端与 TLC2543 的 A/D 输入端相连, 通过 A/D 转换可实时采集系统环境温度。

3 系统的软件设计

MSP430的软件设计是在 IAR Embedded Workbench 开发工具下进行的, 程序可以在线仿真, 方便调试和学习。

在系统进行软件设计前, 首先根据光学设计和实验数据, 采用数据拟合的方法, 得出调焦量计算公式。根据调焦量计算公式设计自动调焦程序。

3 1 系统的主程序

系统主程序流程图如图 5所示, 系统上电, 首先执行初始化程序, 系统初始化主要是建立程序运行的环境, 如中断设置、系统工作频率的设置、定时器的设置、看门狗的设置、A/D 初始化设置、PWM 输出控制寄存器设置、SPI功能相关设置和对采集通道的设置等。注意程序初始化时要设置单片机 USART1用于异步串行通讯口, USART0为 SPI口 (用于串口 A/D)。

3 2 温度和电位器位置采集程序

电位器位置和温度采集程序在主程序中实现, 其程序流程图如图 6所示。

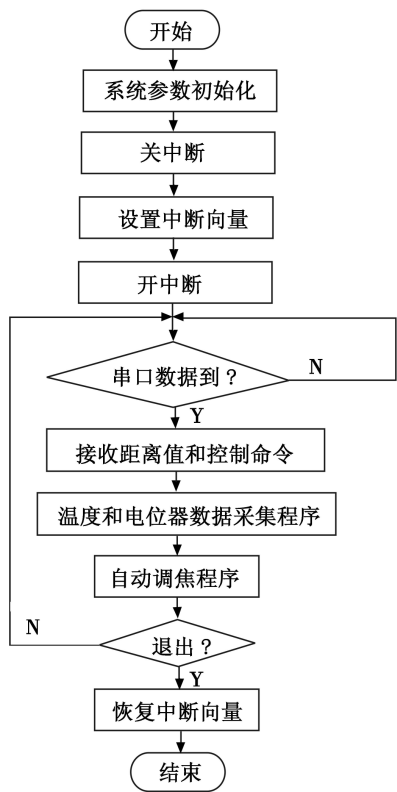


图 5 系统主程序流程图

Fig 5 Flow chart of the system main program

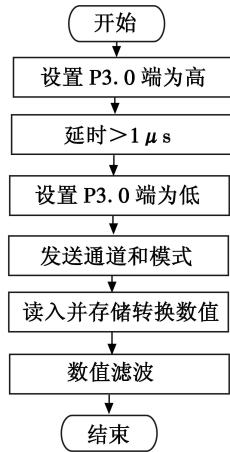


图 6 电位器位置和环境温度采集程序流程图

Fig 6 Flow chart of the data collection program

4 调焦精度分析与实验结果

调焦系统误差主要来源于直线步进电机的步长、电位器线性度以及 A/D 转换精度。本系统选用步进电机步长为 0.0031mm, 直线电位器的量程为 25mm, 线性精度为 0.1%, A/D (12 位) 的分辨率为 1.22mV。

由以上条件计算调焦精度如下：

1) 直线电机步长带来的调焦机构误差为 0.0031mm;

2) 电位器供电为 5V, A/D (12 位) 的分辨率为

1.22mV, 如果保留 11 位, 则分辨率为 2.44mV, 因此, A/D 转换误差为 $0.00244 \times 25/5 = 0.0122\text{mm}$;

3) 选用的电位器最大移动 25mm, 故电位器最大误差为 $25\text{mm} \times 0.1\% = 0.025\text{mm}$, 电位器定位误差为 0.025mm。

由以上误差源计算得到系统理论总误差为 $r =$

$$\sqrt{0.0031^2 + 0.0122^2 + (0.025)^2} = 0.028\text{mm}。$$

表 1 为在不同的距离下 (室温 20℃), 某光学镜头 (焦距为 2m) 的理论调焦位置 and 实际调焦位置的数据, 可见控制系统实际总误差在 0.025mm 范围内, 满足调焦精度要求。

表 1 室温 20℃ 理论调焦位置 and 实际调焦位置数值表

Table 1 The theoretical and actual focusing position at room temperature of 20℃			
目标距离 /m	理论调焦位置 /mm	实际调焦位置 /mm	偏差 /mm
500	8.00	7.975	-0.025
1000	4.00	3.978	-0.022
1500	2.67	2.690	+0.020
2000	2.00	2.023	+0.023
2500	1.60	1.582	-0.018
3000	1.33	1.351	+0.021
3500	1.143	1.154	+0.011
4000	1.00	0.984	-0.016
5000	0.80	0.785	-0.015
6000	0.667	0.653	-0.014
无穷远	0	0.021	+0.021

5 结论

基于 MSP430 单片机自动调焦系统, 是集光、机、电、微型计算机为一体的经纬仪不可缺少的一部分。其控制电路简单可靠, 采样精度高, 开发方式方便快捷, 外围硬件电路简单且调焦精度高。本系统经过多台设备的验证, 系统工作稳定可靠, 精度高, 操作简便, 大量工作由程序完成, 使控制电路大大减化。经受了野外恶劣环境的考验, 未出现任何故障。

参考文献

[1] 王岚, 于惠珠. 260 电影经纬仪摄影自动调焦系统 [J]. 光学精密工程, 1995, 3(5): 93-97.
[2] 于惠珠, 陈涛. 测量电视变焦距的控制系统 [J]. 光学精密工程, 1999, 7(3): 71-73.
[3] 梁翠萍, 李清安, 乔彦峰, 等. 简析光学系统自动调焦的方法 [J]. 电光与控制, 2006, 13(6): 93-96.
[4] 秦龙. MSP430 单片机应用系统开发典型实例 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
[5] 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
[6] 冯华军, 毛邦福, 李奇, 等. 一种用于数字成像的自

动对焦系统 [J]. 光电工程, 2004 31(10): 69-72

[7] 段瑞玲, 段惠波, 李庆祥, 等. 基于图像处理的微转配自动调焦系统 [J]. 光学精密工程, 2006 14(3): 468-472

[8] 朱锦涛, 黎绍发, 陈华平. 基于图像熵的自动聚焦函数研究 [J]. 光学精密工程, 2004 12(5): 537-542

[9] 夏益民, 谢云, 刘冰茹. AD 芯片 TLC2543 与 51 系列单片机的接口设计 [J]. 广东工业大学学报, 2006 23(3): 118-121.

[10] 姚远, 王赛, 凌毓涛. TLC2543 在 89C51 单片机数据采集系统中的应用 [J]. 电子技术应用, 2003 29(9): 37-38

(上接第 47 页)

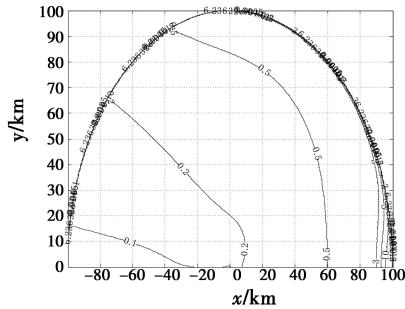


图 5 本文采用定位方法 GDTE 图

Fig 5 The GDTE of location method used in this paper

在 CPU 主频为 1.73 GHz、内存为 1G 的计算机上用 Matlab 软件运行各算法, 计算得到各算法单次递推平均所需时间如表 1 所示。

表 1 单次递推平均所需时间 t_c

Table 1 The average single recursion time t_c

性能指标	改进 UKF 算法	UKF 算法	EKF 算法
t_c / s	0.0025	0.0011	1.96×10^{-4}

由图 3 可以看出基于后向平滑估计的改进 UKF 算法明显改善了定位性能, 加快了收敛速度, 提高了收敛精度。从图中还可以看出 UKF 算法及其改进算法的定位性能都要优于 EKF 算法, 这是因为 UKF 算法不需要计算雅可比矩阵, 在非线性函数传递时, 对任意非线性函数后验均值和协方差至少可以精确到二阶, EKF 则只是取一阶近似。

由表 1 可以看出改进的 UKF 算法运算量有所增加 (为 UKF 算法的 2 倍多), 不过仍能满足每秒输出一个定位数据的要求, 保证了算法的实时性。

由图 4 及图 5 可以看出本文所采用的定位方法与传统的只利用角度和多普勒频率信息的定位方法相比更有优势, 在相同的空域范围内, 任意一条航迹上的定位精度都得到显著改善。

4 结束语

本文研究了三维空间中基于空频域信息的固定单站无源定位技术, 提出了一种基于后向平滑估计的改进 UKF 算法, 仿真结果表明改进的 UKF 算法在保证实时性的基础上明显改善定位性能; 与传统定位方法相比, 本文研究的定位方法能实现单次测距并且收敛速度更快, 定位精度更高, 具有良好的应用前景。下一步的工作是探讨相邻两个时刻滤波平滑迭代次数对滤波性能的影响, 在保证实时性基础上找出最优迭代次数。

参考文献

[1] ERIC A Wan, van der Meulen R. Kalman filtering and neural networks [M]. Chapter 7 Wiley, 2001

[2] XDONG K, ZHANG H Y, CHAN C W. Performance evaluation of UKF-based nonlinear filtering [J]. Automatic, 2006 42(2): 261-270

[3] 曹意, 茅旭初. 基于非线性滤波和平滑相迭代的 GPS 定位估计算法 [J]. 上海交通大学学报, 2009, 43(7): 1108-1112

[4] 郁春来. 利用空频域信息的单站无源定位与跟踪关键技术研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008

[5] JULIER S J, UHLMANN J K, DURRANT-WHYTE H F. A new approach for filtering nonlinear systems [C]. // Proceedings of the American Control Conference, 1995 1628-1632

[6] JULIER S, UHLMANN J, DURRANT-WHYTE H F. A new method for the nonlinear transformation of means and covariances in filters and estimators [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2000, 45(3): 477-482

[7] 孙仲康, 郭福成, 冯道旺, 等. 单站无源定位跟踪技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008