

基于步进电机的红外镜头控制组件设计

杨宁宁,王晓明,夏寅辉,吴 玮,陈 盈
(华北光电技术研究所,北京 100015)

摘 要:镜头是热像仪的重要组成部分之一,镜头中镜片的切换、平移可实现红外热像仪视场的变换和调焦。本文首先根据步进电机的工作原理,通过分析步进电机的运动模型和驱动模型,计算了实际的驱动脉冲频率和驱动电流。据此设计了一种基于步进电机的红外镜头控制组件。实验数据和实际使用结果表明该控制组件不仅能够实现快速准确的视场切换和调焦,并且具有较好的环境适应性。

关键词:步进电机;红外镜头控制;视场切换;调焦

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.01.018

Design of the infrared camera lens controlling component based on step motor

YANG Ning-ning, WANG Xiao-ming, XIA Yin-hui, WU Wei, CHEN Ying
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: Lenses is an important part of the IR camera. Changing of the field of view and focusing of the lenses need control unit. In this paper, the principle of stepping motor is briefly introduced. On the basis of motion model and driving current analysis, the driving frequency and current are calculated. A kind of infrared camera lens control component based on step motor is designed. According to the experiment data and practical results, this control component not only can be used to realize fast and accurate field of view shifting and focusing, but also has good environment adaptability.

Key words: stepping motor; infrared camera lens controlling; field of view shifting; focusing

1 引 言

红外热像仪是一种采集目标红外辐射并将其转换为视频图像的设备,它多用于目标搜索、目标跟踪、实时监控以及安全防护等领域。在这些应用中,红外热像仪所处的环境一般都比较严酷,温度、气压往往变化比较剧烈^[1]。为了满足实际使用要求,红外热像仪应具有在严酷环境下稳定工作的能力。如图1所示,镜头是热像仪的重要组成部分之一,镜头中镜片的切换、平移实现了红外热像仪视场的变换和调焦。对镜头的合理控制是热像仪能够正常成像的基础,同时红外镜头的控制需要考虑镜头对于环境变化的敏感性。针对上述需求,本文介绍了一种

基于步进电机的红外镜头控制组件的设计。

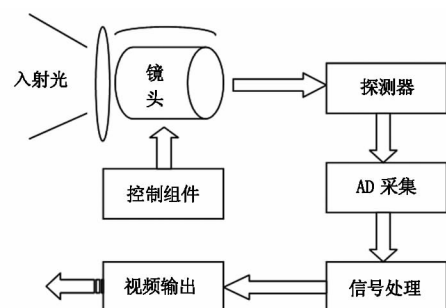


图1 红外热像仪组成示意图

作者简介:杨宁宁(1985-),男,在读硕士,主要研究方向为计算机技术与信号处理。E-mail: yangn508@163.com
收稿日期:2011-01-19; **修订日期:**2011-05-31

步进电机是一种用电脉冲驱动的、单步可控的电机。以永磁式步进电机为例,它包括一个永磁转子、线圈和导磁定子。给线圈通电会产生一个电磁场,在定子产生的磁力作用下转子会转到与定子磁场对应的位置。通过电脉冲的电平高低变化触发线圈的电源通断可以使转子作旋转运动^[2]。脉冲电平每变换一次,电机就前进一步。定子和转子上的磁极数越多,步距角就越小。通过专用的步进电机驱动器,可以实现微步进驱动,使电机的可控精度更高^[3]。因此步进电机的运动具有精确性,可重复性并且无累计误差。同时步进电机良好的温度适应性可以满足全温度范围内红外镜头控制的需要。

2 步进电机的物理模型分析

理想的步进电机控制系统,一方面要能生成频率准确的驱动脉冲,这决定了电机控制的准确度和精确度;另一方面要有合理的电压、电流输出,既能满足电机运动的功率需要,又不造成功率率的浪费。为了实现以上目标,下面从运动过程和驱动模型两个方面对步进电机的物理模型进行分析。

2.1 运动过程分析

为了提高步进电机的最高运动速度,缩短加减速时间并防止停转时产生过冲,对步进电机的驱动必须有一个合理的加减速过程。

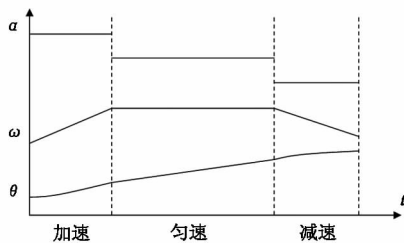


图2 电机运动过程示意图

图2是步进电机从静止开始加速,达到最高速度之后匀速,最后减速直到静止的转动过程,其中, α 为角加速度; ω 为角速度; θ 为转过的角度^[4]。由于步进电机的转动是由电脉冲驱动的,我们的目的是通过分析电机转动的物理过程推导出步进电机走第 n 步时的脉冲宽度 T_n 。假设步进电机从静止加速到最高速度即从第1步到第 n 步的总时间为 t_n ,则有:

$$T_n = t_n - t_{n-1} \quad (1)$$

另外,根据牛顿运动学定律可得:

$$\omega = \alpha t_n \quad (2)$$

$$\theta = n\theta_0 = \frac{1}{2}\alpha t_n^2 \quad (3)$$

其中, θ_0 为单步的步进角,在本设计中为 0.01π 。

由式(3)可得:

$$t_n = \sqrt{\frac{2n\theta_0}{\alpha}} \quad (4)$$

将式(4)代入式(1),即得:

$$T_n = t_n - t_{n-1} = \sqrt{\frac{2\theta_0}{\alpha}}(\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \quad (5)$$

电机的最高转速为 $s = 2000$ steps/s,对应角速度为 $\omega = 2000\theta_0 = 20\pi$ rad/s。

在本设计中电机负载远小于电机本身的驱动能力,电机运动接近图2的运动过程。电机的加速时间约为 0.2 s,所以电机的角加速度为 $\alpha = \frac{\omega}{0.2} = 100\pi$ 。

结合公式(5),可以计算出步进电机加速过程的驱动脉冲周期:

$$T_n = \sqrt{\frac{2\pi}{100\pi}}(\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) = \frac{\sqrt{2}}{100}(\sqrt{n} - \sqrt{n-1}) \quad (6)$$

通过以上推导,得到了步进电机加速过程中的驱动脉冲的宽度;加速之后进入匀速状态此时脉冲宽度保持不变;最后的减速过程可看作加速过程的逆过程。应用此脉冲宽度数据并作归一化处理即可用于驱动步进电机。

2.2 驱动模型分析

步进电机的驱动,按接线方式不同分为双极性驱动和单极性驱动,按驱动功率调节方式的不同分为 L/R 驱动和斩波驱动。兼顾效率和驱动能力,本设计选用双极性斩波驱动。在该驱动方式下,驱动电压不变,驱动功率的调节通过改变驱动电流实现。

步进电机带动负载运动时,需要提供力矩:

$$T = T_f + T_i \quad (7)$$

在负载作匀速平移运动的情况下,需要的摩擦力矩:

$$T_f = \mu \times m \times g \times r \quad (8)$$

其中, μ 为摩擦系数; m 为负载质量; g 为重力加速度; r 为力臂长度。

T_i 为负载加速需要的力矩:

$$T_i = I \times d\omega/dt = K \times \int r^2 dm \times \alpha \quad (9)$$

其中, K 为常数; I 为转动惯量; α 为角加速度。

对于两相步进电机,在两相通电的情况下,产生的磁场能量为:

$$W = 1/2 L_a (i_a^2 + i_b^2) + L_{ab} i_a i_b + M \times i_f \times (i_a \cos \theta + i_b \sin \theta) + 1/2 L_f i_f^2 \quad (10)$$

其中, L_a 为 A 相定子感抗; L_{ab} 为 A 相 B 相之间的互感; M 为转子等效感抗; θ 为转子转过角度; i_a, i_b 为 A, B 相电流; i_f 为永磁定子等效线圈电流^[5]。

则电机产生的力矩可计算为:

$$T_e = \partial W / \partial \theta = M \times i_f \times (-i_a \sin \theta + i_b \cos \theta) \quad (11)$$

转子在同步速度下转动时, 即:

$$\theta = \omega t = 1/2 \alpha t^2 \quad (12)$$

一般情况下, 两相电流相等, 因此上述力矩公式, 可表示为:

$$T_e = M \times i_f (\cos \theta - \sin \theta) \quad (13)$$

在理想情况下, 式(6)与式(13)相等, 由此解得:

$$i = \frac{\mu \times m \times g \times r + K \times \int r^2 dm \times \alpha}{M \times i_f (\cos \theta - \sin \theta)} \quad (14)$$

3 控制组件的设计和实现

通过分析步进电机的物理模型, 得到了驱动脉冲宽度和驱动电流的理论值。在此基础上, 设计并实现了一种基于步进电机的红外镜头控制组件。整个控制组件包括电路和软件两部分, 下面分别进行介绍。

3.1 控制组件电路

如图3所示, 整个控制组件的电路包含了电源、微控制器、电机驱动和辅助功能电路, 电源输入电压范围达到 9 ~ 36 V, 经过转换可生成组件工作需要的 5 V 和 3.3 V 电源, 同时兼顾了效率和电路的简洁性。微控制器是整个电路的核心, 由一片 8051 单片机及其外围电路组成。其功能包括: 与主机进行信息交互、控制步进电机和辅助功能控制。电机驱动由两片电机驱动芯片和外围电路组成, 可在单片机的控制下驱动两个步进电机做出相应动作。电机驱动芯片选用两相混合式 PWM 电流控制步进电机驱动芯片。该芯片采用双桥 MOSFET 驱动, 具有自动半流锁定、内置温度保护和过流保护功能^[6]。辅助功能部分包括: 散热风扇驱动电路, 可根据环境温度开启关闭散热风扇并调节风力大小; 温度电压检测电路, 可检测环境温度和工作电压。

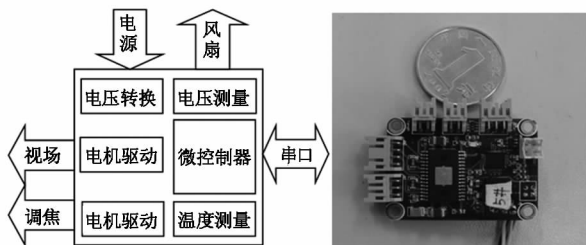


图3 控制组件结构框图与实物图

在电路设计中需要注意对驱动芯片的合理配置, 这是实现步进电机精确高效控制的基础。在不同的配置情况下, 驱动芯片可输出不同电流比例的两相励磁, 即微步的细分。细分微步有 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/128 可选。微步细分比例的选取要考虑控制精度和系统性能, 微步距太大会降低控制精度, 微步距太小会增加软件的定时中断次数甚至影响其正常工作^[7]。不合理的微步细分还会影响电机运动的顺畅性, 可表现为电机震颤、摩擦声音异常, 等等。本系统中选用的步进电机直线步距为 0.02 mm, 根据实际需要, 并经过实验验证, 确定微步细分比例为 1/16。

3.2 控制组件软件

如图4所示, 控制组件的程序主要包括主函数和定时中断处理函数两部分。主函数完成的功能包括: 系统初始化、串口命令的判断以及对其他函数的调用; 定时中断处理函数完成的功能包括: 判断记录电机加速、匀速和减速的运动状态, 设定下一步驱动脉冲宽度, 以及电机位置的实时跟踪。

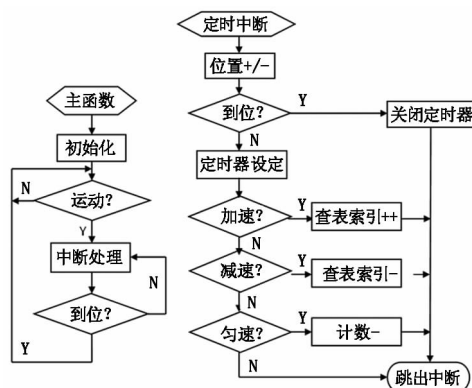


图4 控制组件程序流程图

4 结论

该控制电路(如图3所示)具有小型化、模块化、组件化等特点, 整板体积小(40 mm × 30 mm), 对外接口简单(仅电源和通用串口)。在不作改动的情况下, 该控制组件可应用于使用步进电机的各种红外成像系统中。另外, 在该组件中, 采用了精细参数的功率驱动自闭环设计, 驱动微步多级细分, 以及合理的单步驱动时间递推设定, 使控制精度达到了 1.25 μm。

在完成了控制组件的设计和实现之后, 针对 25 mm 行程, 在三个温度点进行了试验。试验结果如表1所示, 结果表明在该控制组件的驱动下, 步进电机的运动快速准确, 并具有较好的环境适应能力。

表 1 不同温度点下 25 mm 行程试验结果

环境温度/℃	时间/s	精度(丢步数)	电流/A
-40	0.66	0	0.23
25	0.55	0	0.20
55	0.51	0	0.19

目前该控制组件已经在多个红外热像仪项目中得到了应用。应用结果表明:该镜头控制组件控制精度高,稳定性和适应性强,并且便于调试和故障排除;在应用该控制组件后,红外镜头的光学设计可以更加精细灵敏,机械设计可以更加简洁小巧。此外,通过相应的改进,该控制组件还可以具有较好的抗振动冲击能力,可以满足恶劣环境条件下红外热像仪正常工作的需要。

参考文献:

[1] Huang Heping, Xia Yinhui, An Chengbin, et al. Design on the focusing mechanism of long focus IR system[J]. Laser & Infrared, 2005, 35(10): 745 - 747. (in Chinese)
黄和平, 夏寅辉, 安成斌, 等. 大口径、长焦距红外系统调焦机构设计[J]. 激光与红外, 2005, 35(10): 745 - 747.

[2] Wang Hongyu. The introduction of stepper motor control technology[M]. Tianjin: Tongji University Press, 1990: 5 - 8. (in Chinese)

王鸿钰. 步进电机控制技术入门[M]. 天津: 同济大学出版社, 1990: 5 - 8.

[3] Zou Hua, Zhang Mengwei. Realization of zooming control for a continuous zoom optical lens with step motor[J]. Opto-Electronic Engineering, 2003, 30(1): 29 - 31. (in Chinese)
邹华, 张孟伟. 用步进电机实现连续变焦距光学镜头的变焦控制[J]. 光电工程, 2003, 30(1): 29 - 31.

[4] Yan Zhian. Electrical machinery[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2006: 3 - 4. (in Chinese)
阎治安. 电机学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2006: 3 - 4.

[5] H Wayne Beaty, James L Kirtley. Electric motor handbook[M]. McGraw-Hill Professional, 1998: 15 - 19.

[6] Wang Fei, Kong Qingfei. Application of PLC in stepper motor control driver[J]. Mechanical Engineering & Automation, 2006, (4): 59 - 60. (in Chinese)
王飞, 孔庆飞. PLC 在步进电机控制驱动器中的应用[J]. 机械工程与自动化, 2006, (4): 59 - 60.

[7] Guan Xuezhong, Hu Song. The subdivision control of stepper motor using microcontroller and TA8435[J]. Micro-controllers & Embedded Systems, 2006, (6): 77 - 80 (in Chinese)
关学中, 胡松. 单片机与 TA8435 的步进电机细分控制[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2006, (6): 77 - 80.