



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101893901 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 24

(21) 申请号 201010224046. 3

(22) 申请日 2010. 07. 13

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路  
3888 号

(72) 发明人 于涛 徐抒岩

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G05D 3/12(2006. 01)

H04N 5/232(2006. 01)

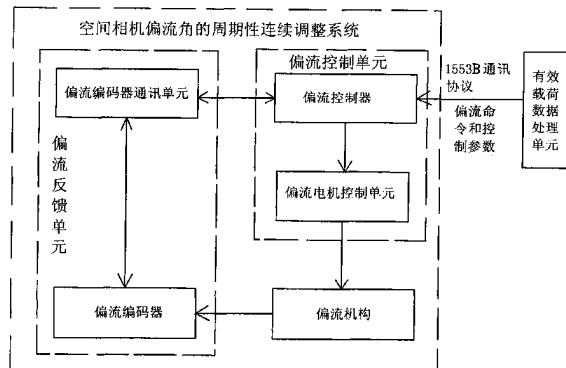
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

空间相机偏流角的周期性连续调整系统

(57) 摘要

本发明的空间相机偏流角的周期性连续调整系统，涉及航天相机偏流角控制领域，包括偏流控制器、偏流电机控制单元、偏流编码器、偏流编码器通讯单元和偏流机构，偏流控制器接收参数并处理传给偏流电机控制单元；偏流电机控制单元接收电信号后带动偏流机构转动；偏流编码器测量偏流机构的偏流角位置；偏流控制器通过偏流编码器通讯单元向偏流编码器发送反馈偏流角位置命令；偏流编码器接收到反馈命令后，将测量到的偏流角位置编译成电信号通过偏流编码器通讯单元传递给偏流控制器。本发明使相机摄像开始时偏流角接近零，横向像移分量最低，延长相机一次性有效连续摄像时间。



1. 空间相机偏流角的周期性连续调整系统,包括偏流控制单元、偏流机构、偏流反馈单元,其特征在于,所说的偏流控制单元包括偏流控制器、偏流电机控制单元,偏流控制器与偏流电机控制单元相连,偏流控制器将接收的来自于有效载荷数据处理单元的偏流命令和控制参数处理后转换成电信号传给偏流电机控制单元;偏流电机控制单元与偏流机构相连,偏流电机控制单元接收到经处理后的电信号后带动偏流机构转动,调整偏流角;所说的偏流反馈单元包括偏流编码器和偏流编码器通讯单元,偏流机构与偏流编码器相连,偏流编码器测量偏流机构的偏流角位置;偏流控制器通过偏流编码器通讯单元向偏流编码器发送反馈偏流角位置命令;偏流编码器接收到反馈命令后,将测量到的偏流角位置编译成电信号通过偏流编码器通讯单元传递给偏流控制器。

2. 根据权利要求 1 所述的空间相机偏流角的周期性连续调整系统,其特征在于,所说的偏流电机控制单元包括偏流步进电机和偏流电机驱动电路,偏流电机驱动电路包括二极管 V19、场效应管 V23、电阻 R15 和 R19,处理后的控制信号接场效应管 V23 的栅极 G,场效应管 V23 的栅极 G 通过电阻 R19 接地,源极 S 接地,漏极 D 接二极管 V19 的 P 极,步进电机接场效应管 V23 的漏极 D,二极管 V19 的 N 极通过电阻 R15 接处理后的控制信号,电源接二极管 V19 的 N 极,经处理后的控制信号通过偏流电机驱动电路控制偏流步进电机运行,偏流步进电机再带动偏流机构转动。

## 空间相机偏流角的周期性连续调整系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及航空航天相机偏流角控制领域,特别是一种空间相机偏流角的周期性连续调整系统。

### 背景技术

[0002] 除地球同步卫星外,其它卫星与地面都有相对移动,装载于此类卫星上的空间相机在轨进行摄像时,地面目标的相对移动在相机像面上产生像的移动,称之为像移。一般情况下,像移会在两个正交方向上产生分量,一个是飞行器飞行方向产生的前向像移分量,另一个是在飞行器飞行的垂直方向产生的横向像移分量,即由偏流角产生的像移分量。进行像移补偿时,首先通过调整偏流角消除横向像移分量,然后再通过补偿前向像移达到清晰成像的目的。

[0003] 考虑偏流机构颤振和 TDICCD 焦面移动对图像质量的影响,对于高分辨率 TDICCD 空间相机在摄像阶段不调整偏流角。目前空间相机大多采用准备阶段进行一次调整,调整结束后不再调整,这种调整方法可能使相机摄像开始时,偏流角仍较大,影响图像质量。首先,偏流角调整结束后,相机由于调焦、主动热控、成像系统上电和设置等操作使准备阶段没有结束,需等待数秒或更长时间;其次,空间相机在轨期间,由于飞行器姿态变化和地球自转等因素,偏流角可能逐渐变大,使图像质量符合要求的有效摄像时间缩短;另外,对于偏流要求高而飞行器姿态又不是很好的系统,相机开始摄像时可能根本就不具备正常拍摄条件。基于以上分析,应对偏流角进行周期性连续调整,使相机摄像开始时,横向像移分量达到最小,保证相机图像质量。因此,研制一种能对空间相机的偏流角周期性连续调整的系统势在必行。

### 发明内容

[0004] 针对上述情况,为解决现有技术之缺陷,本发明的目的就在于提供一种空间相机偏流角的周期性连续调整系统,可以根据固定周期采集的反应飞行器姿态的平台参数,周期性计算偏流角,保证相机摄像开始时,偏流角接近零,横向像移分量达到最小,可以有效解决相机调整结束后偏流角仍然较大、横向像移分量对图像质量的影响较大的问题。

[0005] 本发明解决技术问题所采用的技术方案是,空间相机偏流角的周期性连续调整系统包括偏流控制单元、偏流机构、偏流反馈单元,所说的偏流控制单元包括偏流控制器、偏流电机控制单元,偏流控制器与偏流电机控制单元相连,偏流控制器将接收的来自于有效载荷数据处理单元的偏流命令和控制参数处理后转换成电信号传给偏流电机控制单元;偏流电机控制单元与偏流机构相连,偏流电机控制单元接收到经处理后的电信号后带动偏流机构转动,调整偏流角;所说的偏流反馈单元包括偏流编码器和偏流编码器通讯单元,偏流机构与偏流编码器相连,偏流编码器测量偏流机构的偏流角位置;偏流控制器通过偏流编码器通讯单元向偏流编码器发送反馈偏流角位置命令;偏流编码器接收到反馈命令后,将测量到的偏流角位置编译成电信号通过偏流编码器通讯单元传递给偏流控制器。

[0006] 本发明提供一种空间相机偏流角的周期性连续调整系统，使空间相机在摄像前的准备阶段，根据固定周期采集的反应飞行器姿态的平台参数，周期计算偏流角，并对其进行周期性连续闭环调整，保证相机摄像开始时，偏流角接近零，横向像移分量达到最小，保证相机图像质量，并延长相机一次性有效连续摄像时间。

## 附图说明

- [0007] 图 1 是空间相机偏流角的周期性连续调整系统的结构框图。
- [0008] 图 2 是空间相机偏流角的周期性连续调整系统的偏流电机驱动电路图。
- [0009] 图 3 是空间相机偏流角的周期性连续调整系统的功能原理图。
- [0010] 图 4 是空间相机偏流角的周期性连续调整系统的单次闭环控制流程图。

## 具体实施方式

[0011] 以下结合附图对本发明的具体实施方式做详细说明。  
[0012] 由图 1 所示，本发明的空间相机偏流角的周期性连续调整系统，包括偏流控制单元、偏流机构、偏流反馈单元，所说的偏流控制单元包括偏流控制器、偏流电机控制单元，偏流控制器与偏流电机控制单元相连，偏流控制器将接收的来自于有效载荷数据处理单元的偏流命令和控制参数处理后转换成电信号传给偏流电机控制单元；偏流电机控制单元与偏流机构相连，偏流电机控制单元接收到经处理后的电信号后带动偏流机构转动，调整偏流角；所说的偏流反馈单元包括偏流编码器和偏流编码器通讯单元，偏流机构与偏流编码器相连，偏流编码器测量偏流机构的偏流角位置；偏流控制器通过偏流编码器通讯单元向偏流编码器发送反馈偏流角位置命令；偏流编码器接收到反馈命令后，将测量到的偏流角位置编译成电信号通过偏流编码器通讯单元传递给偏流控制器。

[0013] 由图 2 所示，所说的偏流电机控制单元包括偏流步进电机和偏流电机驱动电路，偏流电机驱动电路包括二极管 V19、场效应管 V23、电阻 R15 和 R19，处理后的控制信号接场效应管 V23 的栅极 G，场效应管 V23 的栅极 G 通过电阻 R19 接地，源极 S 接地，漏极 D 接二极管 V19 的 P 极，步进电机接场效应管 V23 的漏极 D，二极管 V19 的 N 极通过电阻 R15 接处理后的控制信号，电源接二极管 V19 的 N 极，经处理后的控制信号通过偏流电机驱动电路控制偏流步进电机运行，偏流步进电机再带动偏流机构转动。

- [0014] 由图 4 所示，本发明的单次闭环控制流程如下：
  - [0015] (1) 偏流控制器读取偏流角目标值  $Q_1$ ；
  - [0016] (2) 偏流控制器读取偏流角当前测量值  $Q_3$ ；
  - [0017] (3) 偏流控制器根据  $Q_1$  和  $Q_3$  计算偏流电机运行步数和方向；
  - [0018] (4) 启动偏流控制器中的一个内部定时器作为偏流电机频率控制定时器，定时一步运行时间并发送电机控制信号；
  - [0019] (5) 偏流电机步数减一；
  - [0020] (6) 若偏流电机步数为零时，检验偏流误差是否满足要求；反之，重复步骤 4；
  - [0021] (7) 若偏流误差满足要求时，程序结束；反之，重复步骤 2；
- [0022] 所说的偏流控制器采用 DSP 芯片 SMJ320C30，电源为 15V，二极管 V19 型号为 BZG3D，场效应管 V23 型号为 2N6798JANTXV，电阻 R15 阻值为  $5.1\text{K}\Omega$ ，电阻 R19 的阻值

为  $10K\Omega$ ，偏流编码器通讯单元与偏流编码器之间用 RS422 串行通讯电路连接，并采用 DS26C31 和 DS26C32 元件将串行电讯信号进行差分。

[0023] 空间相机偏流角的周期性连续调整系统的工作原理：图 3 中， $Q_1$  为偏流角目标值，即计算得出的偏流机构所应到达的角度位置； $Q_2$  为偏流角当前实际值，即偏流角调整后偏流机构实际的角度位置， $Q_3Z$  为偏流角当前测量值，即编码器测量后的偏流机构实际角度位置。

[0024] 由图 4 所示，偏流角调整工作原理：相机在准备阶段对偏流角进行周期性连续调整，准备阶段相机不摄像。相机控制器根据反应飞行器姿态的平台参数周期计算偏流角目标值  $Q_1$ ；通过 RS422 串行线路与偏流机构的测角器（16 位光电轴角编码器）进行通讯，计算偏流机构当前位置  $Q_3$ ；如果偏流机构需要调整，那么根据  $Q_1$  和  $Q_3$  计算偏流步进电机的运行方向和步数，控制偏流步进电机以固定频率按计算方向运行相应的步数，带动偏流机构转动，直到偏流角  $Q_{13}$  在容许范围内。偏流角目标值  $Q_1$  周期计算，偏流机构连续调整，使偏流角  $Q_{13}$  在相机工作的准备阶段趋于零，保证相机摄像开始时由偏流角产生的横向像移分量达到最小。

[0025] 本发明的空间相机偏流角的周期性连续调整系统具体包括下述步骤：

[0026] (1) 系统控制器根据 1553B 协议与有效载荷数据处理单元进行通讯，获取偏流命令和平台参数等控制参数，平台参数更新周期为 512ms，因此偏流角计算周期为 512ms；

[0027] (2) 采用 16 位光电轴角编码器做为偏流机构的侧角器，系统与偏流编码器之间采用 RS422 串行通讯协议，波特率为 62500Bps，应用 DS26C31 和 DS26C32 元件将串行通讯信号进行差分，提高串行通讯的抗干扰能力和可靠性；

[0028] (3) 步进电机控制方式为四相八拍，运行频率为 667Hz；电机运行步数见公式 (1)，偏流机构转动角度与偏流编码器变化关系见公式 (2)，偏流编码器与偏流机构位置对应关系见公式 (3)；

$$N = K_1 \times |A_1 - A_3| \div M \quad (1)$$

[0029] 式中， $N$ ：偏流电机运行步数； $A_1$ ：偏流角目标值对应的编码器值； $A_3$ ：偏流角当前测量值对应的编码器值； $M$ ：偏流电机与编码器速比； $K_1$ ：转换系数；

$$\Delta A_1 = K_2 \times \Delta \theta_1 \quad (2)$$

[0030] 式中， $\Delta A_1$ ：偏流编码器值变化量； $\Delta \theta_1$ ：偏流机构角度变化量； $K_2$ ：转换系数；

$$A_1 = H_1 + K_2 \times \theta_1 \quad (3)$$

[0031] 式中， $A_1$ ：偏流机构位置对应的编码器值； $H_1$ ：偏流机构零点对应编码器值； $\theta_1$ ：偏流机构位置；

[0032] 公式 (1) 中， $M$  为 478， $K_1$  为 163.84；公式 (2) 中， $K_2$  为 182；公式 (3) 中，根据偏流编码器与偏流机构的装配，偏流机构零点对应编码器值  $H_1$  为 8000H；

[0033] (4) 采用 16 位绝对式光电轴角编码器，分辨率为  $20''$ ，步进电机步距角为  $0.9^\circ$ 。偏流角调整误差分为两个方面：一方面是单次偏流角调整结束后偏流角当前测量值  $Q_3$  与偏流角目标值  $Q_1$  的误差  $E_1$ ；另一方面是准备阶段偏流角调整结束后的误差，即摄像开始时的偏流角误差  $E_2$ 。

[0034] (4.1) 单次偏流角调整误差  $E_1$

[0035] 单次偏流角调整误差  $E_1$  由编码器测量误差  $e_1$  和电机控制误差  $e_2$  组成。

[0039] (4. 1. 1) 编码器测角误差  $e_1$

[0040] 采用绝对式光电轴角编码器, 分辨率为 C。偏流角当前实际值  $Q_2$  与偏流角当前测量值  $Q_3$  的差值, 即编码器测量误差  $e_1$ 。

[0041] (4. 1. 2) 电机控制误差  $e_2$

[0042] 步进电机步距角为 B, 步进电机与偏流机构速比为 M, 电机控制误差为  $e_2$  (步进电机运行一步对应偏流机构变化的角度)。

[0043] 单次偏流角调整误差 E1 为不小于  $e_1+e_2$ , 且为 C 的最小倍数。

[0044] (4. 2) 摄像开始时的偏流角误差 E2

[0045] 平台参数采集周期为 T, 偏流角目标值  $Q_1$  最后一次计算和偏流角调整结束, 距摄像开始最长有 T 延时, 这段时间内飞行器姿态因素引起的偏流角最大变化量为 E3。由于最后一次调整误差最大值为 E1, 所以摄像开始时的偏流角最大值为 E1+E3, 根据公式 (4) 计算摄像开始时图像传递函数 MTF 最大下降值;

$$[0046] MTF = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} \frac{f_c}{f_N} N \frac{\Delta d}{d})}{\frac{\pi}{2} \frac{f_c}{f_N} N \frac{\Delta d}{d}} \quad (4)$$

[0047] 式中取特征频率  $f_c = f_N$ , N 为 TDICCD 积分级数,  $\Delta d/d$  为横向匹配的残余误差;

[0048] 编码器测量误差  $e_1$  和电机控制误差  $e_2$  分别为  $20''$  和  $7''$ , 所以单次偏流角调整误差 E1 为  $40''$ 。平台参数采集周期为 512ms, 偏流角目标值  $Q_1$  最后一次计算和偏流角调整结束, 距摄像开始最长有 512ms 延时, 这段时间内飞行器姿态因素引起的偏流角最大变化速率为  $0.506' / s$ , 所以偏流角最大变化量为  $16''$ 。由于最后一次调整误差最大值为  $40''$ , 所以摄像开始时的偏流角最大值为  $56''$ , 根据公式 (4) 计算, 摄像开始时图像传递函数 MTF 最大下降  $0.03\%$ ;

[0049] (5) 以图像传递函数 (MTF) 值下降 5% 为依据, 计算飞行器姿态及地球自转引起的最大姿态偏流角 R, 即相机系统有效摄像时允许的最大偏流角, 见公式 (5);

$$[0050] R = I - U \quad (5)$$

[0051] 式中 I 为 MTF 下降 5% 时的偏流角, U 为系统误差产生的非姿态偏流角;

[0052] 偏流角对相机成像质量的影响以成像传递函数 MTF 为考察依据, 根据分析和观察经验, MTF 下降 5%, 对图像无本质影响, 图像总体品质没有变化, 对图像分析判读和测量也无影响, 因此 MTF 下降 5% 可以作为相机有效摄像的指标要求。根据偏流角与传递函数 MTF 的计算公式 (4), 在  $N = 96$  的条件下, 计算 MTF 下降 5% 时, 允许的偏流角值为  $12'$ , 这其中包括相机本身的各项误差引起非姿态偏流角和姿态角测量与偏流角计算误差, 一般情况下这些误差可控制在  $7.2'$  的范围内, 所以允许的偏流角控制误差应不大于  $4.2'$ , 所以相机有效摄像时的偏流角值应小于  $4.2'$ 。

[0053] (6) 偏流角目标值  $Q_1$  周期计算, 实时判读偏流角当前测量值  $Q_3$ , 通过判断  $Q_1$  与  $Q_3$  的偏差对偏流角进行周期性连续闭环调整, 控制偏流角误差不大于 E1。相机准备阶段时间为 10s, 偏流角目标值  $Q_1$  周期计算, 实时判读偏流角当前测量值  $Q_3$ , 通过判断  $Q_1$  与  $Q_3$  的偏差对偏流角进行周期性连续闭环调整, 控制偏流角误差不大于  $40''$ 。

[0054] 偏流角的存在主要由两部分组成, 一部分是由飞行器姿态及地球自转引起的姿态

偏流角,另一部分则是由相机本身的各项误差引起的非姿态偏流角。非姿态偏流角是由系统误差产生的,可以事先修正,而姿态偏流角动态变化,随飞行器姿态及位置而变化,也正是由于这种处于变化中的偏流角才产生周期性连续调整的需求。

[0055] 根据系统约束,飞行器姿态因素引起的偏流角最大变化速率为  $0.506' / s$ ,相机准备阶段为 10s,考虑准备阶段开始时偏流角较小,第一次调整时间较短,如果不再对偏流角继续调整,那么摄像开始时,偏流角最大可达到  $5.06'$ ,超过了偏流角控制允许的最大误差,使成像传递函数 MTF 下降超过 5%,不满足图像无本质影响的要求。

[0056] 假定飞行器姿态因素引起的偏流角变化速率恒定,偏流角第一次调整时间较短或准备阶段开始时不需要调整偏流角,如果以偏流角不大于  $4.2'$  作为相机摄像有效的条件,那么偏流角周期性连续调整与一次性调整相比,考虑相机开始摄像时的偏流角,前者已控制到较小,后者以恒定速率已逐渐变大到一定角度,从摄像开始到偏流角增大到  $4.2'$ ,前者比后者最多会晚 10s,因此比较二者的有效摄像时间,前者比后者最大可延长 10s(不考虑偏流角的控制延时),若考虑偏流角控制延时,由表 1 可知,根据偏流角目标值  $Q_1$  的计算周期,最后一次偏流角调整结束时刻与开始摄像时刻最长时间间隔为 512ms,因此偏流角周期性连续调整与一次性调整相比,有效摄像时间,前者比后者最大可延长 9.488s。

[0057] 由表 1 所示,相机准备阶段的 10s 时间内,偏流角单次调整误差小于  $40''$ 。相机在时刻 9:2:25.755 开始摄像,最后一次偏流角目标值  $Q_1$  还未计算,但实际值大于  $1088''$  小于  $1104''$ ,满足摄像开始时偏流角误差小于  $56''$  的要求。

[0058] 表 1

[0059]

序号	时间	偏流角 目标值 $Q_1$	偏流角当前测量值 $Q_3$
1	9:2: 16.003	801"	780"
2	9:2: 16.515	816"	780"
3	9:2: 17.030	832"	820"
4	9:2: 17.543	848"	820"
5	9:2: 18.057	864"	860"
6	9:2: 18.571	880"	860"
7	9:2: 19.083	896"	860"
8	9:2: 19. 596	912"	900"
9	9:2: 20.109	928"	900"
10	9:2: 20. 622	944"	940"
11	9:2: 21.135	960"	940"
12	9:2: 21. 649	976"	940"
13	9:2: 22.164	992"	980"
14	9:2: 22.577	1008"	980"
15	9:2: 23.191	1024"	1020"
16	9:2: 23.705	1040"	1020"
17	9:2: 24.216	1056"	1020"
18	9:2:24.730	1072"	1060"
19	9:2:25.243	1088"	1060"
20	9:2:25.700	1088"	1060"

[0060] 本发明避免了目前高分辨率 TDICCD 空间相机准备阶段对偏流角一次性调整,使摄像开始时,偏流角仍较大,横向像移分量对图像质量的影响较大的缺陷;采用对偏流角周期性连续调整的方法,使相机摄像开始时,偏流角接近于零,横向像移分量达到最低,并可以延长相机一次性有效连续摄像时间。

[0061] (1) 避免了目前高分辨率 TDICCD 空间相机准备阶段对偏流角一次性调整,使摄像开始时,偏流角仍较大,横向像移分量对图像质量的影响较大的缺陷;

[0062] (2) 采用对偏流角周期性连续调整的方法,使相机摄像开始时,偏流角接近于零,横向像移分量达到最低,并可以延长相机一次性有效连续摄像时间;

[0063] (3) 对于偏流要求高而飞行器姿态又不是很好的系统,相机可以灵活控制偏流角,使相机具备正常拍摄条件。

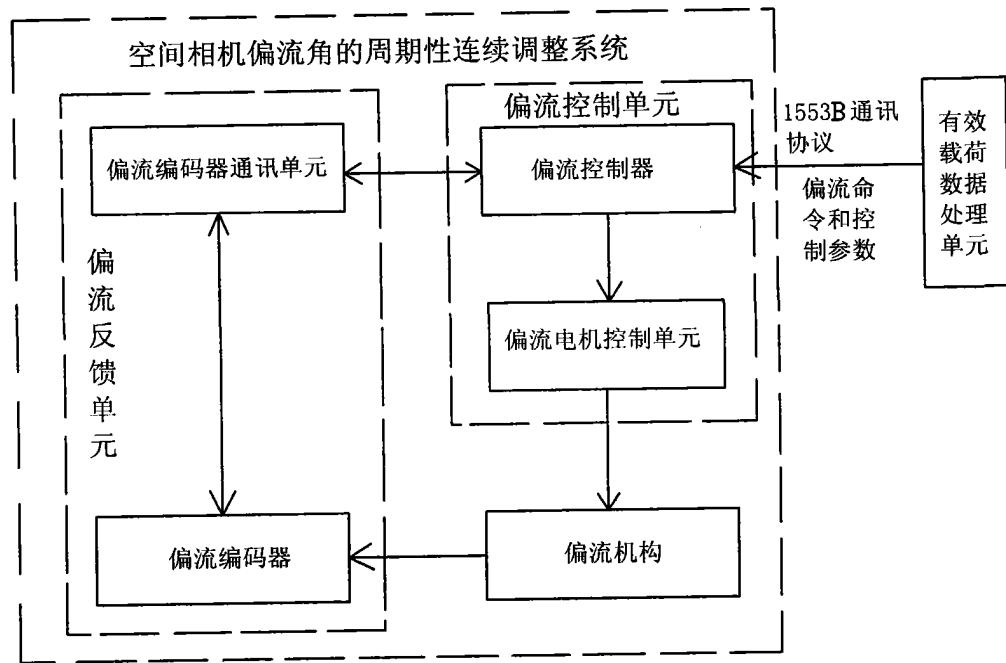


图 1

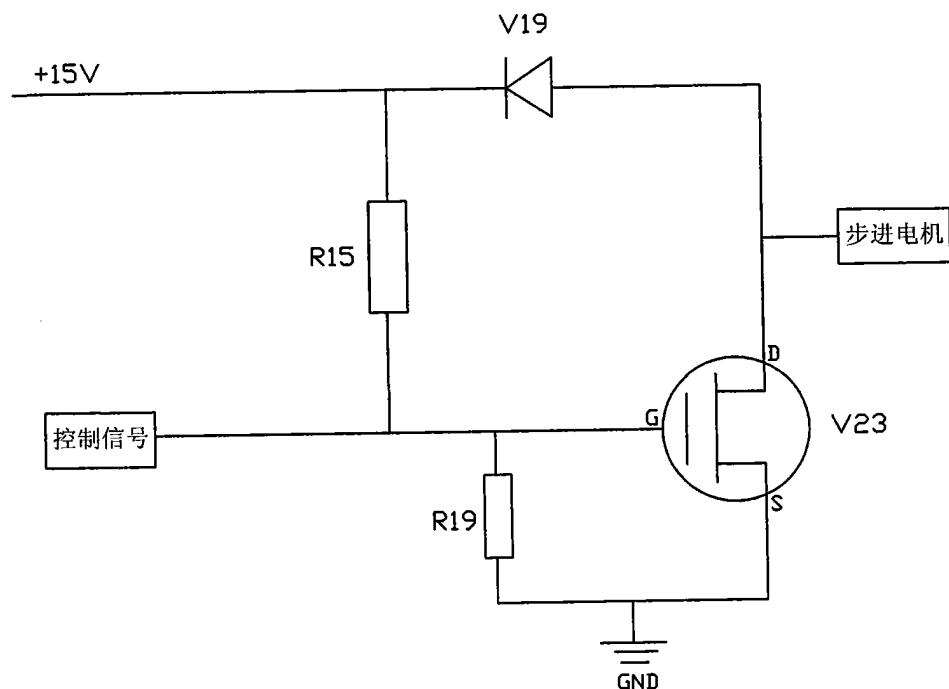


图 2

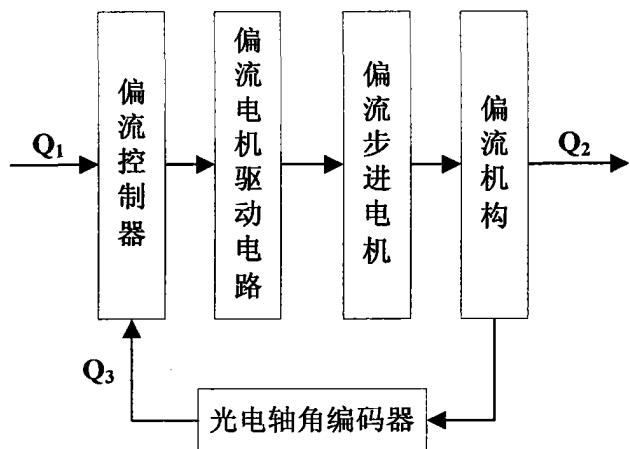


图 3

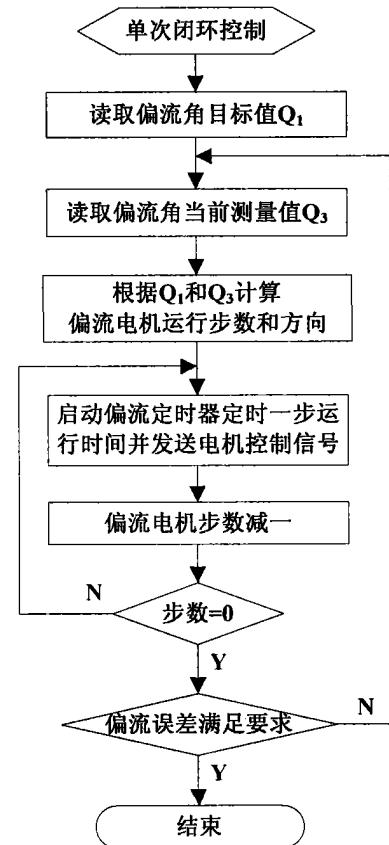


图 4