

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910066759.9

[51] Int. Cl.

H04N 5/232 (2006.01)

G05D 3/12 (2006.01)

[43] 公开日 2009年10月21日

[11] 公开号 CN 101562698A

[22] 申请日 2009.4.7

[21] 申请号 200910066759.9

[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16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  
代理人 王淑秋

权利要求书2页 说明书7页 附图3页

## [54] 发明名称

空间相机偏流角间歇式实时调整方法

## [57] 摘要

本发明涉及一种空间相机偏流角间歇式实时调整方法，该方法包括如下步骤：确定在对图像无本质影响的情况下成像传递函数 MTF 允许下降的最大数值  $x$ ，并根据该数值  $x$  计算允许的最大偏流角偏差值  $\beta_m$ ；根据  $\beta_m$  确定偏流角开始调整角度  $\beta$ ；根据实时调整过程中偏流角的调整误差  $\Delta_1$  和实时调整过程中姿态偏流角的变化量  $\Delta_2$ ，将偏流角停止调整的角度误差  $e$  设为  $\Delta_1$  与  $\Delta_2$  之和；控制偏流步进电机按照设定的速度运转，直至偏流角偏差值  $Q_{13}$  小于  $e$  时停止调整，完成一次调整过程；实时判断偏流角偏差值  $Q_{13}$  是否大于  $\beta$ ，实施下一次调整，直至空间相机完成摄像。本发明在保证图像质量前提下延长了一次性摄像时间；并且使飞行器在机动情况下能够完成拍照功能。

1、一种空间相机偏流角间歇式实时调整方法，其特征在于包括下列步骤：

(1) 确定在对图像无本质影响的情况下成像传递函数 MTF 允许下降的最大数值  $x$ ，并根据该数值  $x$  计算允许的最大偏流角偏差值  $\beta_m$ ；

$$MTF = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{f_c}{f_N} \times N \times \frac{\Delta d}{d}\right)}{\frac{\pi}{2} \times \frac{f_c}{f_N} \times N \times \frac{\Delta d}{d}} = 1 - x$$

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；

$$\text{tg} \beta_m = \frac{\Delta d}{d}$$

(2) 根据最大偏流角偏差值  $\beta_m$  确定偏流角开始调整角度  $\beta$ ：

$$\beta = \beta_m - \alpha - v \times (t_0 + t_1) - e_1$$

式中  $\alpha$  为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， $v$  为飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率， $e_1$  为编码器测角误差， $t_0$  为偏流角目标值 Q1 计算所用飞行器姿态及位置参数的更新周期， $t_1$  为偏流角实时调整软件延时时间；

(3) 根据实时调整过程中偏流角的调整误差  $\Delta_1$  和实时调整过程中姿态偏流角的变化量  $\Delta_2$ ，将偏流角停止调整的角度误差  $e$  设为  $\Delta_1$  与  $\Delta_2$  之和；

$$e = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$\Delta_1 = e_1 + e_2 + e_3$$

$$\Delta_2 = \frac{\beta \times M \times v}{\theta \times f}$$

式中  $e_1$  为编码器测角误差， $e_2$  为编码器精度， $e_3$  为偏流步进电机控制误差， $\beta$  为偏流角开始调整角度， $M$  为偏流机构速比， $v$  为飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率， $\theta$  为偏流步进电机步距角度， $f$  为偏流步进电机运行频率；

(4) 读取偏流角当前测量值 Q3，将 Q3 与通过飞行器姿态及位置确定的偏

流角目标值  $Q1$  进行比较, 得到偏流角偏差值  $Q13$ ; 当偏流角偏差值  $Q13$  达到  $\beta$  时, 控制偏流步进电机按照设定的速度运转, 直至偏流角偏差值  $Q13$  小于偏流角停止调整的角度误差  $e$  时停止调整, 完成一次调整过程;

(5) 实时判断偏流角偏差值  $Q13$  是否大于  $\beta$ , 实施下一次调整, 直至空间相机完成摄像。

2、根据权利要求 1 所述的空间相机偏流角间歇式实时调整方法, 其特征在于所述的偏流步进电机步进间隔时间  $T$  的取值范围是:  $\max(T_{\max}, \Delta t) \leq T < t$ ; 式中  $T_{\max}$  表示 TDICCD 最高积分级数时一个像元的积分总时间,  $\Delta t$  表示偏流步进电机单步运行稳定时间,  $t$  表示偏流角控制角速率与飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率相等时偏流步进电机的步进间隔时间。

3、根据权利要求 2 所述的空间相机偏流角间歇式实时调整方法, 其特征在于偏流角开始调整角度  $\beta$  为  $192.36''$ ; 偏流步进电机步进间隔时间  $T$  的范围是  $30ms \leq T < 125ms$ , 对应频率  $f$  的范围是  $8Hz < f \leq 33Hz$ 。

4、根据权利要求 3 所述的空间相机偏流角间歇式实时调整方法, 其特征在于偏流角停止调整的角度误差  $e$  为  $72.17''$ , 偏流步进电机的运行频率  $f$  为  $33Hz$ 。

## 空间相机偏流角间歇式实时调整方法

### 技术领域

本发明涉及一种空间相机偏流角间歇式实时调整方法。

### 背景技术

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。对于采用 TDICCD（时间延时积分电荷耦合器件）感光芯片的空间相机，要取得清晰的景物影像，就要在较长的积分时间内使光生电荷包的转移与焦面上图像的运动保持同步，即进行像移匹配，在一定程度上的失配将导致图像模糊。完成上述功能通过像移补偿技术来实现。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。

目前的空间相机，其偏流角调整系统是在照相之前进行一次性调整。调整方法是：读取偏流角当前测量值  $Q3$ ，并与给定偏流角目标值  $Q1$  比较，二者差值  $Q13$  为偏流角偏差值；根据偏流角偏差值计算偏流步进电机运行方向和运行步数，控制偏流步进电机以较高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偏差值  $Q13$  在容许范围内。实现这种方法的装置包括偏流控制器、偏流功率放大电路、偏流步进电机和偏流机构。

空间相机在轨摄像期间，由于飞行器姿态变化和地球自转等因素，偏流角逐渐变大会导致图像质量下降，使得空间相机的连续摄像时间不能太长；对于偏流要求高而飞行器姿态又不是很好的系统，如果不对空间相机偏流角进行实时调整，可能根本就无法完成正常的拍摄任务；另外，这种照前一次性调整技

术也决定了在飞行器机动情况下不能完成拍照功能。

### 发明内容

本发明要解决的技术问题是提供一种能够在空间相机摄像期间实时调整偏流角，从而在保证图像质量前提下延长一次性摄像时间，以及使飞行器在机动情况下能够完成拍照功能的空间相机偏流角间歇式实时调整方法。

为了解决上述技术问题，本发明的空间相机偏流角间歇式实时调整方法包括如下步骤：

(1) 确定在对图像无本质影响的情况下成像传递函数 MTF 允许下降的最大数值  $x$ ，并根据该数值  $x$  计算允许的最大偏流角偏差值  $\beta_m$ ；

$$MTF = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{f_c}{f_N} \times N \times \frac{\Delta d}{d}\right)}{\frac{\pi}{2} \times \frac{f_c}{f_N} \times N \times \frac{\Delta d}{d}} = 1 - x$$

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；

$$\text{tg } \beta_m = \frac{\Delta d}{d}$$

(2) 根据最大偏流角偏差值  $\beta_m$  确定偏流角开始调整角度  $\beta$ ， $\beta$  的确定使固定摄像时间内偏流角调整的次数达到最少；

$$\beta = \beta_m - \alpha - v \times (t_0 + t_1) - e_1$$

式中  $\alpha$  为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， $v$  为飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率， $e_1$  为编码器测角误差， $t_0$  为偏流角目标值 Q1 计算所用飞行器姿态及位置参数的更新周期， $t_1$  为偏流角实时调整软件延时时间；

(3) 根据实时调整过程中偏流角的调整误差  $\Delta_1$  和实时调整过程中姿态偏流角的变化量  $\Delta_2$ ，将偏流角停止调整的角度误差  $e$  设为  $\Delta_1$  与  $\Delta_2$  之和；

$$e = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$\Delta_1 = e_1 + e_2 + e_3$$

$$\Delta_2 = \frac{\beta \times M \times v}{\theta \times f}$$

式中  $e_1$  为编码器测角误差,  $e_2$  为编码器精度,  $e_3$  为偏流步进电机控制误差,  $\beta$  为偏流角开始调整角度,  $M$  为偏流机构速比,  $v$  为飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率,  $\theta$  为偏流步进电机步距角度,  $f$  为偏流步进电机运行频率;

(4) 读取偏流角当前测量值 Q3, 将 Q3 与通过飞行器姿态及位置确定的偏流角目标值 Q1 进行比较, 得到偏流角偏差值 Q13 (即 Q3 与 Q1 之间的差值); 当偏流角偏差值 Q13 达到  $\beta$  时, 控制偏流步进电机按照设定的速度运转, 直至偏流角偏差值 Q13 小于偏流角停止调整的角度误差  $e$  时停止调整, 完成一次调整过程;

(5) 实时判断偏流角偏差值 Q13 是否大于  $\beta$ , 实施下一次调整, 直至空间相机完成摄像。

本发明由于能够在空间相机摄像期间实时调整偏流角, 在保证图像质量前提下延长了一次性摄像时间; 并且使飞行器在机动情况下能够完成拍照功能。

所述的偏流步进电机步进间隔时间 T 的取值范围是:  $\max(T_{\max}, \Delta_t) \leq T < t$ ; 式中  $T_{\max}$  表示 TDICCD 最高积分级数时一个像元的积分总时间,  $\Delta_t$  表示偏流步进电机单步运行稳定时间,  $t$  表示偏流角控制角速率与飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率相等时偏流步进电机的步进间隔时间。

由于相机摄像过程中偏流角实时调整会带来抖动相移, 在一个像元积分过程中偏流角实时调整次数应不大于 1 次, 所以偏流步进电机步进间隔时间 T 应大于等于  $T_{\max}$  (TDICCD 最高积分级数时一个像元的积分总时间)。另外, 一个像元积分过程中偏流角调整角度应尽量小, 使抖动相移量最小, 因而偏流步进电机步进间隔时间 T 应不小于  $T_{\max}$  与偏流步进电机单步运行稳定时间  $\Delta_t$  中较大的值, 使偏流步进电机以较低的频率单步运行, 以减小偏流步进电机运行过程中偏流机构对相机输出图像质量的影响, 但偏流步进电机步进间隔时间 T 又不

能太长，原因是如果偏流角的控制角速率小于飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率，那么当偏流角控制方向与飞行器姿态变化引起的偏流角变化方向相反时，偏流角调整过程中会使偏流角偏差值  $Q_{13}$  变大，甚至超过  $\beta_m$ 。

#### 附图说明

下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细说明。

图 1 是实现背景技术和本发明的空间相机偏流角间歇式实时调整方法的装置的结构框图。

图 2 为偏流步进电机的频率分别为 100 Hz 、 185 Hz 、 277Hz 时连续运行时间与角度对应关系图。

图 3 为偏流步进电机单步运行时间与角度对应关系图。

#### 具体实施方式

如图 1 所示，实现背景技术空间相机偏流角调整方法的装置包括偏流控制器、偏流功率放大电路、偏流步进电机和偏流机构。本发明的空间相机偏流角间歇式实时调整方法是通过改变偏流控制器内的应用程序来实现的。其中  $Q_1$  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； $Q_3$  为偏流角当前测量值，即编码器测量的偏流机构实际角度位置。

本发明的空间相机偏流角间歇式实时调整方法具体包括下述步骤：

- (1) 根据传递函数 MTF 下降 5% 确定允许的最大偏流角偏差值  $\beta_m = 12'$  ；
- (2) 根据最大偏流角偏差值  $\beta_m$  确定偏流角开始调整角度  $\beta = 192.36''$  ；
- (3) 根据实时调整过程中偏流角的调整误差  $\Delta_1$  和实时调整过程中误差和飞船姿态变化等因素引起的偏流角的变化量  $\Delta_2$ ，将偏流角停止调整的角度误差  $e$  设为  $72.17''$  ；即经过一次实时偏流角调整，如果偏流角偏差值  $Q_{13}$  小于等于  $72.17''$ ，那么停止偏流角调整，否则继续调整；
- (4) 读取偏流角当前测量值  $Q_3$ ，将  $Q_3$  与通过飞行器姿态确定的偏流角目

标值 Q1 进行比较, 得到偏流角偏差值 Q13 (即 Q3 与 Q1 之间的差值); 当偏流角偏差值 Q13 达到 192" 时, 控制偏流步进电机以 33Hz 的频率运转, 直至偏流角偏差值 Q13 小于 72.17" 时停止调整, 完成一次调整过程; 其中通过飞行器姿态确定的偏流角目标值 Q1 对于本领域技术人员来说是公知的;

(5) 实时判断偏流角偏差值 Q13 是否大于  $\beta$ , 实施下一次调整, 直至空间相机完成摄像。

摄像时偏流角实时调整会对成像质量产生影响。对成像质量的影响以成像传递函数 MTF 为考察依据。系统中任一环节都会引起 MTF 下降, 同样摄像时的偏流角实时调整也不例外地使 MTF 下降。对于偏流角实时调整这样的环节, 原则应该做到很小, 以至于从肉眼察觉不到。根据分析和观察经验, MTF 下降 5% 可以满足以上要求, 因此 MTF 下降 5% 可以作为实时调偏流系统的指标要求。

经计算 MTF 下降 5% 时, 允许的偏流角偏差值为 12'。产生的偏流角偏差值主要由两部分组成, 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非姿态偏流角, 非姿态偏流角属系统误差, 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实时调整的需求。

5% 的传递函数下降意味着对图像无本质影响, 图像总体品质没有变化, 对图像分析判读和测量也无影响。由于引起传递函数下降的因素都具有慢变化特性, 传递函数下降 5% 会经历数秒时间, 在这段时间拍摄的图像是一个传递函数连续且缓慢轻微下降的渐变图像, 但正是因为这种渐变, 使我们几乎无法用肉眼察觉出来这种变化, 这是我们所希望达到的图像效果。但实际上后期传递函数下降 5% 的图像已与传递函数没有下降的图像有一定程度的差异, 只是这种差异没有被表现出来而已。

偏流角调整工作原理: 相机工作过程中, 偏流角调整分为准备和摄像两个



阶段。准备阶段相机不摄像，读取偏流角当前测量值  $Q_3$ ，并与给定偏流角目标值  $Q_1$  比较，二者差值  $Q_{13}$  为偏流角偏差值；根据偏流角偏差值计算偏流步进电机运行方向和运行步数，控制偏流步进电机以较高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偏差值  $Q_{13}$  在容许范围内。在摄像阶段，实时调整偏流角，即在摄像过程中，实时计算偏流角偏差值，并据此实时通过偏流步进电机进行调整，以保证偏流角偏差值满足误差要求。

在摄像阶段进行偏流角调整会引起传递函数在极短时间内（数毫秒）产生跳降，尽管这种传递函数的跳降在数值上不是很大，但由于这种跳变的突然性会使图像在跳变前后出现图像视觉方面的反差，这是我们应尽量避免的情形。

考虑到上述情况，在进行较长时间摄像时，需要进行实时偏流角调整，但不应调整过频繁，应尽量减少调整次数，使能够被察觉变化的摄取图像达到最少。实时调整的一个难点是即要进行摄像时调整，而又不影响摄像时成像质量，为减小偏流步进电机运行过程中偏流机构的颤振对相机输出图像质量的影响，偏流步进电机应以较低的频率单步运行。

由于相机摄像过程中偏流角实时调整会带来抖动相移，在一个像元 1-96 级积分过程中偏流角实时调整次数应不大于 1 次，所以偏流步进电机步进间隔时间  $T$  应大于等于  $T_{96}$ （TDICCD 最高积分级数 96 级时一个像元的积分总时间）；另外，一个像元 1-96 级积分过程中偏流角调整角度应尽量小，使抖动相移量最小。因而偏流步进电机步进间隔时间  $T$  不小于 TDICCD 最高积分级数 96 级时一个像元的积分总时间  $T_{96}$  与偏流步进电机单步运行稳定时间  $\Delta t$  中较大的值，但偏流步进电机步进间隔时间  $T$  又不能太长，原因是如果偏流角的控制角速率小于飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率，那么当偏流角控制方向与飞行器姿态变化引起的偏流角变化方向相反时，偏流角调整过程中会使偏流角偏差值  $Q_{13}$  变大，甚至超过  $\beta_m$ 。

如图 2 所示，偏流步进电机采用四相八拍控制方式，不同频率条件下，偏

流步进电机运行过程中每次变化的角度不同，并随着频率的加快而增加，所以在摄像阶段偏流步进电机应低速平稳运行，即运行一步稳定后，再运行下一步。

图 3 描绘了偏流步进电机 10 次单步运行曲线，由图中的曲线可知偏流步进电机单步最长稳定时间 $\Delta t$ 接近 30ms，经计算  $T_{96}=6.624$  ms，所以控制偏流步进电机步距间隔时间  $T$  应不小于 30 ms。

根据飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率与偏流机构的传动速比计算偏流角控制角速率与飞行器姿态变化引起的偏流角变化角速率相等时偏流步进电机的步进间隔时间  $t$  为 125ms。所以偏流步进电机步进间隔时间  $T$  的范围是  $30ms \leq T < 125ms$ ，对应频率  $f$  的范围是  $8Hz < f \leq 33Hz$ 。

经过试验测得，偏流角开始调整角度 $\beta$ 为  $192.36''$ ，按该值调整偏流角可以使相机在固定摄像时间内对偏流角的调整次数达到最少，偏流步进电机以不同频率  $f$  运行时，偏流角停止调整的角度误差  $e$  和摄像阶段偏流角调整一次图像传递函数 MTF 值见表 1。

表 1

f	e	MTF
33	72.17''	97.47%
30	75.04''	97.42%
25	80.79''	97.32%
20	89.40''	97.17%
15	103.76''	96.92%
8	154.23''	96.21%

本发明的积极效果：

- (1) 解决了目前空间相机不能在摄像时对偏流角进行调整的问题。
- (2) 延长了空间相机的一次性摄像时间，并可以采用较高 TDI 积分级数连续摄像。
- (3) 实现空间相机在摄像过程中对偏流角可以多次实时调整。
- (4) 实现空间相机在摄像过程中对偏流角实时调整时的图像质量 MTF 值下降小于 5%。

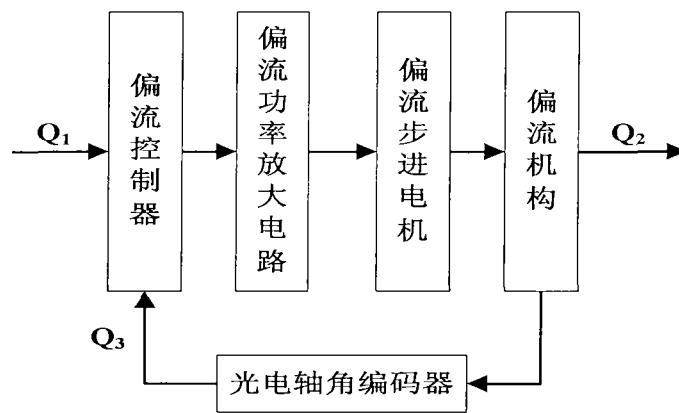


图 1

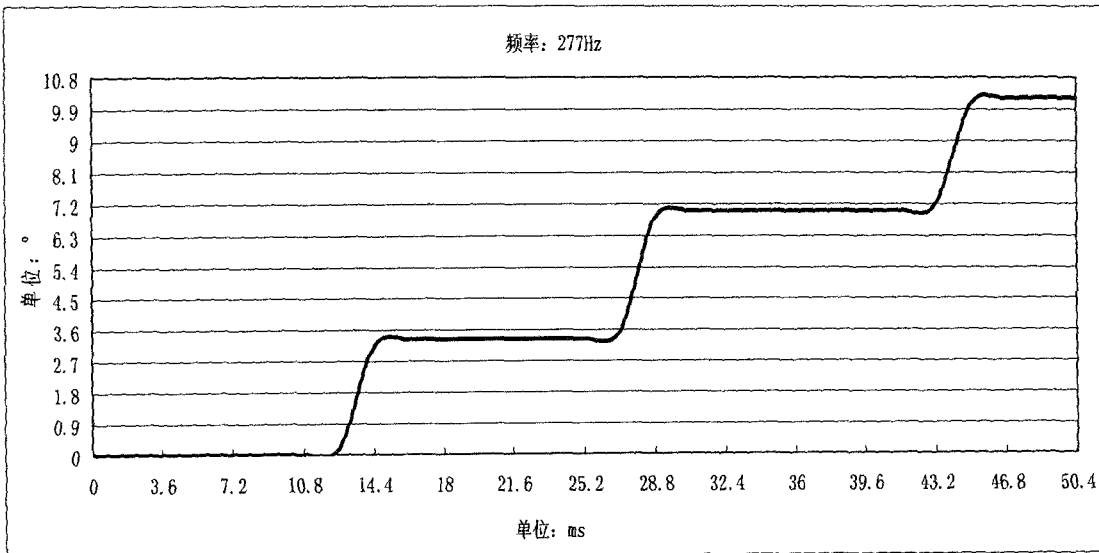
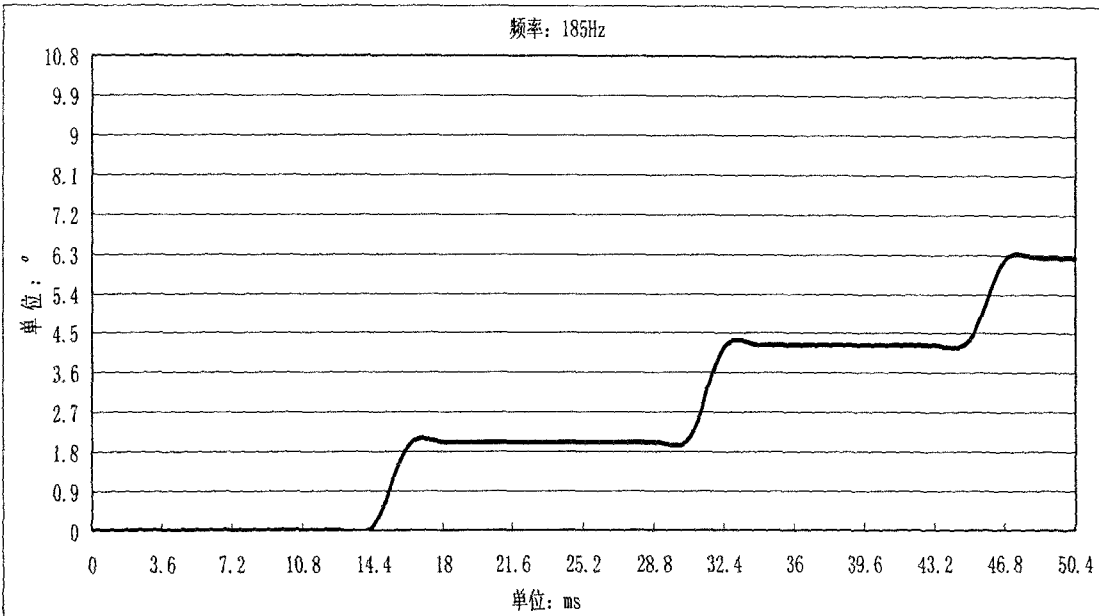
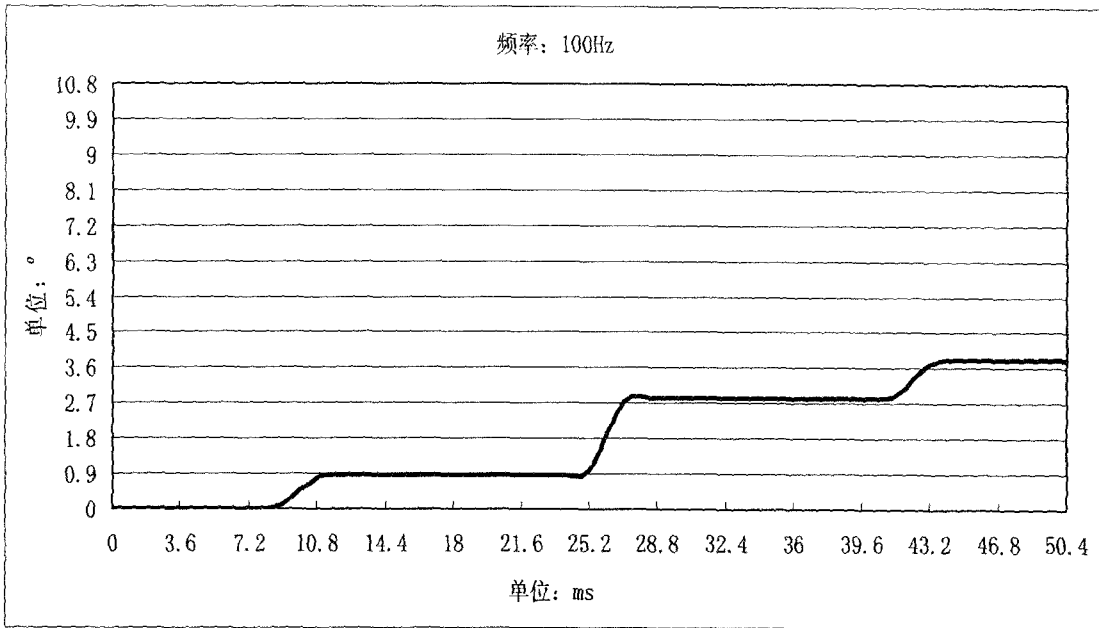


图 2

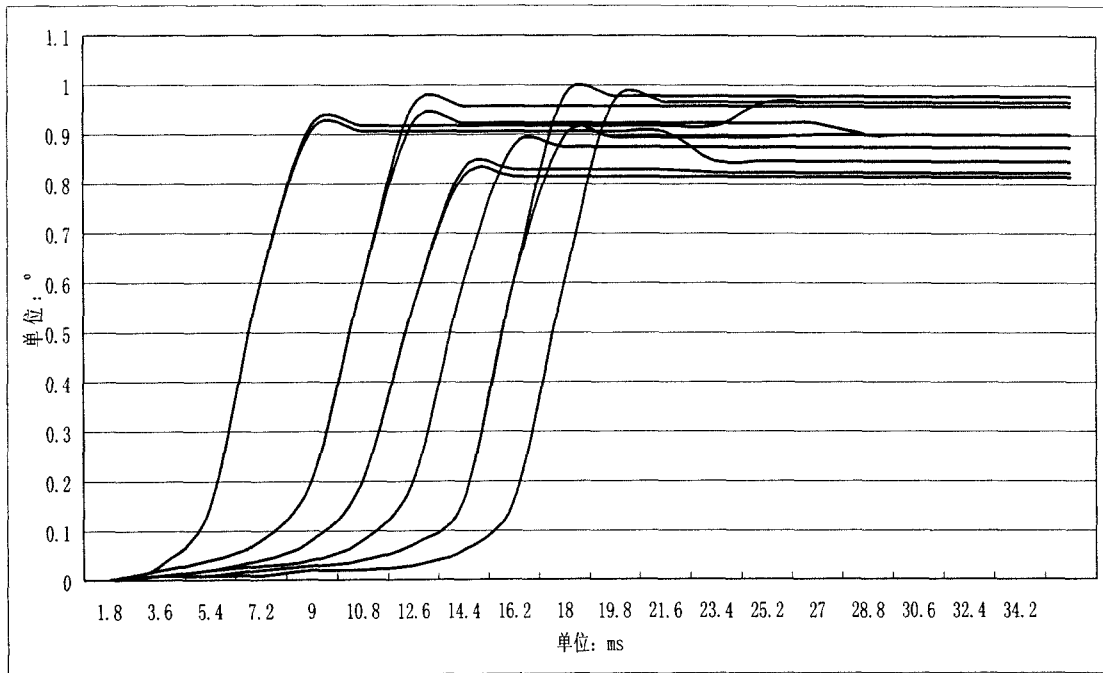


图 3