

基于等角度与等时间采样技术扫描成像系统*

简献忠^{1,2} 张会林¹ 王朝立¹ 裴云天²

(1 上海理工大学电气工程学院, 上海 200093)

(2 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要 为满足扫描成像系统对图象配准精度,从理论上分析了在等时间采样方式下,遥感仪器对扫描系统速度稳定度的要求.探讨了等角度这一新型采样方式应用于未来遥感仪器的可行性.并将这两种采样方式成功应用于自行研制的短波红外成像仪.扫描图象表明等角度采样可以避免等时采样所产生的图象畸变.

关键词 等时间采样;等角度采样;扫描成像系统

中图分类号 TN215 **文献标识码** A

0 引言

整个遥感过程,如何准确无误地获取所需要的有意义的图象(地面的或大气的)信息是整个遥感工作的核心.为了尽可能减少图象失真,人们做了大量的工作,其中扫描采样系统运行的稳定性和采样方式仍是制约获取高度准确的遥感图象的关键技术难点之一^[1].

采样系统的采样方式一般可分为均匀采样和非均匀采样.由于采样过程总是与时间和空间紧密联系,故相应的就有均匀时间间隔和非均匀时间及均匀空间与非均匀间隔采样方式.系统采用什么样的采样方式要根据具体情况确定.对于扫描成像系统而言,为了减少图象的几何失真,通常采用均匀间隔采样方式^[2].

1 等时采样方式分析

目前的遥感仪器几乎都是采用均匀空间间隔的方式采样,这种方式可通过不同的方法来实现.目前多采用等时的时钟信号作为采样保持器的控制信号来实现,这种采样技术称为等时采样.这种采样方式要求扫描镜(被采样物体)以严格等(线)速度运动时,扫描镜(被采样物体)在相等的时间内移过相等的角度(路程).这是目前各种装有采样设备的仪器上普遍采用和认同的做法.但如果要将这种方法能够应用于扫描成像系统,其前提条件是要求扫描系统具有($10^{-7} \sim 10^{-3}$,随系统的不同变化)的扫描线性度.该采样方式如果应用在对图象配准和保真度较高的系统中,对扫描系统扫描线性度的要求必

将不同.

由于遥感成像系统所要求的图象配准精度通常为 $1/5 \sim 1/3$ 象元,当系统采用等时间间隔信号控制采样即等角度采样,单元或线列探测器接收图象时,如图1、如图2.

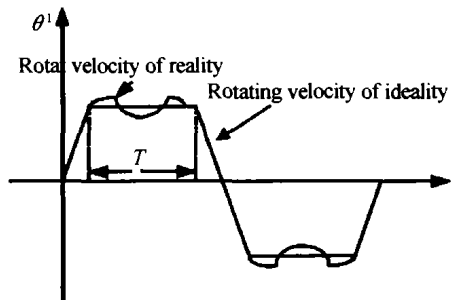


图1 扫描镜转速-时间特性曲线
Fig. 1 Rotate speed to time curve of scanning lens

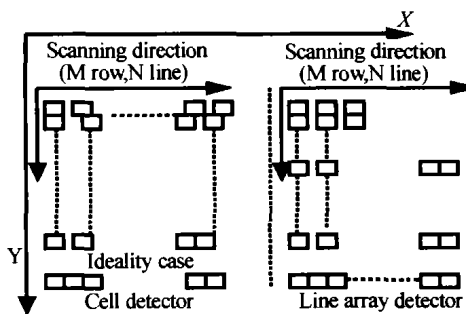


图2 扫描线性度不良的结果
Fig. 2 Diagram of scanning linearity error

设每行的采样次数为 M ,成像系统的总有效视场为 θ ,瞬时视场为 θ ,行扫周期为 T .在扫描方向上(设在垂直扫描方向的配准精度仅由扫描系统本身的定位精度决定)相邻两像元间允许的速度变化 $\Delta\dot{\theta}$ 应满足

$$\int_{(N-1)\frac{T}{M}}^{N\frac{T}{M}} \Delta\dot{\theta} \leq \frac{1}{5}\theta \sim \frac{1}{3}\theta \quad (N=1,2,\dots,M) \quad (1)$$

考虑最简单的 $\Delta\dot{\theta}$ 与时间无关的情况,扫描镜为平面反射镜,于是,扫描镜的转动速度应为允许速度的 $1/2$,则

*中国科学院知识创新项目资助(NO:070710)和上海理工大学博士启动项目资助(NO:X447)
Tel:021-64333625 Email:jianxz@yahoo.com.cn
收稿日期:2004-01-05

$$|\Delta\dot{\theta}| \leq \frac{M\theta}{10T} \sim \frac{M\theta}{6T} \quad (2)$$

式(2)成立的条件是扫描控制系统具有足够大的转速变化分辨率(不小于 $|\Delta\dot{\theta}|$)和足够快的速度调节灵敏度(能够在小于 T/M 的时间内对转速实施矫正). 由于

$$M = \frac{\Theta}{\theta} \quad (3)$$

代入式(3)得

$$|\Delta\dot{\theta}| \leq \frac{\Theta}{5T} \sim \frac{\Theta}{3T} = \frac{C}{10} \sim \frac{C}{6} \quad (4)$$

$$\text{式(4)中记: } C = \frac{\Theta}{T}$$

如果考虑系统在扫描过程中存在误差的累积效应, 为了达到成像系统的图象配准精度, 就要求扫描系统在运行过程中应具有良好的等角速性. 即扫描系统应具有良好的扫描线性度, 此时, 理想的情况应是扫描镜转过的角度应随时间作线性变化. 在扫描机构在扫描过程中的线性度不佳, 其转速有一定的变化的情况下, 为了保证每一扫描行的最后一个象元的配准达到 $1/5 \sim 1/3$ 象元的精度, 由式(1)可得

$$\int_{T-T/M}^T d\dot{\theta}(t) dt \leq \frac{1}{5}\theta \sim \frac{1}{3}\theta \quad (6)$$

如假设扫描镜作匀变速运动, 扫描镜为平面镜, 则

$$\int_{T-T/M}^T d\dot{\theta}(t) dt \leq [C + \ddot{\theta}(T - \frac{T}{M})] \frac{T}{M} + \frac{1}{2}\ddot{\theta}(\frac{T}{M})^2 - C \frac{T}{M} \leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6})\theta \quad (7)$$

式中 $\ddot{\theta}$ 为扫描镜的加速度.

考虑后面两项

$$[(C + \ddot{\theta}(T - \frac{T}{M})) + \frac{1}{2}\ddot{\theta}(\frac{T}{M})^2 - C \frac{T}{M}] \leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6})\theta, \text{化简左边}$$

$$[C + \ddot{\theta}(T - \frac{T}{M})] \frac{T}{M} + \frac{1}{2}\ddot{\theta}(\frac{T}{M})^2 - C \frac{T}{M} = C \frac{T}{M} + \ddot{\theta}(T - \frac{T}{M}) \frac{T}{M} + \frac{1}{2}\ddot{\theta}(\frac{T}{M})^2 - C \frac{T}{M} = \Delta\dot{\theta}(T - \frac{T}{2M})$$

于是

$$\Delta\dot{\theta}(T - \frac{T}{2M}) \leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6})\theta \quad (8)$$

设 δ 表示扫描系统的稳定度, 则

$$\delta = \frac{\Delta\theta}{C} \leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{2M\theta}{(2M-1)TC} = (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{2}{(2M-1)}$$

当 $M \gg 1$ 时上式可简化为

$$\delta \leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{1}{M} = (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{\theta}{\Theta} \quad (9)$$

可见图象要求的配准精度和成像系统的总视场及瞬时视场决定了扫描系统必须达到的转速稳定度. 系统的瞬时视场 θ 越小, 总有效视场为 Θ 越大, 扫描系统的转速稳定度要求也越高. 例如对于瞬时视场为 $5''$, 总有效视场为 17.4° 的成像系统, 其扫描系统的速度稳定度由式(7)得

$$\delta \leq (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{1}{M} = (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{\theta}{\Theta} = (\frac{1}{10} \sim \frac{1}{6}) \frac{5}{17.4 \times 3600}$$

$$\delta \leq (7.98 \times 10^{-6} \sim 1.33 \times 10^{-5})$$

由此可见, 即使瞬时视场增大(如 $10''$), 在等时信号的控制下的扫描采样方式对扫描系统理想状态下的转速稳定度的要求仍小于 10^{-5} . 达到这样的速度稳定度对于目前的电机控制技术而言已极为困难. 分析表明, 采用以等时钟控制系统采样的工作方式不但会引起图象失真, 而且在电机控制技术上也难以满足系统对图象配准精度的要求. 这表明目前电机控制技术下的等时采样控制技术是无法满足未来遥感仪器成像要求的, 因此必须采用另外的方法和技术.

2 等角度采样方式的可行性分析

为了使成像系统在现有的条件下实现高质量的成像, 人们不得不采用以角度脉冲信号控制系统的采样的工作方式. 下面对等角度采样方式的可行性分析如下.

首先, 理论上, 采样系统的采样方式一般可分为均匀采样和非均匀采样. 由于采样过程总是与时间和空间紧密联系, 故相应地就有均匀时间间隔和非均匀时间间隔及均匀空间间隔(角度)和非均匀空间间隔(角度)采样等采样方式. 实现均匀空间间隔(角度)采样的第一种方法是由时钟信号控制采样, 采用这种方式的前提条件就是系统匀速运行. 这是目前的遥感仪器中普遍采用的采样控制技术. 第二种方法就是直接采用由角度计量系统给出的等角度信号控制采样. 理论上等角度采样控制方式工作的扫描系统, 由于系统的采样位置与采样时刻无关, 因此与扫描系统的转速无关, 所以无论扫描系统的速度稳定性如何都能获得均匀的空间采样. 图3是两种方法的比较.

实现等角度采样的前提条件是要能够为系统提供高分辨率和高精度的角度计量系统. 近年来, 由于计量技术手段与方法的发展和提高, 已使得目前

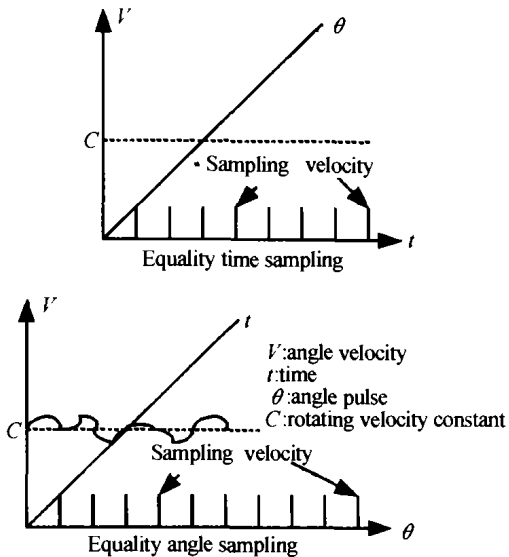


图3 等时与等角度采样比较
 Fig.3 The comparatively of equality time sampling and equality angle sampling

的角度计量系统的精度小于1", 而分辨率已超过0.05", 重复性小于0.1". 而且, 如果将激光技术应用到航天仪器的角度计量系统中, 上述指标还可以得到大幅度提高. 这表明目前的计量技术水平已完全能够满足未来成像系统对图像等定位精度的要求. 因此从理论上和实践上, 等角度采样控制扫描系统的工作方式在目前的技术条件下是可行的.

3 两种采样方式的实验研究

为了验证上述结论的正确性, 我们设计了短波红外成像仪. 该短波红外成像仪由光学、机械、电子学系统等部分组成. 为了在瞬时视场小于总视场的情况下获得一幅完整的图像, 系统必须对成像景物进行扫描. 因此, 短波红外成像仪主要由扫描系统(光机扫描、电子扫描)、成像光学系统及相应的信号处理与控制等分系统组成其结构框图^[3]见图4为

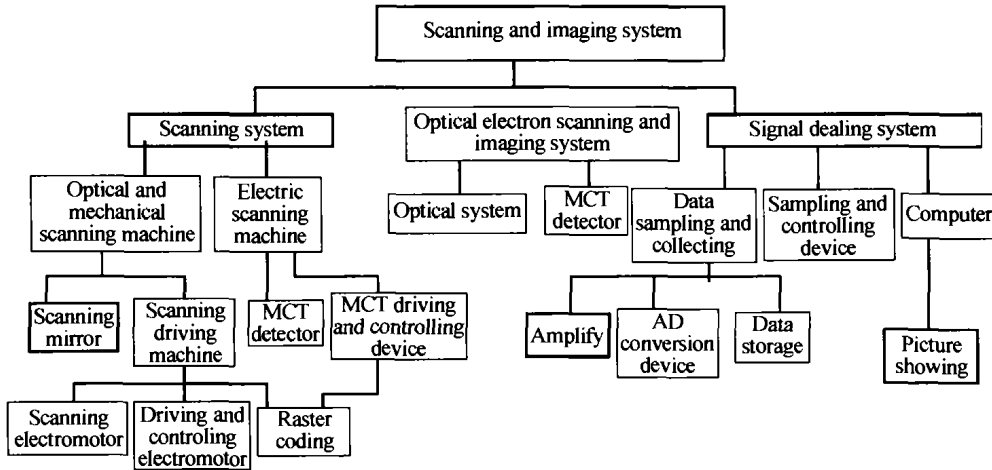


图4 短波红外成像仪结构
 Fig.4 Diagram of IRFPA scanning system

短波红外成像仪由扫描成像平台、扫描采样系统控制器及PC机等部分组成. 其中的扫描系统由光机扫描机构和电子自扫描机构组成, 光机扫描部分主要由扫描镜、扫描镜驱动电机及其驱动控制系统如光栅编码器等组成; 电子自扫描部分由短波红外长线阵列MCT探测器及其驱动控制组成的自扫描等机构组成.

在短波红外成像仪中, 我们设计的扫描采样控制系统可以由角度和时钟信号相互转换的采样控制器, 因此可以方便地进行两种采样方式控制下的成像实验切换, 用该短波红外成像仪得到了两种控制方式下在相同的扫描线性度, 扫描周期为4秒情况下的野外成像见图5、图6.

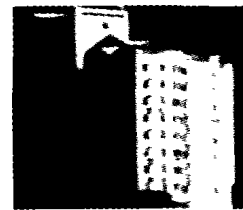


图5 等角度信号控制下的野外成像
 Fig.5 Out-room picture of equality angle sampling scanning

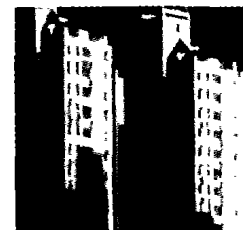


图6 等时间信号控制下的野外成像
 Fig.6 Out-room picture of equality time sampling scanning

4 结论

从等角度和等时间两种控制方式下的野外成像系统表明,在等时间信号控制下的野外成像图在扫描周期为 4 秒时,已经产生了图象畸变(图象已经发生了压缩),而等角度信号控制下的野外图象没有发生图象畸变.这说明等角度信号进行采样控制可以避免用等时钟信号控制所产生的图象畸变.因此,为了满足未来成像系统对图像等定位精度的要求,等角度扫描采样控制信号将在未来的遥感仪器中发挥越来越大的作用.

参考文献

- 1 拜丽萍. 一种新的基于场景的红外焦平面阵列非均匀性校正算法. 光子学报, 2004, 33(1): 109 ~ 112
Bai L P. *Acta Photonica Sinica*, 2004, 33(1): 109 ~ 112
- 2 Wang Guifu. The research of uniform angle sampling theory in A scanning and imaging system. The doctor thesis of Shanghai Institute of technical Physics, Academia Sinica, 2001. 22 ~ 30
- 3 Jian Xianzhong, Pei Yuntian, Sun Shengli. An MCT1024 IRFPA Imaging Sensor. *Laser & Infrared*, 2001, 31(5): 284 ~ 286

Study of A Scanning and Imaging System Based on Uniform Angle Sampling and Uniform time Sampling Technology

Jian Xianzhong^{1,2}, Zhang Huiling¹, Wang Zhaoli¹, Pei Yuntian²

1 College of Electric Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 20093

2 Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, Shanghai 200083

Received date: 2004-01-05

Abstract In order to meet the precision of picture nicely in scanning and imaging system, uniform time sampling technology is discussed in theory. It is discussed that if new sampling technology of uniform angle can be used in the future sensing instrument. Two sampling technologies have been used in an IRFPA instrument successfully, the pictures of scanning system are reported that uniform angle sampling technology can be avoided to make picture distorted.

Keywords Uniform angle sampling; Uniform time sampling; Scanning and imaging system

Jian Xianzhong was born in 1969 in Hunan province. He received doctor degree in 2003 from Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica. His research interests include infrared image, computer control and DSP design.

