

# 静止气象卫星 VISSR 在轨调焦的一种方法

朱广贻 魏彩英

(国家气象局国家卫星气象中心, 北京, 100081)

**摘要:** 根据傅里叶光学中调制传递函数的理论分析了可见、红外自旋扫描辐射计 (VISSR) 成像光学系统的性质, 并提出调焦的判据和方法. 利用快速傅里叶变换 (FFT) 对卫星数字云图进行频谱分析, 并给出了该方法的实验和结果. 接收日本 CMS-4 卫星展宽数字云图的试验表明, 本方法可以作为静止气象卫星 VISSR 在轨调焦的实用方法.

**关键词:** 静止气象卫星, VISSR, 调焦.

## 引言

静止气象卫星在运行期间, 地面需要对轨道上的可见、红外自旋扫描辐射计 (VISSR) 的聚焦情况予以监视. 当光学系统离焦到一定程度时, 应通过地面遥控指令对 VISSR 光学系统进行控制, 实现焦距调准, 保证图像质量. 各国静止气象卫星 VISSR 都设有调焦机构, 而却没有见到调焦方法的介绍. 单凭眼睛观看图像来判断是否离焦常带有主观性, 为此, 我们用光学中传递函数的理论对辐射计的光学系统进行分析, 提出了调焦的客观判据. 对 VISSR 信号作出频谱分析, 给出一种 VISSR 在轨调焦的实用方法和模拟实验的结果.

## 1 理论分析与离焦的判据

卫星在发射之前, VISSR 作为成像光学系统, 其成像质量应调整到最佳状态. 在运行期间, 一旦发生离焦, 成像质量就会下降. 因此通过对光学系统成像的像质分析就可能判断离焦的情况, 从而找出离焦的判据, 建立调焦的方法.

客观评价光学系统的像质是近代光学才解决的问题. 应用光学传递函数的概念来评价光学系统, 目前认为是一种客观的方法.

VISSR 对地扫描时, 景物的波谱是随空间频率  $N$  变化的连续函数, 可以将它展开成无穷多个不同振幅和频率的正弦波之和. 如果把物函数考虑为一个简单的正弦波分布, 可

本文 1992 年 6 月 4 日收到, 修改稿 1993 年 4 月 25 日收到.

以证明以下结论：对于物面具有某一空间频率  $N$ ，亮度为正弦的分布，经过线性光学系统成像仍然是同一空间频率  $N$  的正弦分布，只是像的调制度降低  $T(N)$  倍。设像与物的调制度分别为  $M(N)$  和  $M_0(N)$ ，则：

$$M(N) = T(N) \cdot M_0(N), \quad T \leq 1 \quad (1)$$

式(1)中  $T(N)$  为光学系统的调制传递函数 ( $MTF$ )，是像的调制度与物的调制度之比，代表光学系统对调制度的传递能力。

为保证 VISSR 光学系统具有较高的  $MTF$ ，其像差应进行最佳设计与仔细调整。对于已经安装好的一台 VISSR，其光学系统的像差已经固定，在其它条件不变的情况下，一旦离焦， $MTF$  减小，调制度  $M$  下降，因而图像的高频分量减少，图像模糊；因此，图像的高频分量可作为离焦的判据。

## 2 调焦方法

### 2.1 方法

接收到的地物信号经傅氏变换得到其频谱。通过高通滤波，在幅值曲线上统计出高频分量，比较调焦前后高频分量的大小即可以判断调焦正确与否。这样的过程可全部在微机上实现。

用  $f(x)$  表示在一条扫描线或一条扫描线的某段区间上云图的灰度变化。 $f(x)$  在区间上连续，满足傅氏变换的条件。实际上，静止气象卫星展宽云图的信号已经数字化，所以考虑离散空间信号，求取离散空间的离散傅里叶变换。

$$F(N) = \sum_{x=0}^{m-1} f(x) \exp \frac{-i \cdot 2\pi N x}{m}, \quad 0 \leq N \leq x-1 \quad (2)$$

反变换

$$f(x) = \frac{1}{m} \sum_{N=0}^{m-1} F(N) \exp \frac{i \cdot 2\pi N x}{m}, \quad 0 \leq x \leq m-1 \quad (3)$$

把空间域的原函数  $f(x)$  解析为频率域的谱函数  $F(N)$ ，即得到扫描线的频谱。式中  $x$  表示像元的位置序数， $N$  为空间频率， $m$  为离散点数，即变换长度。

我们采用快速傅里叶变换方法，计算中要求  $m$  为 2 的整数幂，即  $m = 2^\gamma$ 。  $\gamma = 1, 2, 3, \dots$

我们提出的调焦方法是统计高通滤波频率  $N_0$  以上的  $F(N)$  之和，即  $\sum_{N=N_0}^{m-1} F(N)$ 。为方便起见，令  $\sum F = \sum_{N=N_0}^{m-1} F(N)$ ，调焦时，反复比较调焦前后的  $\sum F$  值的增减，当  $\sum F$  值取得最大或接近最大值时，即认为已达到调焦目的。

### 2.2 调焦流程

光学、电子学以及天气等多方面的因素都可能造成云图图像模糊，应对引起云图像质下降的各种因素进行分析，作出判断与对策，方能进行调焦。调焦中一般采用单线扫描方式，其调焦流程见图 1。

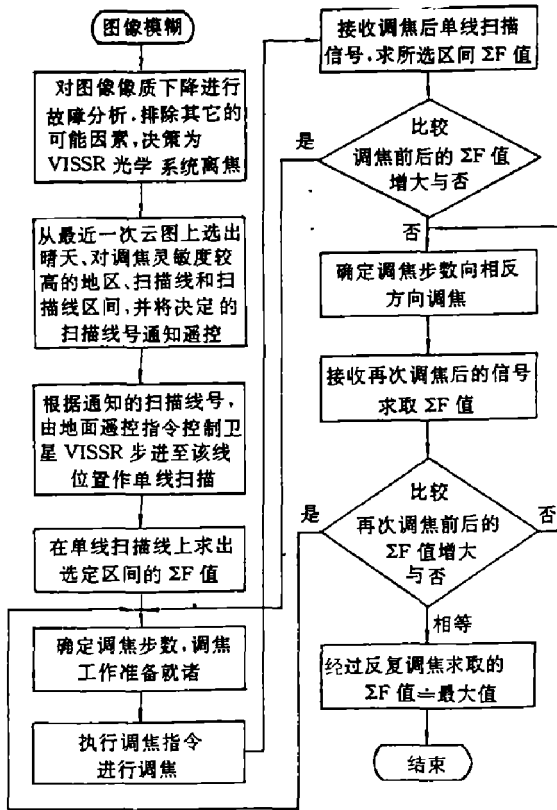


图 1 VISSR 调焦流程

Fig. 1 VISSR focusing flow diagram

### 3 模拟实验与结果

#### 3.1 实验

本工作是在微机上完成的. 系统设备如图 2 所示. 所使用的软件具有以下功能: (1) 可快速选取云图上任意一条扫描线; (2) 在一条扫描线上可快速任意选取起始与终了的像元序数, 并显示其数值. 即区间可以任选; (3) 可立即统计出在某频率  $N_0$  之上 (即经过高通滤波) 的  $\sum F$  的值. 并在系统显示器上显示, 以便在调焦前后作比较; (4) 为方便选取有用区间, 在云图上可同时显示所选扫描线的灰度曲线; (5) 为观察方便起见, 在显示屏上可选择部分地区的放大图.

在云图上, 海面、沙漠或是均匀的下垫面地区的空间频率起伏很小, 难以进行离焦分析. 对于海陆交界、岛屿等景物突变地区, VISSR 输出的视频信号起伏较大, 高频分量丰富, 有利于调焦判断.

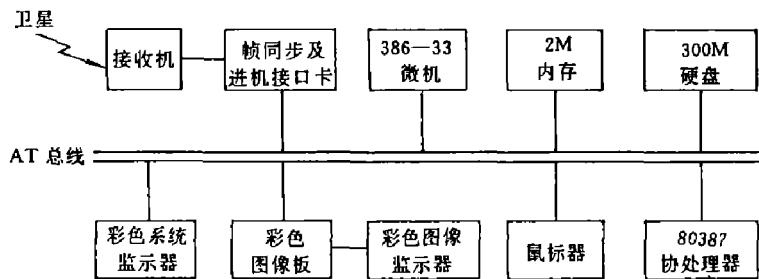


图 2 系统设备

Fig. 2 The system equipment

我们接收了日本 GMS-4 静止气象卫星的展览云图. 在云图上选择晴天地物目标清晰的岛屿为对象进行试验. 在不同季节地面上的景物清晰程度变化很大. 一般说来, 冬季的北半球图像较为模糊, 南半球图像较为清晰. 夏季则相反. 我们在不同季节选择了有利地区的一些半岛进行实验.

#### 3.2 结果

通过模拟实验发现有如下规律:

- (1) 在云图上, 当选择一条扫描线上的某区间作  $\sum F$  统计时, 发现将这区间沿南北方

向移动时可找出  $\sum F$  值为最大的某一特定扫描线. 以这种特征扫描线可取得作为最灵敏的调焦状态.

(2) 对所选出的特征扫描线, 在连续两张云图上 (即一小时间隔) 作以上的实验, 如观察不出其位置变化, 即认为具有一定的稳定性. (由于卫星姿态与轨道的变化, 实际对应地面位置是不严格一样的). 我们可以事先选择好地球上不同地区的特征线的位置以便在不同季节和不同天气状况下选择使用.

(3) 当选择一条扫描线上的某区间作  $\sum F$  统计时, 若左右移动一个象素, 其  $\sum F$  值都能反应出变化, 说明所使用的方法具有相当高的灵敏度.

(4) 采用低通滤波方法对云图进行平滑处理, 人为地使云图模糊 (即相当于 VISSR 离焦情况下产生的云图). 当人眼可察觉云图模糊时,  $\sum F$  值显著减小.

(5) 对该方法操作熟练以后, 统计  $\sum F$  值的每一过程所需时间仅 10s 左右. 若事先固定好已选区域, 只要按下键盘上的作用键, 屏幕上即显示出  $\sum F$  值.

虽然我们进行的是模拟实验, 但是从 VISSR 离焦而产生图像模糊的效果来说模拟实验结果与实际情况是一致的. 所以本方法具有实用性. 以上实验结果表明所采用的方法具有灵敏度高, 速度快, 操作方便灵活等优点, 可以作为静止气象卫星 VISSR 在轨调焦的一种实用方法. 该方法及其设备并可用于卫星发射前的调焦对接试验.

#### 参考文献

- 1 张幼文. 红外光学工程, 上海: 上海科学技术出版社, 1982, p.293~396
- 2 麦伟麟. 光学传递函数及其数理基础, 北京: 国防工业出版社, 1979, p.1~47
- 3 孙仲康, 沈振康. 数字图像处理及其应用, 北京: 国防工业出版社, 1985, p.91~101
- 4 Goodman JW. *Introduction to Fourier Optics*, New York: McGraw-Hill, 1968, p.101~139

## A METHOD OF FOCUSING CONTROL FOR VISSR OF THE GEOSTATIONARY METEOROLOGICAL SATELLITE ON THE ORBIT

ZHU GUANGZE, WEI CAIYING

(National Satellite Meteorological Center, SMA, Beijing 100081; China)

**Abstract:** Based on the theory of *MTF* in optics, the features of VISSR optical imaging system are analyzed. A criterion and a method for VISSR focusing are proposed and the experiment and the results for the frequency analysis method using *FFT* through receiving stretcher digital images of the Japanese GMS-4 satellite are given. The tests show that the method developed in this paper would be useful and practical for VISSR focusing control of the geostationary meteorological satellite on the orbit.

**Key words:** geostationary meteorological satellite, VISSR (visible-infrared spin scan radiometer), focusing control.