

# FY-2 和 GMS-5 红外通道遥感图像质量的功率谱分析\*

谷松岩 范天锡

(国家卫星气象中心,北京 100081)

## 提 要

根据遥感图像功率谱的性质,对比分析了 FY-2 和 GMS-5 扫描辐射计红外通道的图像质量. 计算结果表明, FY-2 红外通道遥感图像功率谱各分量之和不低于 GMS-5 红外 A 通道遥感图像的功率谱各分量之和. 数值模拟试验的结果表明, FY-2 红外通道的图像质量大体上与 GMS-5 红外 A 通道的图像质量相当.

关键词: 红外通道 图像质量 功率谱

## 引 言

星载遥感仪器的图像质量直接取决于遥感仪器的光学特性,同时受图像对比度、仪器噪声等多种因素的影响<sup>[1]</sup>. 了解气象卫星遥感图像的质量是利用它进行天气分析和应用研究的基础. 目前,对遥感图像质量的考察,常用的方法有目视对比分析法、调制传递函数分析法(MTF)和频谱分析法等. 其中 MTF 方法是把光学系统看成空间频率滤波器,作为与振幅相关的空间频率响应而定义的,它相当于对象点进行傅里叶变换. 图像的调制度、对比度和密度之间有一定的关系,通常从 MTF 的曲线中可以求出在一定对比度下图像空间分辨率的大小. 频谱分析法将图像所包含的空域信息转化成频域信息,通过考察高频分量的增减情况来对比分析遥感图像质量的相对优劣.

图像功率谱综合反映了图像的纹理特征,一般来说,当图像质量下降,高频分量丢失的同时会使图像的纹理结构变模糊,致使图像功率谱各分量之和有所下降. 因此可借助图像功率谱分析来完成 FY-2 遥感图像的质量监测工作. 下面概括了在轨测试期间对 FY-2 红外通道和 GMS-5 红外 A 通道所作的图像质量监测对比分析结果.

## 1 FY-2 扫描辐射计红外通道成像原理及特性

FY-2 对地遥感观测时,通过主镜、次镜和扫描镜,使来自地球大气系统的红外辐射进入红外探测器,红外信息被量化成 256 个等级,其星下点视场为  $160 \mu\text{rad}$ ,相当于 5 km.

\* 本项工作得到国家重点研究项目天气灾害研究 04 课题的资助.

1998-04-06 收到,1998-07-15 收到修改稿.

FY-2 的扫描辐射计光学系统可近似看作是线性系统,扫描辐射计成像后,在像面上形成一弥散斑. 此时的光强分布不仅与物的位置  $(X, Y)$  有关,还与像斑的位置  $(\zeta, \eta)$  有关. 可用点扩散函数  $h(\zeta, \eta; X, Y)$  来描述.  $h$  函数综合反映了光学系统因衍射和像差等因素而引起的强度扩散效应.

设地物辐射强度分布函数为  $O(X, Y)$ , 像的辐射强度分布函数为  $I(\zeta, \eta)$ , 则经过扫描辐射计光学系统所成的像为物函数与点扩散函数的卷积:

$$I(\zeta, \eta) = O(X, Y) * h(\zeta, \eta; X, Y) \quad (1)$$

地物经扫描辐射计成像的过程将使目标图像的调制度发生变化,并且这种变化具有频率选择性. 如果地物的亮度分布为简谐振动,经扫描辐射计成像后,像为相同频率的简谐振动,但像的调制度变化了  $T$  倍:

$$MI = T \times MI_0 \quad (2)$$

其中  $MI_0$  为地物图像的调制度,  $MI$  为扫描辐射计所成图像的调制度.  $T$  为调制传递函数(MTF).

扫描辐射计光学系统成像质量降低后,会使图像的调制度下降,图像的高频分量减小,致使遥感图像功率谱各分量之和下降.

## 2 遥感图像质量

### 2.1 图像功率谱的计算

假设图像函数为  $f(x, y)$ , 在离散情况下  $\hat{f}(x, y)$  二维傅里叶变换为<sup>[2]</sup>:

$$\hat{F}(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \hat{f}(x, y) \exp[-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})] \Delta u \Delta v \quad (3)$$

其中  $M$  为  $x$  轴方向上的样点个数;  $N$  为  $y$  轴方向上的样点个数,  $u = 0, 1, 2, \dots, M-1$ ;  $v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ . 图像的功率谱为:

$$|\hat{F}(u, v)|^2 = \hat{F}(u, v) F^*(u, v) \quad (4)$$

$F^*$  为  $\hat{F}$  的共扼复数. 离散图像功率谱各分量之和为:

$$Sum = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |\hat{F}(u, v)|^2 \Delta u \Delta v \quad (5)$$

其中  $|\hat{F}(u, v)|^2$  为图像的功率谱.

两颗卫星遥感图像之间进行质量对比分析时可直接借助图像功率谱各分量之和. 当监测同一卫星遥感图像质量随时间的变化时,需要与标准图像的功率谱进行比较分析,可用下列系数作为一种尺度:

$$r = Sum / \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |\hat{F}_B(u, v)|^2 \Delta u \Delta v \quad (6)$$

其中分母为标准图像的功率谱各分量之和. 标准图像需要从历史资料中选择最清晰的、质量最好的图像,所选出的标准图像应该经专家认同.

上述方法对于线性系统适用,非线性系统则不适用. 模拟计算和实际计算时首先将二维( $128 \times 100$  个像素)图像资料行与行之间首尾相接,组成序列  $R(n)$ . 用周期图法来完成数字图像的功率谱计算,其基本算法如下:

假设序列为  $\{R(n), 0 \leq n \leq Num - 1\}$ ,  $Num$  为  $R(n)$  序列的总长度. 首先把序列分成长度为  $L$  的  $K$  个重叠子序列(重叠部分包括  $L/2$  个数据点),  $K = [(Num - L/2)/(L/2)]$ . 第  $i$  段子序列定义为  $R_i(m) = R(i \cdot L/2 + m) \cdot W(m)$ ,  $m$  为数据在第  $i$  个子序列中的序号,  $0 \leq m \leq L - 1, 0 \leq i \leq K - 1$ . 其中:  $W(m)$  为  $L$  个点组成的窗函数, 可选择矩形窗或汉明窗. 经窗采样处理后, 用快速傅里叶算法实现傅氏变换.

设  $j$  为功率谱分量序号, 则由修正周期图  $S_i(j) = |R_i|^2$  可以得到功率谱估计  $P(j) = \frac{1}{K \times U} \sum_{i=0}^{K-1} S_i(j)$ , 其中  $U = \sum_{m=0}^{L-1} W^2(m)$ ;  $1 \leq j \leq 129$ ,  $j$  代表了遥感图像功率谱的谐波次数,  $j = 1$  为一次谐波,  $j = 2$  为二次谐波,  $j = 0$  为遥感图像功率谱的基波.  $K$  的含义同前, 为重叠序列的总个数.

### 2.2 利用图像功率谱监视遥感图像质量的数值模拟试验

模拟试验在由  $128 \times 100$  个像素组成的矩形区域中进行, 区域中有一宽度为 10 个数据组成的竖条, 其值为 10, 其余各点数值为 0; 用形如图 1 的高斯函数( $h$ )来模拟调制函数, 高斯函数与原函数的卷积用来模拟扫描辐射计的成像过程, 当高斯函数的半值宽度  $\sigma$  (单位为一个象元尺度, 下同.) 逐渐增加时, 取样后的图像质量降低.

图 2 是高斯函数半值宽度  $\sigma$  与经高斯函数取样后图像功率谱各分量之和  $S$ (dB) 的关系图. 从图 2 中可以看到: 当  $\sigma < 0.2$  时,  $\sigma$  的增大并没有引起图像功率谱各分量之和的明显下降, 这意味着经高斯函数取样后, 图像的质量并没有明显的衰退; 但当  $\sigma > 0.2$  时,  $\sigma$  的增大使取样后图像功率谱各分量之和明显下降. 此时, 邻近象元对取样象元的影响逐渐加大. 观测到的能量已不仅仅局限在取样象元, 而是把周围象元的能量也采集到了. 模拟试验中的样条与背景间的计数值的变化已不是 10 到 0, 而是变成由 10 逐渐到 0. 图像的高频信息已经丢失, 样条的边缘变模糊, 图像的质量有了明显的下降. 功率谱各分量之和反映出了图像质量的变化.

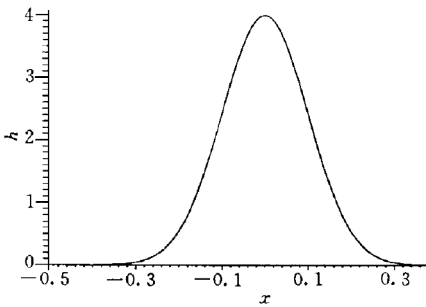


图 1 高斯函数图像

( $x$  轴单位为一个象元尺度  $h$  为高斯函数值)

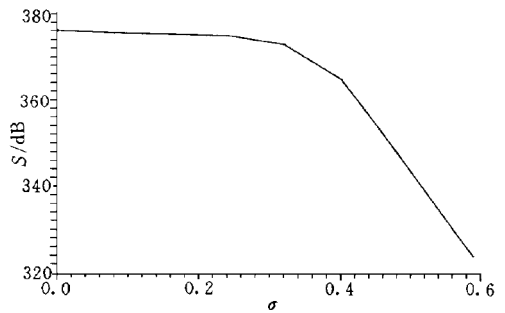


图 2  $S$ - $\sigma$  分析图

### 2.3 FY-2 和 GMS-5 红外通道图像质量对比分析

FY-2 和 GMS-5 两颗星的定点经度不同, 分析两颗星红外通道的图像质量时, 在两颗星中间区域  $120^\circ \sim 122^\circ E$  中挖取分析区. 为避免云干扰的影响, 分析区选择在晴空区中, 大小为  $128 \times 100$  个像素. 图 3 是 FY-2 和 GMS 在澳大利亚西北海岸和中国西南沿海

(1998 年 3 月 31 日 13:00 北京时,下同)以及辽东湾(1998 年 4 月 2 日 13:00)特征分析区的功率谱分析结果.一般在气象卫星图像的晴空区中,反差最大处为水陆分界线.当星载遥感仪器的性能指标下降时,图像的高频分量丢失,水陆分界线将变得模糊,据此可以有效地监视遥感图像的质量.

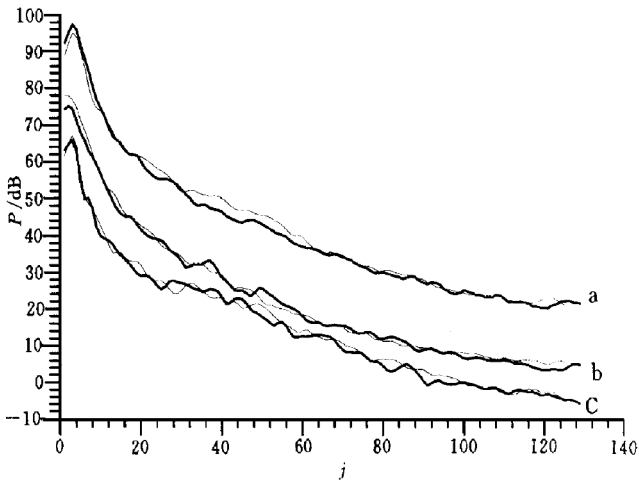


图 3 FY-2(粗线)和 GMS-5(细线)图像功率谱分析结果  
(横坐标  $j$  为功率谱分量序号,纵坐标  $P$  为功率谱值;a、b、c 分别代表特征分析区澳大利亚西北、辽东湾及中国西南沿海)

表 1 功率谱各分量之和的分析结果(dB)

特征分析区	FY-2	GMS-5	F-G
澳大利亚西北	4535.572	4575.552	-39.980
辽东湾	2967.635	2997.703	-30.078
中国西南沿海	1906.333	1978.509	-72.176

表 1 给出图 3 的 3 个特征分析区中功率谱各分量之和的分析结果.从图 3 和表 1 可以看到,辽东湾特征分析区与其它两个分析区功率谱的分布形式在低频区略有不同,没有出现明显的尖峰结构,这一差异主要是由各个分析区中地表特性的差异造成的.

在 3 个不同的分析区和 2 个不同的时刻,FY-2 和 GMS-5 功率谱的分布形式大体一致,但 FY-2 各分量之和略低于 GMS-5 各分量之和.中国西南沿海特征区,FY-2 图像功率谱各分量之和比 GMS-5 低约 72 dB;澳大利亚西北特征区,FY-2 图像功率谱各分量之和比 GMS-5 低约 39 dB;辽东湾特征分析区,FY-2 图像功率谱各分量之和比 GMS-5 低约 30 dB.但差别不大.由此可知它们的图像质量大体相当.

### 3 结束语

遥感图像质量的考察是件复杂的事情,同时又是监视星上遥感仪器工作状况的一个

重要指标. 在本文的分析中, 通过两幅遥感图像功率谱的对比分析, 可以看到 FY-2 红外通道的图像质量大体上与 GMS-5 红外 A 通道的图像质量相当. 为监视 FY-2 气象卫星星上仪器工作状态和卫星资料的应用, 提供了基本依据.

### 参 考 文 献

- 1 [日]遥感研究会编. 遥感精解. 刘勇卫, 贺雪鸿译. 北京: 测绘出版社, 1993. 26~36.
- 2 吴健康. 数字图像分析. 北京: 人民邮电出版社, 1989. 158~188.

## POWER SPECTRUM ANALYSIS ON THE IMAGE QUALITY OF FY-2 & GMS-5 IR CHANNELS

Gu Songyan Fan Tianxi

(*National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081*)

### Abstract

The image qualities of FY-2 and GMS-5 IR channels are analyzed by means of the image power spectrum analysis. The results show that the sum of the components in the image power spectra of FY-2 IR channel is a little less than that of GMS-5 IR A channel, and based on the results of numerical simulation experiment, it is shown that the image quality of FY-2 IR channel is equivalent to that of GMS-5 IR A channel.

**Key words:** IR channel Image quality Power spectrum