

风云二号气象卫星扫描辐射计可见光通道噪声分析*

谷松岩 范天锡

(国家卫星气象中心, 北京 100081)

1 概率比方法分析原理

概率比方法曾用于我国第一颗极轨气象卫星风云一号在轨测试期间扫描辐射计各通道的噪声分析, 得到了可信的结论. 这里, 我们用它来分析风云二号扫描辐射计可见光通道的噪声.

(1) 量化误差和高斯噪声误差的统计表达式 设 C_x 是所测目标的真值, C_i 是测量值, 如果对此目标做多次测量, 则随机误差 SD 为:

$$SD^2 = \sum P(i/x)(C_i - C_x)^2 \quad (1)$$

式中, $P(i/x)$ 是对 C_x 做测量, 取得 C_i 测值的概率.

对测量值作数字化处理, 如果测值 C_i 量化间隔的大小与 SD 可比, 则问题就复杂化了. 设 C_i 的量化计数值为整数 C_0 , 这时 SD 与 C_x (非整数) 相对于 C_0 的位置有关.

如果只考虑量化误差 ϵ_0 , 设 C_i 取值 C_0 , 则 C_i 或真值 C_x 可处在 $C_0 \pm 1/2$ 的任何地方, 这时:

$$\epsilon_0^2 = \int_{C_0 - 1/2}^{C_0 + 1/2} (C_0 - C_x)^2 dC_x = 1/12 \quad (2)$$

即 $\epsilon_0 \approx 0.29$ 个计数值. 如果只考虑高斯噪声误差 ϵ_σ , 概率分布函数为

$$P(i/x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(C_i - C_x)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

式中 σ 为标准差. 这时

$$\epsilon_\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} P(i/x)(C_i - C_x)^2 dC_i = \sigma^2 \quad (4)$$

如果将量化误差与高斯误差一起考虑, 则由真值 C_x 而得到计数值 C_i 的概率为:

$$P(i/x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{C_i - 1/2}^{C_i + 1/2} \exp\left[-\frac{(C - C_x)^2}{2\sigma^2}\right] dC \quad (5)$$

这时:

$$\epsilon_{\delta\sigma}^2 = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{C_0 - 1/2}^{C_0 + 1/2} \sum \int_{C_i - 1/2}^{C_i + 1/2} \exp\left[-\frac{(C - C_x)^2}{2\sigma^2}\right] dC (C_i - C_x)^2 dC_x \quad (6)$$

对式(6)做数值计算时, 可近似表示为

$$\epsilon_{\delta\sigma}^2 \approx \epsilon_0^2 + \epsilon_\sigma^2 = 1/12 + \sigma^2 \quad (7)$$

(2) 高斯噪声的估算方法 一般扫描辐射计可见光通道的外空区, 除了视场偶然有较亮的星, 辐射值可视为零. 在真值 C_x 线性变化的分析区中, 如果取一个计数值为变化周期, 假定 C_x 变化速度不变, 其计数值 C_i 的频数为 $n(0)$, 计数值 C_{i-1} 的频数为 $n(-1)$, 计数值为 C_{i+1} 频数为 $n(+1)$, 测值总数为 N , 则可算出各自的概率为:

$$P(0) = P(i/x) = n(0)/N \quad P(-1) = P(i-1/x) = n(-1)/N$$

* 1998-03-09 收到, 1998-12-25 收到修改稿.

$$P(+1) = P(i+1/X) = n(+1)/N \quad (8)$$

在 C_x 变化速度不变的条件下:

$$P(-1) = P(+1) = \frac{1}{2}P(1) \quad (9)$$

为了由 $P(0)$ 、 $P(1)$ 求出高斯噪声误差 σ , 我们事先制作 σ 和 $P(0)/P(1)$ 比值的查算表. 将式(5)离散化成

$$P(0) = \frac{1}{L \cdot m \cdot \sigma} = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \exp\left[-\frac{(C_{i,j} - C_{xk})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

$$P(1) = \frac{1}{L \cdot m \cdot \sigma} = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m \exp\left[-\frac{(C_{i+1,j} - C_{xk})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (11)$$

式中 $C_{ij} = j/m - 1/2$, $C_{i+1,j} = j/m + 1/2$, $C_{xk} = k/l - 1/2$, $j = 1, \dots, m$.

我们可以得到比值 $P(0)/P(1)$ 对 σ 的查算表, 实际应用时, 可直接查表求算.

2 利用概率比方法分析风云二号扫描辐射计可见光通道的噪声

风云二号成功发射并获取可见光图像后, 我们曾对小范围内海洋和沙漠特征区的观测值进行了分析, 发现在局部区域内测值基本保持不变, 由此可断定, 其噪声水平小于一个计数值. 选用 1997 年 7 月 30 日 12:00 (北京时) 的风云二号资料进行噪声分析. 此时可见光四个通道的增益分别为: 12、11、11、10 级. 风云二号可见光圆盘图北面的大片外空区中分布了从西向东逐渐由强到弱的弥散光, 最终在最东面, 稳定在正常的外空值 0 值上. 弥散光的分布形式和强度特征都很稳定, 最大值为 5, 众数为 3. 我们取计数值从 5 稳定渐变到 0, 由 7000×100 个像素组成的分析区. 将分析区分化成 700 个、每个由 10×100 个像素组成的分析子区, 对可见光四个通道分别求子区的直方图和平均值, 从中可以看到从第 220 到第 400 像素组成的分析子区为线性变化区. 噪声叠加在弥散光之上, 在子区分析中得到的线性区间内, 求概率分布, 频数最大的计数值为 C_i , 其频数为 $n(0)$; 计数值 $C_i - 1$ 的频数为 $n(-1)$; 计数值为 $C_i + 1$ 的频数为 $n(+1)$. 样本总数为 N .

表 1 利用概率比方法分析噪声的结果

	CH1	CH2	CH3	CH4
$P(0)$	0.66051	0.76256	0.75696	0.72633
$P(1)$	0.33693	0.23736	0.24289	0.27346
ϵ_σ	0.43	0.30	0.30	0.34
$\epsilon_{\delta\sigma}$	0.51	0.42	0.42	0.45

注: ϵ_σ 、 $\epsilon_{\delta\sigma}$ 的单位为一个计数值.

表 1 为利用概率比方法对风云二号扫描辐射计所作的噪声分析结果, 由表可见利用概率比方法对风云二号扫描辐射计所作的噪声分析结果略高于仪器上星前的性能指标. 这可能是由于发射过程以及卫星定点后环境的差异对仪器造成影响所致. 风云二号扫描辐射计可见光四个通道的噪声水平不完全一致, 其中通道一(CH1)的等效噪声计数值最大, 为 0.51; 通道二、三(CH2、CH3)的等效噪声计数值最低, 均为 0.42; 通道四(CH4)的等效噪声计数值为 0.45.