

# 星载成像光谱仪地物信息的统计控制

张 斧\*

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要:** 分析了星载成像光谱仪地物信息特征, 提出并实现了一种地物信息统计控制方法. 该方法使系统具有较理想的准确信号量化率与信号数据率; 经计算机数字仿真及电路信号模拟表明: 系统具备快速的控制过渡过程.

**关键词:** 成像光谱仪, 地物信息, 统计控制, 信号量化, 数据压缩.

## 引言

成像光谱仪信源信号量化方法有人工控制、高分辨率量化及程序控制. 人工控制方法较为繁琐, 且对星载仪器无法运用. 高分辨率量化方法虽然直观、简单, 但它对系统的模拟信号量化及信息存贮、记录与传输提出了很高的技术要求<sup>[1~2]</sup>. 程序控制方法所采用的控制算法有多种<sup>[3~4]</sup>, 但它们都只能通过牺牲一定的准确信号量化率来换取较低比特编码所带来的较低信号数据率, 并且控制系统的调整时间太长. 本文通过分析系统接收的地物信息特征, 给出并实现了一种基于统计控制理论的新的程序控制方法. 它可使系统具有较理想的准确信号量化率与信号数据率. 同时, 系统还具备快速的控制过渡过程.

## 1 地物信息特征与分析

星载成像光谱仪可见光、近红外与短波红外波段光谱性能参数见表 1. 对于表 1 光谱范围, 系统探测  $\Delta\lambda$  波段星下点地物目标所获得的信噪比 (SNR) 为

$$SNR = \frac{1}{\pi} A \omega \xi S_0 \tau_a \frac{1}{\Delta\lambda} \sin\theta \rho_{\Delta\lambda} \tau_{a,\Delta\lambda} \tau_{o,\Delta\lambda} \cdot \frac{S_{\Delta\lambda} D_{\lambda_p}^*}{\sqrt{A_d \Delta f}}, \quad (1)$$

式 (1) 中  $A$  为入瞳面积,  $\omega$  为瞬时视场立体角,  $\xi$  为地球大气外日地平均距离处  $\Delta\lambda$  波段太阳辐照度占太阳总辐照度的比例,  $S_0$  为太阳常数,  $\tau_{a,\Delta\lambda}$  为一个相对大气质量的大气平均透过率,  $\theta$  为太阳仰角,  $\rho_{\Delta\lambda}$  为地面目标平均反射率,  $\tau_{o,\Delta\lambda}$  为光学系统平均光学效

本文 1991 年 8 月 20 日收到. 修改稿 1992 年 10 月 28 日收到.

\* 通讯地址: 上海机械学院上海先河光电公司, 上海, 200093.

率,  $S_{\Delta\lambda}$  为探测器平均相对光谱响应,  $D_{\lambda_p}^*$  为探测器峰值波长  $\lambda_p$  归一化探测率,  $A_d$  为探测器面积,  $\Delta f$  为系统等效噪声带宽.

表 1 星载成像光谱仪可见光、近红外与短波红外波段光谱性能参数  
Table 1 Spectral performance parameters for visible, near infrared and shortwave infrared wavebands of the Spaceborne Imaging Spectrometer

光谱范围 ( $\mu\text{m}$ )	光谱分辨率 (nm)	波段数	$NE\Delta\rho$ (%)
0.4~1.04	10	64	1
2.0~2.48	20	24	2

式 (1) 中, 若忽略  $\tau_{a\Delta\lambda}$ 、 $S_{\Delta\lambda}$  的影响, 将它们取常值; 而焦平面各探测元  $D_{\lambda_p}^*$  的不均匀性可通过调整相应的分立前放增益来校正, 这样系统在不同的像元和不同的波段具有不同  $SNR$  的因素只有  $\xi$ 、 $\tau_{a\Delta\lambda}$ 、 $\theta$  及  $\rho_{\Delta\lambda}$ . 令  $K_{\Delta\lambda} = \xi \tau_{a\Delta\lambda}^{(\sin\theta)^{-1}} \sin\theta \tau_{a\Delta\lambda}$ , 其归一化光谱分布曲线见图 1. 式中,  $\xi$  引自文献 [5],  $\tau_{a\Delta\lambda}$  取为中纬度冬季从地面到大气外界垂直透过率 (水平能见度为 23 km)<sup>[6]</sup>,  $\theta = 21.5^\circ$ .

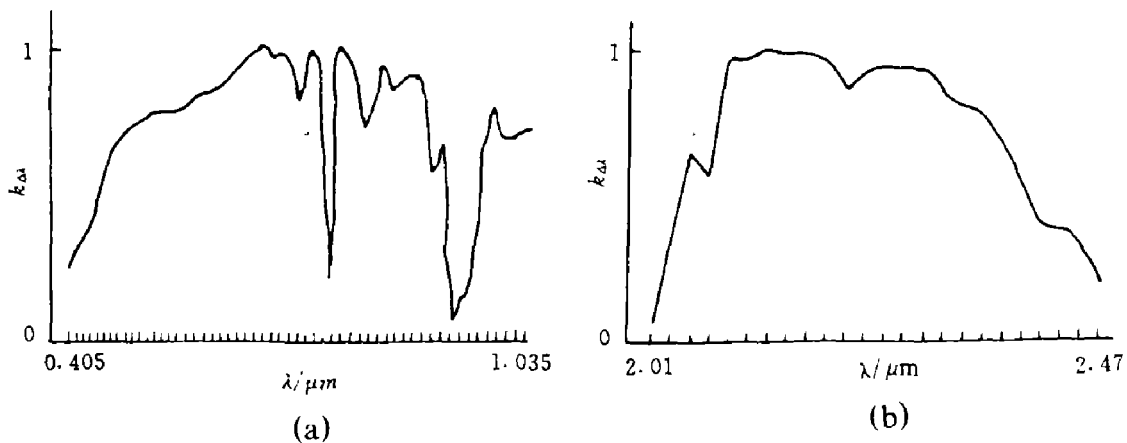


图 1  $K_{\Delta\lambda}$  的归一化光谱分布曲线  
Fig. 1 Normalized spectral distribution curve of  $K_{\Delta\lambda}$

由图 1 可知, 在可见光、近红外光谱范围及短波红外光谱范围,  $K_{\Delta\lambda}$  最大值与最小值之比分别为 18.732 和 16.114.

根据表 1, 对可见光、近红外波段及短波红外波段, 系统要求  $\rho_{\Delta\lambda}$  最大值与最小值之比分别为 100 与 50. 另外, 系统扫描一行地物的时间仅为 37.037 ms, 所以  $\theta$  及  $\tau_{a\Delta\lambda}$  变化不大, 可近似认为是常数. 因此, 在一行地物扫描过程中, 与所有像元相对应的可见光与近红外 64 个波段所产生的信号动态范围为  $18.732 \times 100 = 1873.2 : 1$ , 而对于短波红外 24 个波段则为  $16.114 \times 50 = 805.7 : 1$ .

如果太阳仰角及气象条件发生变化, 则显然要对地物信号动态范围产生很大的影响. 例如,  $\tau_{a\Delta\lambda}$ 、 $\theta$  由图 1 所设情形变成  $\tau_{a\Delta\lambda}$  为在水平能见度为 23 km 的中纬度夏季时的取

值<sup>[6]</sup>,  $\theta = 68.5^\circ$ , 此时的地物信号动态范围将增大成 7342.0:1 及 2369.4:1. 实际应用中, 由于太阳、大气传输及系统性能等各种因素的综合影响, 系统接收到的地物信号动态范围将有可能比上述由两组典型参数所估算出来的取值还要大.

由此可见, 对于如此之大的地物信息动态范围, 系统要获得高的准确信号量化率与低的信号数据率是一对矛盾. 然而, 通过对式 (1) 的分析可发现, 尽管地物信息总的动态范围非常大, 但在一行地物扫描过程中, 对于某个波段的信号, 其动态范围仅取决于各像元地物反射率  $\rho_{\Delta\lambda}$  的变化, 对可见光与近红外波段是 100:1, 对短波红外波段则为 50:1. 该结论已在 71 波段模块式机载成像光谱仪的飞行试验中得到证实. 根据地物信息的这一特征, 对其实施合理的统计控制, 就能较理想地解决上述矛盾.

## 2 控制原理

采用 8 bits 编码, 选定焦平面每个探测元在某行地物扫描所获得的与某波段相对应的量化数据的极大值作变量指标, 通过控制该波段的信号增益, 根据同一波段相邻地物扫描行地物特性的高度相关性, 使下行该波段的抽样进程恢复到统计控制状态, 也即使下行采集的该波段地物数据完全落在 8 bits 量化区间. 同时, 该信号增益以增益码形式送记录系统, 以便信号在回放时能根据相应的增益码得以完全的恢复. 这就是本文控制的基本原理.

由于一行同一波段的地物信号动态范围是个有限值, 因而无论它服从何种概率分布, 都将存在上零百分位点, 也即存在极大值. 采用 8 bits 量化器, 可得量化数 0~255. 我们将这个极大值是否落在窗口 [218, 236] 作为过程处于与脱离统计控制状态的判别界限. 相应的控制图<sup>[7]</sup>如图 2 所示.

图 2 中, 第 1、2 地物扫描行的极大值落在控制下限之下, 这表明当前过程脱离了统计控制状态, 下行的信号增益需增大. 相反, 第 5、6 行的极大值落在控制上限之上, 于是下行的信号增益要减小. 而其余行的极大值落在控制限以内, 这意味着当前过程是处于统计控制状态, 那么这个过程应当继续下去, 也即下行的信号增益保持不变.

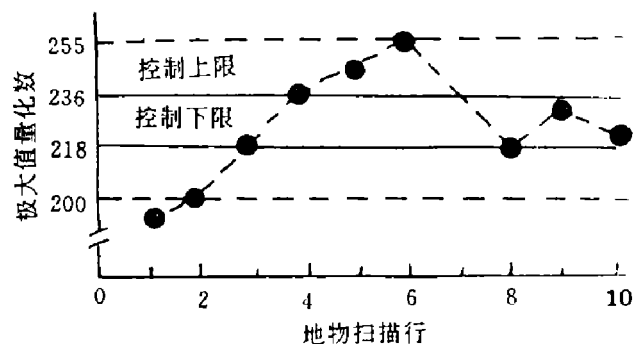


图 2 极大值控制图

Fig. 2 Control chart of the maximum value

由图 2 可知, 只要该极大值落在区间 (200, 255) 内, 则系统就具有近 100% 的准确信号量化率, 并且, 相应的地物信息动态范围可达 200:1 以上. 显然, 根据地物信息特征, 这样的动态范围已保证系统不遗漏它所获取的所有地物信息.

由此可见, 运用上述控制原理及方法, 通过采用低分辨率量化器来实现大动态范围地物信息的准确量化是完全可行的.

### 3 控制系统的实现

系统硬件框图见图 3.

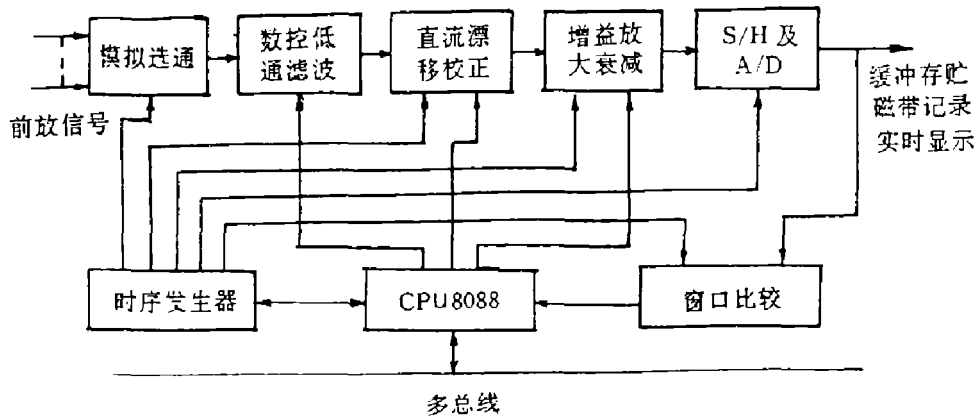


图 3 系统框图

Fig. 3 Block diagram of the system

研制的星载成像光谱仪具有 16 bits 编码的动态范围为 65536:1, 图 3 中前放信号变化范围为 0.2 mV~13.1072 V. 其中, 每路前放信号对应的是某波段的地物信号.

图 3 中, 模拟选通电路首先从这些前放的并行信号中选出 25 路待记录波段信号, 并将之转换成串行模拟信号输出. 其中, 每路并行信号在串行信号链中所占时间只有 1.273  $\mu$ s. 输出的串行信号经低通滤波及直流漂移校正处理后, 可编程增益放大 / 衰减器便开始顺序对串行信号链中每路波段信号进行增益控制, 使控制后的信号完全落在 8 bits 量化区间 0~5 V 内. 然后, S/H 及 A/D 电路就可对这些信号进行准确的 8 bits 量化. 量化后的数据一方面进入后续电路系统去进行数据的缓冲存贮、磁带记录及实时显示, 另一方面则进入窗口比较器以判定每个量化数是否落在窗口 [218, 236] 内. 从而 8088 CPU 便可根据这些量化数的窗口比较结果, 并按照上述控制算法对电路增益实施统计控制. 所控制的电路增益为  $N_A/N_B$ , 其中  $N_A$ 、 $N_B$  的取值范围均为 1~255 之间的任意整数.

该成像光谱仪地物扫描视场为 80°. 在地物扫描期间, 系统处理一个数据的时间仅有 1.273  $\mu$ s. 因此, 图 3 中直流漂移校正、可编程增益放大 / 衰减及窗口比较等功能全部由硬件电路实现. 而 280° 空扫时间为 129.630 ms, 在此期间 8088 CPU 可根据由前面硬件电路所获得的定标数据及窗口比较结果来计算系统的直流漂移校正参数与电路增益控制参数. 由于硬件电路与计算机 CPU 的结合, 使系统同时具有高速度和灵活性.

## 4 结论

本文提出并实现的这种地物信息统计控制方法使星载成像光谱仪信号动态范围达到 65536:1。若忽略一行地物扫描中太阳仰角与气象条件的变化以及系统控制过渡过程所带来的影响，并不考虑地形起伏时，则系统的准确信号量化率为 100%；系统的信号数据率与直接采用 16 bits 量化器相比降低了近 50%。

利用机载成像光谱仪所获取的地物光谱实际飞行数据，并根据上述控制算法便可进行计算机数字仿真；该数据写入 ROM 芯片，读出后再经 D/A 转换器转换成模拟信号也可进行电路信号模拟。实验结果表明系统的控制过渡过程具有良好的快速性。一般 1~2 地物扫描行就可使系统恢复到统计控制状态。另外，由于设计时窗口上、下留有余量的合理设计使系统在绝大多数控制过渡过程中都具有 100% 的准确信号量化率。

系统所采用的这种方法与 16 bits 高分辨率量化方法相比，虽然增加了电子学系统的设计难度及复杂性，并且信号回放时，增益码的出现也要给地面数据处理带来附加工作，但它大大降低了系统对高速高分辨率量化器及高速大容量数据记录设备的技术要求，同时它还是一种有效的数据压缩手段。该方法不仅对星载成像光谱仪有效，而且还可进一步推广运用于各类航空遥感仪器。

**致谢：** 作者对中国科学院上海技术物理研究所龚惠兴研究员、张智敏副研究员所给予的指导表示衷心感谢。

## 参考文献

- 1 Bunn JS, Jr. *SPIE*, 1987;834:63~68
- 2 Wright CW *et al.* *Laboratory for Oceans Activities Report*, NASA, 1988, GSFC:91~94
- 3 全红 *et al.* *红外研究*, 1988;7(4):251~253
- 4 王建宇. 硕士学位论文, 中国科学院上海技术物理研究所, 1987
- 5 Thekaekara MP. *J. Environmental Sciences*, 1970;13(5):6
- 6 Selby JEA *et al.* AFCRL-72-0745, AD-763721
- 7 利人. *统计推断理论基础及其应用*, 北京:群众出版社, 1982;21~22, 369

## STATISTICAL CONTROL OF GROUND SCENE INFORMATION OF SPACEBORNE IMAGING SPECTROMETER

ZHANG FU

*(Shanghai Institute of Technical Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)*

**Abstract:** In this paper, a method of statistical control of the ground scene information is presented and realized by means of analyses of the features of ground scene information received by the Spaceborne Imaging Spectrometer. This method makes both the accurate signal quantization rate and the signal data rate of the system be relatively perfect, and the results of computer digital simulation and circuit signal imitation indicate that the system possesses a fast control transition process.

**Key words:** imaging spectrometer, ground scene information, statistical control, signal quantization, data compression.