

10

135-141

机载成像光谱仪数据采集系统

王建宇 张 泳

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

V243.5

摘要 根据机载成像光谱仪的信号特征, 讨论了用于机载成像光谱仪的数据采集系统的总体技术要求, 并设计和研制了数据采集系统。

关键词 成像光谱技术, 数据采集, 航空遥感。

机载 光谱仪

引言

成像光谱技术把传统的二维遥感技术和光谱仪技术有机地结合在一起, 形成了三维的成像光谱遥感技术。为了在获取地面的二维空间特征的同时能够获得地物的光谱信息, 成像光谱仪的波段数从传统仪器的几个波段增加到几十个, 甚至几百个波段, 这对机上数据的采集和数据的实时处理也提出了新的要求, 具有性能可靠、操作简单、数据吞吐量大为特征的数据采集系统是成像光谱仪技术的关键技术之一。在模块化机载成像光谱仪(MAIS)技术攻关中, 我们开展了成像光谱高速、大容量数据采集系统的研制。本文在分析了机载成像光谱仪信号特征的基础上, 设计并研制了适用于 MAIS 的数据采集及控制系统。

1 机载成像光谱仪的数据特征及采集要求

1.1 机载成像光谱仪的信号灵敏度和动态范围

成像光谱仪中高光谱分辨率或窄的光谱取样间隔是仪器的主要技术指标, 此外, 辐射灵敏度、瞬时视场、总视场等参数也是仪器性能的重要技术指标, 这些技术指标之间是相互制约的, 它们之间的关系如下:

系统的辐射灵敏度可由系统的信噪比反映^[1], 系统的信噪比为

$$\frac{S}{N} = \frac{\tau_s \tau_a \sin \theta E(\lambda) D_0^2 \rho(\lambda) D^* \beta^2 \Delta \lambda \delta}{4 \sqrt{d^2 \Delta f}} \quad (1)$$

式(1)中 τ_s 为系统的光学效率, τ_a 为大气透过率, θ 为太阳角, $E(\lambda)$ 是太阳的辐射度, D_0 为系统有效通光面积的等效直径, $\rho(\lambda)$ 为地物的反射率, D^* 为探测器的探测率, β 为系统瞬时视场, $\Delta \lambda$ 为光谱取样间隔, d 为探测器线度, δ 为电路过程因子, 系统噪声等效带宽 Δf 为

$$\Delta f = \frac{\pi}{2} \frac{1}{2r_p} \quad (2)$$

式(2)中 τ_0 是系统对单个象元的凝视时间,一般随系统总视场的增加而减少,并和系统的扫描效率成正比.

从式(1)和式(2)可知,系统的信噪比和光谱取样间隔、瞬时视场的平方及凝视时间的 $1/2$ 次方成正比,因此在光谱分辨率、空间分辨率、信噪比、总视场等参数中,要提高某一指标,往往要牺牲其它指标.

根据对 MAIS 系统的分析,在中等纬度、春秋季节、早上 10 点或下午 2 点时,可见近红外波段的信噪比最好的可达到 1000 倍,短波红外波段可达到 200 倍,以上指标对数据采集系统的动态范围和量化级别提出了要求.

数据采集系统进行信号的 A/D 转换时会引入量化误差,一般来说最大的量化误差为 $1/2LSB$,其量化误差引起的均方根噪声为

$$\overline{(\Delta e)^2} = \frac{2}{LSB} \int_0^{1/2LSB} x^2 dx, \quad (3)$$

$$\overline{(\Delta e)^2} = \frac{LSB}{12}; \quad (4)$$

根据式(4)计算,对于 8BIT 的 A/D 转换器其最大信噪比可达 887 倍,对于 10 位的 A/D 转换器其最大信噪比可达 3547 倍,对应于系统最大信噪比为 1000 倍左右,如取 10 位的 A/D 转换器,则量化信噪比系统噪声已小得多,能满足使用要求.但考虑到纬度、季节及太阳光照的变化,选用 12 位的 A/D 转换器则能确保信号落在系统的动态范围之内.

1.2 仪器的扫描率和系统带宽

成像光谱仪采用光机扫描式,扫描镜对地扫过一行,就得到一行图像数据.设仪器瞬时视场角(IFOV)为 β (mrad),航高为 H (m),则机下点的地面分辨率为:

$$a = H\beta, \quad (5)$$

当飞行平台的航速为 V (m/s),高度为 H (m)时,仪器机下点的扫描条宽即为 βH .若扫描仪的扫描率为 S (1/s),为使扫描仪不发生漏扫,必须满足:

$$V \leq S\beta H(\text{m/s}), \quad (6)$$

即

$$(V/H) \leq S\beta(\text{mrad/s}), \quad (7)$$

令扫描重叠率 $\rho = 1 - \left(\frac{V}{S\beta H}\right)$,当 $\rho = 0$ 时,最大速度高比 (V/H) 为

$$(V/H) = S\beta(\text{mrad/s}). \quad (8)$$

成像光谱仪的扫描率为 10 1/s,仪器瞬时视场为 3mrad.对应扫描速率的允许最大速高比为 0.03(mrad/s).飞机在 1000m、3000m、6000m 和 10000m 不同飞行高度时的飞行速度分别为 108km/h、324km/h、648km/h 和 1080km/h.

电子学带宽与仪器性能有密切关系.对于视频信号而言,电路的信号传递因子与带宽成正比.同样,系统噪声亦随带宽的增加而增加.噪声大小将最终限制系统的探测灵敏度.因此可根据信号频率的要求限制系统的带宽.

根据奈奎斯特采样定理,扫描仪电子学的上限频率为

$$f_H \geq 1/2 \cdot 2\pi/\beta \cdot S, \tag{9}$$

式(9)中 S 为扫描率,系统的下限频率取决于方波平顶下降系数,根据等效电路

$$\delta = \eta/T \cdot (RC), \tag{10}$$

式(10)中 T 为扫描周期, η 为扫描效率,取 $\delta=1\%$, 45° 扫描镜的扫描效率 $\eta=0.25$,则

$$RC = 25/S, \tag{11}$$

$$f_L \leq 1/2\pi \cdot RC = S/50\pi. \tag{12}$$

可见/近红外波段瞬时视场为 3mrad ,短波红外波段的瞬时视场为 4.5mrad ,分别计算得上下限频率可见光为 $0.06\text{Hz} \sim 10.46\text{kHz}$,短波红外为 $0.06\text{Hz} \sim 6.97\text{kHz}$.

1.3 系统的信号格式

从成像光谱仪光机头部送到数据采集系统的信号为波段并行模拟信号,在模拟信号序列中,除地面目标的信号外,还包括定标信号,可见到短波红外波段的定标信号为黑电平和定标灯的输出,热红外波段为定标高低温黑体的输出,图1是 45° 斜扫描镜系统的光机头部的输出模拟信号格式,其中 BB_1 信号为黑电平信号或低温黑体信号, BB_2 为定标灯信号或高温黑体信号.如果光机头部为四方棱镜,则输出信号中地面信号和定标信号的相对位置略有

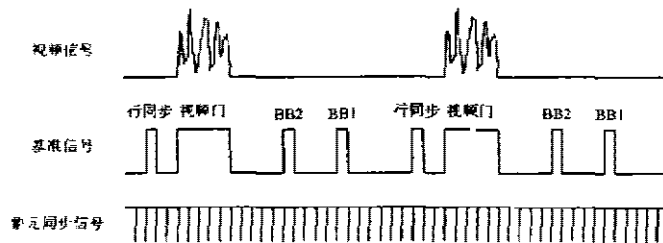


图1 数据采集系统输入信号
Fig.1 Input signal of data acquisition system

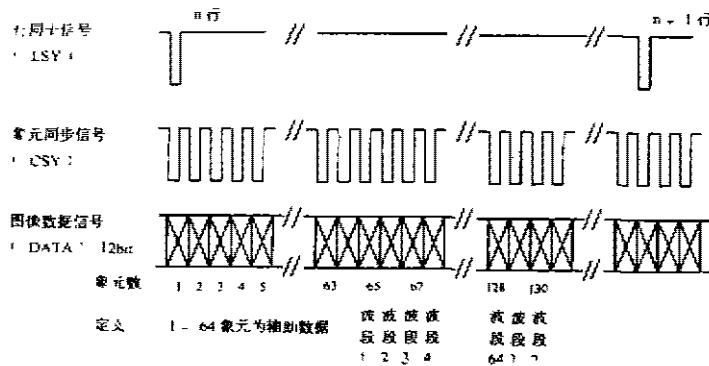


图2 成像光谱仪数据输出格式
Fig.2 Output data format of imaging spectrometer

区别,但各自的相对位置都是固定的.另外,光机头部上的光学编码器还可送出行同步基准信号和 1024 或 2048 个象元同步信号,供数据采集系统采样和控制.

为方便数据的记录和使用,要求数据采集系统的输出数字信号为串行波段间隔(BIP)格式,输出信号包括图像数据、行同步信号和字同步信号,具体格式如图 2 所示.

2 数据采集及控制系统的设计

2.1 数据采集及控制系统的总体考虑

数据采集系统的目的是把从前置放大器输出的多路并行模拟信号进行放大,电平变换,并由 A/D 转换器转换成相应的数字信号,再由数据格式器把多路的数据形成一个统一的格式输出送数据记录或显示.

在整个系统设计中,考虑的主要因素有:

(1) 高采样精度和大动态范围

系统的采样精度和动态范围主要取决于系统的量化级别,根据成像光谱仪信号的信噪比特点和动态范围要求,考虑到 10 位 A/D 转换器引起的量化噪声比信号噪声小 3 倍多,由于最终噪声是这两者的平方相加,因此选取 10 倍 A/D 转换器引起的量化噪声对总噪声的贡献只占十分之一,再考虑到在不同情况下的遥感(如季节、地点、目标的变化)信号的变化,增加 2 个 BIT 的动态范围,就能满足绝大多数遥感的需要,所以系统选取 12 倍的 A/D 转换器.

(2) 通道数和可靠性冗余

由于 MAIS 的热红外波段目前还不能和可见及短波红外波段共同使用,系统一次使用的最大通道数为 64,因此本数据采集系统的通道数选 64. 根据系统的带宽,每个像元的最短采样时间为 $25\mu\text{s}$,如果 64 波段合用一个 A/D 转换器,则转换的时间为 $25/64\mu\text{s}$. 如此高速的转换器和相应的模拟开关选择都是非常困难和十分昂贵的,而且,一旦通道失效,将会丢失所有信息.因此系统采用一个 A/D 转换器承担 4 个通道的数据采集,这样既降低了速率,又减少了数据丢失的风险.其次考虑到成像光谱仪中可见/近红外为 32 个波段,短波红外为 32 波段,两组波段相对独立,因此在数据采集系统设计中也分成两组相对独立的 32 个波段,并可互作备份,以提高可靠性.

(3) 系统的兼容性

系统的兼容性主要考虑了 MAIS 和原有机载成像扫描仪之间的通用性,由于原有的仪器在扫描速率、瞬时视场、扫描方式及通道数和 MAIS 不完全相同,所以在本系统的设计中考虑了不同扫描速率、不同瞬时视场之间的兼容;不同扫描方式即 45° 斜扫描镜和四方棱镜之间的兼容;以及数据采集通道数可选择性.

(4) 系统的可操作性

由于采用了 12BIT 的 A/D 转换器,系统有了足够的动态范围,因此在数据采集时不需操作员调整仪器的增益电平,可完全由仪器自动进行采集,另外,还设计了一个数字监视接口和一个模拟监视接口,这是为了让操作人员及时了解仪器的工作状态,以确保数据采集的成功.

根据成像光谱仪的总体设计要求,数据采集系统的技术指标如下:

通道数	64(分为两个独立部分,各 32 通道)
量化级别	12Bit
采样速率	64 个波段,每个波段 25~50 μ s 采样一次
输出瞬时数据率	20.5Mbps(以每象元 16Bit 量化计算)
输出平均数据率	5.12Mbps(以每象元 16Bit 量化计算)
输入模拟信号幅值	几 mV—几百 mV
模拟信号带宽	10.46kHz
与光机头部的兼容性	斜 45°镜,四方棱镜兼容 3mrad,4.5marad 兼容
数据接口	12Bit BIP 格式(送记录器) 8Bit BIP 格式(送监视器)
监视功能	1~64 通道可选,D/A 输出模拟信号
显示功能	监视通道序号显示 12Bit 转 8Bit 选位显示

数据采集系统由时序系统,数据采集通道,CPU 控制系统,输出和监视系统等几部分组成,图 3 是系统的方框图.

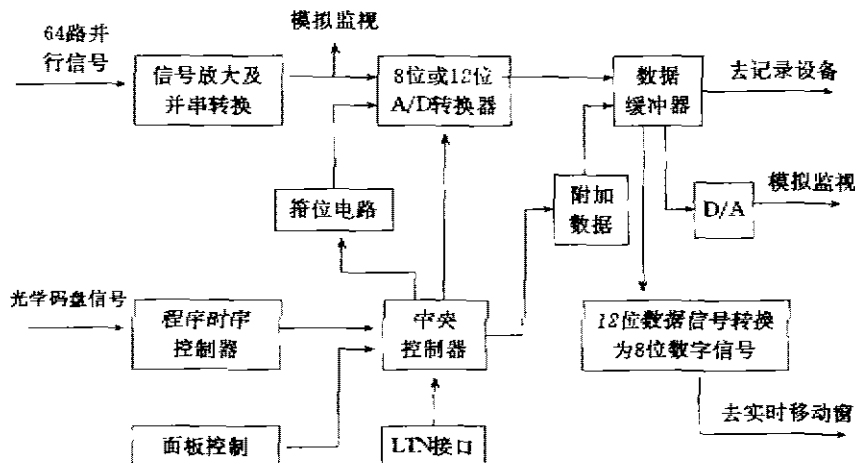


图 3 数据采集系统框图

Fig 3. Diagram of data acquisition system

2.2 时序系统的设计

时序的基准信号来自光学系统的码盘信号,光学码盘每个扫描行输出一个行同步信号和一个 2048 个码同步信号,正好每一个码同步信号对应一个空间采样点,由于系统采用了四个通道合用一个 A/D 转换器的办法,因此通过对码盘信号四倍频的办法,产生系统所需的采样信号,并利用一片 EPROM 在码同步信号的驱动下产生系统所需的控制信号和数据输出信号,同时考虑到数据最终输出的速率比码盘的码速率要高 32 倍,如采用码信号的 32 倍频可能会由于倍数太高,而引起时序的失效,因此设计中采用了高速基准时钟通过特殊电路同步的方法,以确保输出信号时钟的可靠性.时序电路的框图如图 4 所示.

2.3 数据采集通道的设计

数据采集通道由信号放大、低通滤波、黑电平钳位、采样保持、4—1 并串转换、A/D 转换、数据输出等几个部分组成。来自前放的模拟信号经放大后,进入程控低通滤波器,低通滤波器的 3dB 带宽可选,按不同扫描速度和空间分辨率的需要设定。

由于系统的红外通道因探测器的要求,前置放大器采用了交流耦合,因此为了使信号中的直流分量不至于丢失,设计了直流电平恢复电路,采用的方法是通过对黑电平的箱位对其加以恢复。在扫描镜扫过腔内黑电平时(即 BB1 时序出现时)采样黑电平,然后在整个扫描周期内保持不变,把信号和黑电平相减,使信号的直流电平得到恢复,然后由采样保持电路采样,并经 4—1 路并串转换,送 A/D 转换器转为 12BIT 的数字信号,最后,各波段的数字经时钟排除输出,送数据记录和监视系统。

2.4 数据采集系统控制器及监视电路

数据采集系统的控制器以 8031 为 CPU,其主要功能是:

- (1) 控制系统中供监视的 D/A 转换部分,从输出的数字流数据中选出需要监视的通道数据,将其送 D/A 转换器转换成模拟信号,供操作者观察,监视。
- (2) 控制送往移动窗的数据,选取通道箱 12 位输出中的任意连续 8 位供移动窗显示。
- (3) 给出监视通道序号的显示以及 8bit 电平位置的显示,允许操作者通过按动面板上按键进行更动。
- (4) 在图像数据中混入行起始字、行计数及其它辅助数据。
- (5) 接收有关的导航数据或 GPS 数据,并将其混入图像数据流中。

为了把 12BIT 的数据转换为 8BIT 数据供实时移动窗监视器进行监视,系统设计了专用的 12BIT 转换为 8BIT 的电路,CPU 根据面板的指令输入,确定该输出那 8 位数据,并由控制信号 A 和 B 对转换电路加以控制,当信号 AB 为 00 时,输出为 BIT₁~BIT₈,当 AB 为 01 时,输出为 BIT₂~BIT₉,当 AB 为 10 时,输出为 BIT₃~BIT₁₀,当 AB 为 11 时,输出为 BIT₄~BIT₁₁。)并且自动实现高位对低位的自动屏闭,即当没有取到的任一高位数据为“1”时,输出为“FF”,例如,当输出为 BIT₂~BIT₉ 时,BIT₁₀和 BIT₁₁中只要有一位为“1”则输出为“FF”。输入和输出的逻辑关系如下:

$$BIT_{70} = \bar{A} \bar{B} \cdot BIT_9 + \bar{A} B \cdot BIT_9 + A \bar{B} \cdot BIT_{10} + AB \cdot BIT_{11} + C, \quad (13)$$

$$BIT_{60} = \bar{A} \bar{B} \cdot BIT_7 + \bar{A} B \cdot BIT_8 + A \bar{B} \cdot BIT_9 + AB \cdot BIT_{10} + C, \quad (14)$$

$$BIT_{50} = \bar{A} \bar{B} \cdot BIT_6 + \bar{A} B \cdot BIT_7 + A \bar{B} \cdot BIT_8 + AB \cdot BIT_9 + C, \quad (15)$$

$$BIT_{40} = \bar{A} \bar{B} \cdot BIT_5 + \bar{A} B \cdot BIT_6 + A \bar{B} \cdot BIT_7 + AB \cdot BIT_8 + C, \quad (16)$$

$$BIT_{30} = \bar{A} \bar{B} \cdot BIT_4 + \bar{A} B \cdot BIT_5 + A \bar{B} \cdot BIT_6 + AB \cdot BIT_7 + C, \quad (17)$$

$$BIT_{20} = \bar{A} \bar{B} \cdot BIT_3 + \bar{A} B \cdot BIT_4 + A \bar{B} \cdot BIT_5 + AB \cdot BIT_6 + C, \quad (18)$$

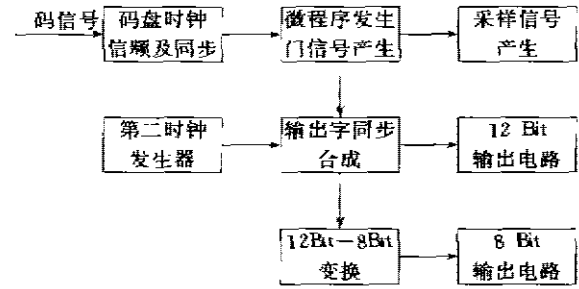


图 4 时序电路框图
Fig. Diagram of timing circuit

$$\text{BIT}_{10} = \overline{A} \overline{B} \cdot \text{BIT}_2 + \overline{A} B \cdot \text{BIT}_3 + A \overline{B} \cdot \text{BIT}_4 + AB \cdot \text{BIT}_5 + C, \quad (19)$$

$$\text{BIT}_{10} = \overline{A} \overline{B} \cdot \text{BIT}_1 + \overline{A} B \cdot \text{BIT}_2 + A \overline{B} \cdot \text{BIT}_3 + AB \cdot \text{BIT}_4 + C. \quad (20)$$

其中 C 为

$$C = \overline{A} \overline{B} \cdot (\text{BIT}_9 + \text{BIT}_{10} + \text{BIT}_{11}) + \overline{A} B \cdot (\text{BIT}_{10} + \text{BIT}_{11}) + A \overline{B} \cdot \text{BIT}_{11}. \quad (21)$$

3 应用与结果

成像光谱仪数据采集系统于 1993 年完成研制,并于同年 8 月在甘肃祁连山地区中德联合使用成像光谱技术在地质找矿的遥感试验中,成功地取得了第一批具有 12BIT 的机载成像光谱数据,在以后几年的多次航空遥感试验中,各项技术指标均达到设计要求,并具有操作方便、性能稳定可靠的特点。

REFERENCES

- 1 Wang J Y, Xue Y Q. *J. Infrared Millim. Waves*(王建宇,薛永祺. 红外与毫米波学报),1992,11(3): 181~188
- 2 Ronald E. Steinkraus. *SPIE*,1987,834,156~159

DATA ACQUISITION SYSTEM FOR AIRBORNE IMAGING SPECTROMETER

WANG Jian-Yu ZHANG Yong

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

Abstract Based on the data characteristic of airborne imaging spectrometer, the technical requirements of the data acquisition system for airborne imaging spectrometer were discussed and the design and development of the data acquisition system were reported.

Key words imaging spectroscopy, data acquisition, airborne remote sensing.