

# SAR 光学处理器中的电子控制与显示系统

于前洋 黄廉卿 李朝阳

**摘要:** 本文讨论SAR光学处理器电子控制与显示系统。这套系统中含有将张力误差控制在 $\pm 10g$ 以内的胶片张力控制,它是带有AGC的位置控制系统。确保数据输片机和图像输片机跟踪精度优于0.5%的胶片速度控制,它是由一台精密脉冲信号发生器控制的两套具有复合控制功能的锁相速度控制系统。线阵CCD成像器件与图像存贮器的有效组合,使SAR光学处理器具有快速图像显示能力。采用声光调制器(AOM)的光强稳定系统,可将激光器输出强度稳定在 $\pm 2\%$ 以内。还有位置伺服式电动调焦以及附加信息的译码显示与记录等。

## 一、概 述

HG-1型SAR光学处理器,将SAR获得的载有微波准全息图的数据胶片,通过光学变换,得到可见的图像胶片。这种可见图像的静态分辨率达到 $90lp/mm$ ,动态分辨率达到 $60lp/mm$ ,且对于9.5"宽的4通道SAR数据片获得的高清晰度的图像胶片,各通道间的拼合对准精度极好。所以能获得如此优异的性能,除了在光学系统设计、加工,精密的输片机构的研制上作了大量的工作以外,高性能而精密的一整套电子控制与显示系统也是其必不可少的重要因素。

这套系统中,包含有张力控制系统,将胶片张力波动控制在 $\pm 10g$ 以内;锁相速度控制系统,使数据片和图像片两套输片机的跟踪精度优于0.5%;线阵CCD图像存贮与显示系统,使光学处理器能在暗室处理以前迅速显示图像;采用声光调制器(AOM)的光强稳定系统,使激光器的光强稳定在 $\pm 2\%$ 以内。此外,还有微调功能很好的电动调焦机构,以及将SAR数据片上的附加信息进行译码、显示与记录的电路与器件。这些电子控制与显示部分的有机结合,使HG-1型SAR光学处理器获得了清晰的高质量图像。

## 二、系统的作用与工作原理

SAR光学处理器中的整套电子控制与显示系统的原理框图见图1。现将其工作原理简述如下

### 1. 激光光束的强度稳定

在遥感图像的许多应用者看来,图像的灰度失真是很关心的一项指标。要确保灰度失真

小，在对一卷数据胶片进行处理的过程中，照射到该胶片平面上的激光光强应保持稳定。经分析，激光束光强波动不能大于 $\pm 2\%$ 。而目前商品He-Ne激光器（功率 $\geq 60\text{mW}$ ）都不能达到这一要求，有的光强波动高达10%。

我们选用声光调制器（AOM）作为被动式稳光元件。超声波在AOM晶体中对相干光的作用，相当于一个透射光栅。入射光束经过晶体后，其输出的1级衍射光强与超声换能器的电激励功率成正比。因而输出的0级衍射光强，将随电功率的增大而减小。利用光电器件将输出光强转换成电压信号，并与代表希望光强的电压相比较，即可构成闭环的反馈控制系统，将输出光强的波动限制在要求的范围内。图1中，1为振荡器，2为光电接收器，3为

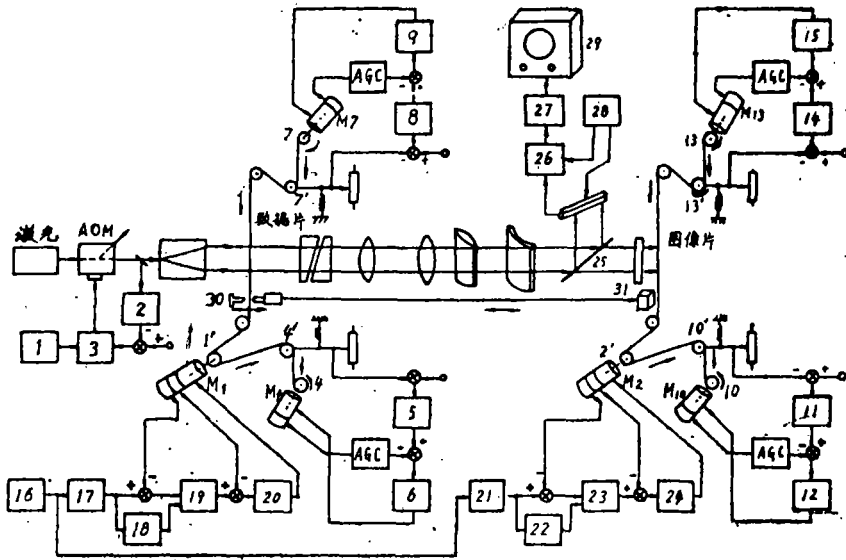


图1 电子控制与显示系统原理框图

比较、放大及调幅振荡器，它输出激励AOM的电功率，其大小与误差成正比。

## 2. 胶片张力控制系统

SAR 光学处理器工作过程中，数据胶片将以速率 $v$ 作匀速运动，并被相干光所照明。经光学系统作二维并行处理后，在图像胶片上可得到一个狭长的条状图像。当图像胶片也以一定的速率 $v/k$ 作匀速运动时，就能得到一幅地物的可见图像。为得到高质量图像，两卷胶片均由一套精密的输片机构驱动。每卷胶片的张力，都需加以控制，使其波动值小于 $\pm 10\text{g}$ ；其目的有二，一是保持胶片的平直以使图象清晰无失真，其二是减小输片绞轴的负载力矩的波动，为精密的稳速运动与两输片机的跟踪运动提供前提。

每台输片机均有两套张力控制系统，整个光学处理器共有四套。它们分别控制供片轮7, 13和收片轮4, 10的转矩（见图1），使胶片得到足够而稳定的张力。当胶片张力产生波动时，张力检测辊4', 7', 10', 13'将产生相应的偏移，其移动量由光电电位器检测出来，以电压形式输出。它与设定的张力值的偏差，将使力矩电机 $M_4, M_7, M_{10}, M_{13}$ 产生相应的力矩变化，以校正这种张力波动。为使张力伺服回路获得高增益而不产生振荡，上述力矩电机上均装有同轴的测速机作为电阻尼器。在胶片处理过程中，由于片量变化导致的胶片卷外径变化，这会使收片或供片轴上的惯量产生变化。这种惯量变化对动态性能的影响

响,将通过 AGC 加以补偿。即胶卷外径变大时加大阻尼,反之,胶卷外径减小时减小阻尼,从而使张力控制系统始终有好的精度与稳定性。

### 3. 胶片速度控制系统

如(2)所述,数据胶片和图像胶片要分别以速度 $v$ 和 $v/k$ 运动。为使仪器得到高的动态分辨率,速度 $v$ 和比例因子 $k$ 均需恒定,即在整个处理过程中,胶片既要匀速运动,又要保持高精度的跟踪。为此,我们为每套输片机均设计了一套高精度、宽调速范围的锁相速度控制系统。输片动力轴1'和2'均由一组同轴的直流力矩电机、直流测速机、圆光栅位置传感器组成。圆光栅上刻有10800线对。它将输片轴的角位置转换成对应的电脉冲。由分频器和整形电路输出的高稳定度参考脉冲,与圆光栅输出的脉冲进行相位比较,经放大器19,20和23,24驱动力矩电机 $M_1, M_2$ ,用硬橡胶片辊带动胶片运动。为提高系统的增益和稳定性,除用速度反馈扩展系统带宽外,还设置了频率电压变换器18,22。它将参考脉冲的频率转换成对应的电压信号,跨过相位比较器而直接加至放大器,从而构成系统的开环控制部分,使这种锁相系统具有开—闭环的复合控制功能。这种控制方式使系统具有极大的品质因数和快的响应。此外,为确保两套输片系统良好的跟踪性能,使用了一台频率稳定度极高的石英振荡信号源16,作为共同的参考信号。不同的比例因子 $k$ ,是由分频器17,21来实现的。实际系统中采用两台频率合成信号发生器,它们由同一石英晶体振荡器驱动。由于使用先进的频率合成技术,分频器17,21的分频比可以准确到 $10^{-7}$ ,因此能保证 $k$ 值的任意性与精确性。由于胶片张力控制系统的存在,使输片辊上负载力矩的波动与干扰得到了较大程度的补偿,从而使本速度控制系统能在100:1的范围内,保持高精度与稳定性。

### 4. 线阵CCD图像存贮与显示

SAR 数据胶片是一种微波准全息图。它在相干光照明之下,并不能象常规全息图那样立即观察到全幅图像。必须经过光学处理、冲洗底片、印像等一系列过程,才能得到可供观察分析的图像。为尽快检查 SAR 飞行中的成像率,搜索感兴趣的成像区域,我们设置了一套利用线阵 CCD 器件和帧存贮器组合的图像存贮与显示系统。当这一系统工作时,反射镜25插入光路,将狭长形图像成像到一线阵 CCD 器件上。在数据胶片匀速移动的过程中,CCD 每次将一行行数据存入到帧存贮器26中。同时在读/写时序信号28的控制下,帧存读出一行行的信号,经 D/A 和伪彩色编码(27)后,在彩色监视器29上立即显示出自下而上滚动的图像。这里值得指出的是,图像的滚动是与数据胶片的运动同步的,即数据胶片运动得快,图像滚动得快;胶片运动慢,图像滚动慢;胶片停止运动,图像停止滚动。这样,从监视器的屏幕上看到的,即是正在进行光学处理的数据胶片上的一幅图像,这可算得是一种光—电 SAR 微波准全息图观察器。帧存贮器是一种慢写快读的随机存取存贮器,其写入频率不太高(125kHz),但读出必须以视频速率进行,以获得监视器所必须的全视频信号。由于采用了多路并行读出的措施,使用市面上普通的商用RAM 器件,其读写速度即可达到这一要求。

### 5. 电动调焦和附加信息记录

为获得焦面对准的清晰图像,数据输片机和方位望远镜均可沿光轴方向移动以实现调焦。为保证这种调节均匀而平稳,采用了以电位器作为检测元件的闭环位置控制系统。操作

人员用手转动多圈电位器，给出参考电压，即可以 0.15mm/圈的位置分辨率对焦面位置进行精细调整。

SAR 数据片上除记录雷达回波的全息图外，还记录了飞行距离等附加信息，这些信息由光电对组件30读出后，进行译码并驱动 LED，使其脉冲式地发光，将相应的数据记录在图像胶片上。

### 三、主要系统的技术性能与测试结果

#### 1. 声光调制器 (AOM) 与激光器的稳光

我们采用正弦型 AOM，型号 SGTB-1，其主要性能指标为：

波长	6328 Å
光束直径	2-2.3mm
调制带宽	0.5MHz
超声介质	重火石玻璃
换能介质	LiNbO <sub>3</sub>
最大衍射效率	85%
静态消光比	1000:1

使用上海激光研究所生产的 60mW He-Ne 激光器，45 分钟之内实测的光强波动值 21.4%。使用稳光措施后，45 分钟之内的实测光强波动值 0.7%。

#### 2. 胶片张力控制

产生胶片张力的收片盘 (I 号) 和供片盘 (II 号)，均由直流力矩电动机 (型号 SYL-30)，直流测速机 (型号 CYD-11) 与片轮直接作共轴耦合，使其具有较好的机械刚度。由光电位器构成的胶片张力传感器的灵敏度，实测值为 27.7mV/g (I 号) 和 46.8mV/g (II 号)。在输片速度变化 25mm/s 的情况下实测得其张力控制误差分别为 63mV (1.2g) 和 95mV (1g)，而匀速输片过程中的张力误差的最大值仅为 27.5mV (0.5g)。折合到 100mm/s 的最高速度下，张力误差的最大值为  $4 \times (1.2 + 0.5) = 6.8g$ ，超过了对胶片张力波动 < 10g 的要求。

#### 3. 胶片速度控制

两台输片机上的输片动力轴，均由直流力矩电动机 (SYL-30)、直流测速机 (CYD-11) 和圆光栅 (10800 对线) 作共轴耦合，并在机械上保证其轴上和径向具有很高的精度 (跳动与不圆度均小于 1.5μm)。这个高精度与高刚度的输片绞轮，是速度控制系统的关键部件。

主要指标为：数据胶片的速度 1~100mm/s

图像胶片的速度 0.1~10mm/s

(对应的  $k=10$ )

按照输片辊的直径，换算得到圆光栅输出的脉冲重复频率为

数据输片机 135~13534Hz

图像输片机 13.5~1353Hz

本设置采用的具有复合控制的锁相调速系统，最终达到的实测性能为：

速度品质因数	$k_s = 10,000 \sim 20,000 \text{ 1/s}$
同步带	$\Delta f = 4750\text{Hz}$
同步时间	$t_s = 0.2 \sim 0.4\text{s}$
两输片机跟踪误差	$\Delta v = 0.3\%$

其中，跟踪误差是用光学方法对数据胶片和图像胶片上的特殊标记点进行测量得到的，所以是一项综合性的最终指标。它既包括了锁相系统因相位抖动产生的两输片辊之间的瞬时速度误差，又含有胶片变形、片道各传输部件的抖动等带来的误差。

#### 4. 线阵CCD图像存贮与显示

已达到的主要性能指标为

线阵CCD器件	仙童CCD143, 2048相元
存贮器	$512 \times 512 \times 4$
显示方式	50Hz, 隔行, 向上滚动, (数据胶片运动的同时显示)
显示颜色	16级伪彩色
显示器	CM2001 (最高分辨率可达 $1024 \times 1024$ )

本工作先后参加的人员多达16人，除作者外，耿玉芝、侯方源、杨跃文、刘荫田、胡存举等同志均作了大量工作。

## Electronic Control and Display Systems in The Optical Processor of Sythesis Aperture Radar (SAR)

Yu Qianyang Huang Lianqing Li Zhaoyang

### Abstract

The electronic control and display systems used in the optical processor of SAR will mainly be discussed in this paper. The film tension control system which is a position control system with automatic gain control (AGC) can control the film tension variation under 10 g. The film velocity control system consists of two set of synchronous phase-lock velocity control systems driven by a same pulse generator in order to ensure the track error under 0.5% between the data film transporter and the image film transporter. Using linear CCD and image frame storage makes the optical processor have capability of high speed image display. Application of acoustic-optical

modulator (AOM) can make the output intensity of laser beam be stable under 2%. In addition, there is electromechanically focussing capability in the processor. Decoding of additional information on SAR data film, the useful information can be obtained and recorded on image film.