

合成孔径雷达处理器的小型化研究

邵德奇

摘要: 根据SAR数据处理的实际要求,在HG-1型斜平面光学处理器的基础上,提出小型化处理器的设计方案,并且设计出了小型化处理器的光学系统。其变倍范围为 8° — 20° 。在1:15万的比例尺下,小型化处理器光学系统的地面分辨率为7米。小型化处理器的体积大约为原来HG-1型处理器体积的一半。

一、引言

合成孔径雷达(简称SAR)是一种高分辨率的成像雷达,它可以在很差的气候条件下得到高分辨率的雷达图像。因而它被广泛地应用在军事、监测、资源勘探等领域。因此,自从它六十年代初问世以来,就一直受到很多国家的高度重视,并且投入巨大的人力、物力从事这方面的研究。我国对合成孔径雷达的研究同发达的国家相比起步较晚,七十年代国内才开始对合成孔径雷达理论和技术的研究工作。长春光机所从1976年起开始研制SAR光学处理器,并于1986年成功地研制出了HG-1型斜平面光学处理器。它能够很好地完成SAR数据的处理,得到高分辨率的地面图像。但是,该处理器体大笨重,只能固定在实验室工作,无法适应现代军事、监测、资源勘探等需要快速获取信息的领域对此提出的机动、灵活的要求。所以,使之小型化势在必行。本文就是顺应这一要求而开展研究的。

二、SAR的成像原理

SAR成像是分两步进行的,第一步是利用SAR系统收集和存储被探测目标的信息;第二步是利用复杂的光学或数字处理系统对SAR所收集的信息进行重构和处理,以恢复原目标的清晰图像。由于SAR所收集的信息量很大,目前多采用胶片记录。如图1所示。装在飞机上的SAR重复地向被测地面发射线性调频信号,地面返回信号借助CRT记录到胶片上,形成SAR数据片。

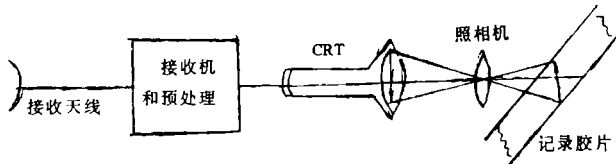


图1 返回信号的记录和贮存

对 SAR 数据片进行分析可以知道它具有下列特性:

(1) 数据片上记录的是目标回波的多普勒频移和相调制。每一个点散射体均形成该点目标的菲涅耳波带片。多物目标的波带片的综合即形成所谓的数据片。

(2) 数据片可以看作两维的菲涅耳波带片, 具有聚焦特性, 且两个方向的聚焦值不同。

$$\text{方位向的焦距为 } f_a = \frac{1}{2p^2} \frac{\lambda_r}{\lambda_i} R$$

$$\text{斜距向的焦距为 } f_r = \frac{C^2}{4\alpha q^2 \lambda_i}$$

其中: p, q 分别是方位向和斜距向的缩比因子。

λ_r, λ_i 分别是雷达信号和再现光的波长。

α 是线性调频速率。

可见, 数据片在相干准直光的照射下, 再现图像时, 出现分离的方位焦面和斜距焦面, 并且方位焦面是倾斜的。另外, 两维图像的比例尺相差 k (倍)。($k = q/p$)

光学处理器的任务, 就是把一组数据片再现的像做为系统的物, 把两维分离的图像拉到一起, 把两维相差一定角度的图像重合起来, 并且把两维的比例尺纠正成一致, 完成图像的重构, 得到清晰的 SAR 图像。

三、SAR 处理器小型化的现实可行性

我们设计的小型化处理器系统是在 HG—1 型斜平面光学处理器的基础上, 在不影响其工作要求的前提下, 根据实际需要, 对 HG—1 型斜平面光学处理器的某些性能进行适当的改进, 达到减小体积, 机动、灵活的目的。为此, 我们对国内外雷达系统所提供的数据片进行分析可以知道: 数据片的纵横压缩比一般均在 $8^\circ \sim 20^\circ$ 之内, 国产雷达系统的地面分辨率只能达到 10m 左右。例如进口雷达数据片的纵横比为 8° 。北京电子所提供的数据片纵横比为 12° , 所生产雷达的分辨率为 10m。基于这些实际情况, 我们设计的小型化处理器光学系统的地面分辨率为 7m, 能够满足 $8^\circ \sim 20^\circ$ 连续变倍, 不换镜头。这样, 就将处理器中数据片到图像片的长度由原来 HG—1 型处理器的 3048.18mm 缩短为 1871.641mm, 体积约为原 HG—1 型处理器的一半。从而大大地提高了系统的灵活性和机动性, 而且又能满足实际使用要求。

四、小型化光学处理器的结构

小型化处理器的结构如图 2 所示。

图中 1' 球面望远镜系统的作用是把数据片的斜距焦面成像在某一要求的位置处。变倍柱面望远镜的作用是把方位焦面尽可能直立起来, 并和球透镜一起使方位焦面的像与斜距焦面的像重合。它的第三个作用是通过改变柱面望远镜的倍率来将两维的比例尺校正一致。由于我们仅利用 +1 级谱成像, 其它谱要滤掉, 所以我们利用一光栏如图 2 所示放入系统中, 只让 +1 级谱通过。

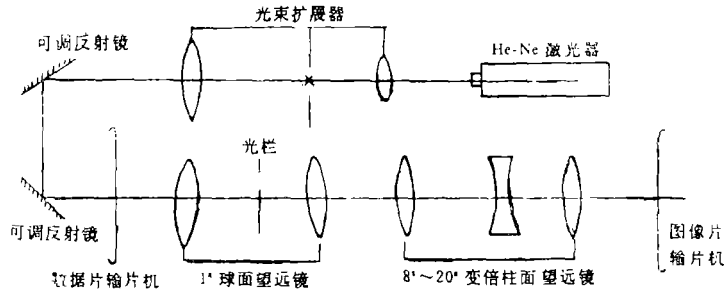


图2 小型化光学处理器示意图

五、小型化处理器的外型尺寸计算

小型化处理器的主光路如图3所示。

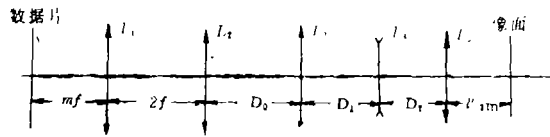


图3 小型化处理器主光路示意图

根据斜距维和方位维像面重合的条件和望远系统的条件，我们推导出下列关系式：

$$d_2 = -f_4 f_5 / f_3$$

$$d_1 = f_4^2 / d_2$$

$$D_1 = f_3 + d_1 + f_4$$

$$D_2 = f_4 + d_2 + f_5$$

$$D_0 = f_{(m+2)} - \frac{f_5 k^2 (f_5 + 2d_2)}{d_2 (k^2 - 1)} - \frac{f_a}{k^2 - 1} + \frac{f_r k^2}{k^2 - 1} - \frac{f_3 (k^2 + 1)}{k^2 - 1} - \frac{k^2 (d_1 + d_2 + 2f_4 + c_0 - c_1)}{k^2 - 1}$$

$$l'_{im} = f_5^2 / d_2 + \frac{1}{k^2} (f_a + 2f + mf + f_3 - D_0) + f_5$$

$$l'_{1r} = f_r + 2f + mf + c_1$$

式中： f 为球透镜的焦距。

f_3, f_4, f_5 分别为 L_3, L_4, L_5 柱透镜的焦距。

f_a, f_r 分别为方位维和斜距维的焦距。

c_0 为柱透镜主面间隔之和。

c_1 为将 L_3, L_4, L_5 透镜看成平板，光线通过时延伸的长度

d_1 是柱透镜 L_3 的后焦点到 L_4 的前焦点的距离。

d_2 是 L_4 的后焦点到 L_5 的前焦点之间距离。

D_1 是 L_3 的后主面到 L_4 的前主面之间距离。

D_2 是 L_4 的后主面到 L_5 的前主面之间距离。

D_0 是 L_2 的后主面到 L_3 的前主面之间距离。

$L'_{i,r}$, $L'_{z,m}$ 分别是斜距维和方位维的像距。

运用上面公式, 选择各透镜的焦距值, 求得各倍率下处理器光学系统的外型尺寸如表 1 所示。

六、主光路上各透镜的结构参数

首先用PW法设计出各透镜的初始结构参数, 然后利用 CAOD 软件进行辅助设计, 以校正系统的像差, 使之满足处理器的要求。光学系统综合校正像差后, 各透镜的结构参数如表 2 所示。

令 $m = -0.75$ $c_0 = 9.56$ $c_1 = 7.433$ $K = 8-20$ 倍

$f_1 = f_2 = f = 463.491$ (mm) $f_3 = 180$ (mm) $f_4 = -30$ (mm) $f_5 = 70$ (mm) 倍

$f_r = 0$ $f_o = 8220.5$ (mm)

表 1

k 倍	D_0 (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	$L'_{z,m}$ (mm)	$L'_{i,r}$ (mm)
8	21.7907	159.6429	133.3333	262.4699	586.7968
10	61.6739	157.7143	156.6667	201.1819	586.7968
12	73.9617	156.4286	180.0000	166.8465	586.7968
14	72.9498	155.5102	203.3333	145.4434	586.7968
16	64.6737	154.8214	226.6667	131.0750	586.7968
18	52.0628	154.2857	250.0000	120.8883	586.7968
20	36.6884	153.8572	273.3333	113.3579	586.7968

注: 从数据片到图像片的距离为: 1870.641 (mm)

表 2 斜平面光学处理器五透镜结构参数

透镜名称	L_1-LEN	L_2-LEN	L_3-LEN	L_4-LEN	L_5-LEN
R_1 (mm)	428.8267	428.8267	113.5896		258.6010
R_2 (mm)	-166.4226	-166.4226	-91.4192	-127.0000	-16.5071
R_3 (mm)	-354.2818	-354.2818	-618.4115	17.7200	-31.256
d_1 (mm)	7.7	7.7	7.8		3.5
d_2 (mm)	7.0	7.0	5.0	3.0	3.0
玻璃组合	K9-ZF2	K9-ZF2	ZK11-ZF6	K9	K9-ZF2
透镜类型	双胶合	双胶合	双胶合	单透镜	双胶合

注: 表中 R_1, R_2, R_3 代表透镜各面的半径。 d_1, d_2 表示正负透镜的中心厚度。

七、结 论

1. 我们设计的小型化处理器的体积大约是原来 HG—1 型斜平面光学处理器体积的一半, 能够实现现场处理。

2. 我们设计的处理器光学系统的变倍范围为 $8^{\times} \sim 20^{\times}$ 。在 1:15 万的比例尺下可以达到的地面分辨率为 7m。整个处理器的地面分辨率达到 10 米, 完全能够满足雷达数据处理的要求。

参 考 文 献

- [1] A. Kozma, E. N. Leith and N. G. Massey; Applied Optical, 11, No. 8 1766~1777 (1972)
- [2] 李品新; 光学机械, 1983, No.1
- [3] 王之江; 《光学设计理论基础》1985 (科学出版社)
- [4] 胡家陞、董玉芝; 光学机械, 1985, No.5

A Study of Small-sized System of Synthetic Aperture Radar Processor

Shao Deqi

Abstract

In this paper the plan of small-sized processor is put forward according to the real requirement of SAR data processing on the basis of HG-1 mode title-plane optical processor and the design of the optical system of small-sized processor is completed, its vary-power range is $8^{\times} \sim 20^{\times}$. The ground resolution of optical system is 7m on the scale of 1:150000, the volume of small-sized processor is about half that of HG-1 mode processor.