

合成孔径雷达图像斜距畸变的校正

胡家陞 曹任法 张宪英

摘要: 在合成孔径雷达成像过程中, 由于斜距和地距的差别, 会引起斜距畸变。本文详细地讨论了这种畸变, 并提出了校正这种畸变用的双棱镜和四棱镜系统。

一、引 言

自从1960年世界上第一个合成孔径雷达问世以来^[1], 经过二十多年的发展, 现在已经成为一种高分辨率的成像技术, 成为遥感技术的一种手段, 它在地球资源考察、海水污染和洪水监测等方面应用很广。

合成孔径雷达的成像过程比较复杂^{[2][3][4]}。雷达安装在飞机或空间载体上, 当它们飞行时, 雷达以一定的频率发射编码脉冲信号, 同时相干地接收由地面目标返回的信号。经过相干迭加处理后, 输出到CRT上, 调制CRT扫描光点的强度, 而后用照相机把它记录在以适当速度运动的胶片上, 形成数据片, 如图1所示。

在记录过程中, 由于飞机和地物之间有相对运动, 就会存在多普勒频移, 因此, 返回信号的频率就会发生变化。地面上每一点返回的信号, 在胶片上相当于一个费涅尔带板, 多个目标返回信号的组合记录就形成了一个准全息图。这样得到的数据胶片, 有聚焦特性。在方位(航向)方向和斜距方向的焦距分别为:

$$f_s = \frac{1}{2P^2} \frac{\lambda_r}{\lambda_i} R \quad (1)$$

$$f_a = \frac{C^2}{4\lambda_r \gamma q^2}$$

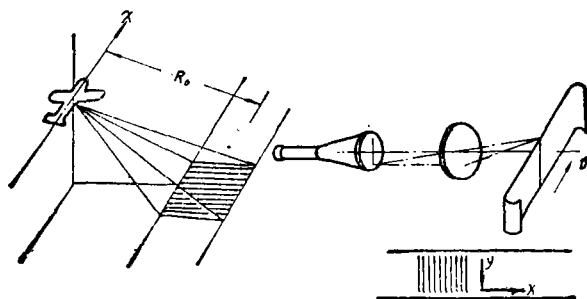


图 1

在通常情况下，二维焦距是不相等的。即两维焦面是相互分离的。光学处理的目之一就是使这两个焦面重合在一起^[5]。

在信号记录过程中，两维的比例尺 P 和 q 通常是不相等的。在光学处理时要予以校正。对于斜平面处理器^[4]，通过改变柱面望远系统的倍率可以做到这一点。在斜距维中，由于倾斜距离和地面距离的差别，会产生所谓的斜距畸变，有时可达到10%以上，也应予以校正。下面主要讨论这种畸变及其校正方法。

二、斜距畸变

在雷达记录的数据片上，距离维是按斜距记录的，然而我们要求的却是地面的距离，这两者之间的差别我们称之为斜距畸变。由图2我们可以看出，数据片上 P_1 点和 P_2 点之间的距离为：

$$\Delta R = \frac{R_1 - R_2}{q} \quad (2)$$

而我们期望的 P_1 和 P_2 点间的距离为

$$\Delta G = \frac{G_1 - G_2}{q} \quad (3)$$

很明显， P_1 和 P_2 点间的畸变值为 $\Delta R/\Delta G$ ，我们很容易求得：

$$G = \sqrt{R^2 - H^2} \quad (4)$$

这样， P_1 点和 P_2 点的畸变为：

$$W_s = \frac{\Delta R}{\Delta G} = \frac{R_1 - R_2}{\sqrt{R_1^2 - H^2} - \sqrt{R_2^2 - H^2}} \quad (5)$$

由公式5我们看出，畸变值是斜距 R 的函数，这就是说在 P_1 和 P_2 之间的不同位置处，其畸变量也是不同的。如果我们仅仅校正 P_1 和 P_2 点间的畸变，那么还会有剩余畸变存在，我们很容易计算出每一点处的畸变。

$$W = \frac{dR}{dG} = \frac{R}{\sqrt{R^2 - H^2}} = \cos\theta \quad (6)$$

如果我们能设计出一个系统，使其畸变量的变化满足

$$M_s = 1/W = 1/\cos\theta \quad (7)$$

的要求，那么在每一点处的斜距畸变都得到了完好的校正，要设计这样的系统比较困难，而且通常也不必要。只要对平均畸变予以校正也就可以了。

三、用于一维畸变校正的折射棱镜系统

在普通轴对称成象系统中，其二维放大率是相同的，不适用校正一维畸变。但用折射棱镜或柱面镜系统都可以实现预期的一维放大率变化，而对另一维不起作用，本节主要讨论折射棱镜系统。

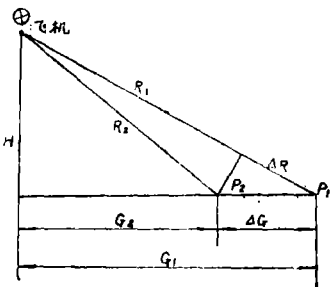


图2

(一) 单折射棱镜

其光线追迹公式为:

$$\sin I_1' = \sin I_1 / N$$

$$I_2 = I_1' - \alpha$$

$$\sin I_2' = N \sin I_2$$

$$\delta = \alpha + I_2' - I_1$$

$$M_R = \frac{\cos I_1' \cos I_2'}{\cos I_1 \cos I_2}$$

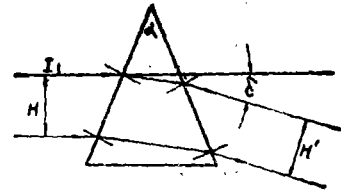


图3 单折射棱镜

上式中 δ 为出射光束与入射光线的偏角, M_R 为系统放大率。经过计算我们知道, 单折射棱镜只能产生小于1的放大率, 而且引起的偏角太大, 像差较严重, 因此无法采用。

(二) 双棱镜系统

我们选取图3所示的双棱镜系统, 使两个棱镜的顶角 α 相等。这样它的组合效果相当于平板玻璃, 它们的光线公式为:

$$\sin I_1' = \sin I_1 / N$$

$$I_2 = I_1' - \alpha$$

$$\sin I_2' = N \sin I_2$$

$$\delta_1 = \alpha_1 + I_2' - I_1$$

$$I_3 = I_2' - \beta$$

$$\sin I_3' = \sin I_3 / N$$

$$I_4 = I_3' - \alpha_2$$

$$\sin I_4' = N \sin I_4$$

$$\delta_2 = \alpha_2 + I_4' - I_3$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2$$

$$M_R = \frac{\cos I_1' \cos I_2' \cos I_3' \cos I_4'}{\cos I_1 \cos I_2 \cos I_3 \cos I_4}$$

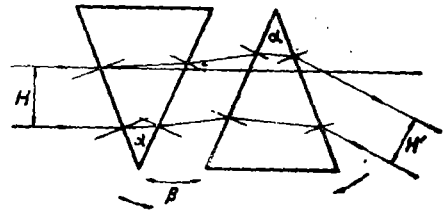


图4

适当的改变两棱镜间的夹角 β , 亦即反向旋转两个棱镜可以获得所需要的放大率 M_R 。

表1 列出了放大率和夹角间的关系

$\alpha_1 = \alpha_2 = 15^\circ$			
$N = 1.51475$			
$(K, \text{玻璃}, \lambda = 6328\mu)$			
I_1	β	δ	M_R
-7.5	0	0	0
-8.5	-2	-0.0315	1.008
-10.5	-6	-0.0941	1.025
-12.5	-10	-0.157	1.053
-14.5	-14	-0.221	1.06
-15	-15	-0.237	1.064

由表 1 可见，双棱镜系统产生的放大率有限，但引起较大的偏角，偏角的加大给后面的成像系统增加负担；因为使轴上光束变为轴外光束。因此当要求较大的放大率时，显然双棱镜系统是不适合的。

(三) 四棱镜系统

为了能够获得所需要的放大率，而且偏角要尽量地小，我们采用四棱镜系统，如图 4 所示，其光线公式为

$$\sin I_1' = \sin I_1 / N$$

$$I_2 = I_1' - \alpha$$

$$\sin I_2' = N \sin I_2$$

$$\delta_1 = \alpha_1 + I_2' - I_1$$

$$I_3 = I_2' - \beta$$

$$\sin I_3' = \sin I_3 / N$$

$$I_4 = I_3' - \alpha_2$$

$$\sin I_4' = \sin I_4 / N$$

$$I_5 = I_4' - \alpha_2$$

$$\sin I_5' = N \sin I_5$$

$$\delta_2 = \alpha_2 + I_5' - I_3$$

$$I_6 = I_5' - \beta$$

$$\sin I_6' = \sin I_6 / N$$

$$I_7 = I_6' - \alpha_3$$

$$\sin I_7' = N \sin I_7$$

$$\delta_3 = I_7' + I_6' - I_5 - I_4$$

$$I_8 = I_7' - \beta_3$$

$$\sin I_8' = \sin I_8 / N$$

$$I_9 = I_8' - \alpha_4$$

$$\sin I_9' = N \sin I_9$$

$$\delta_4 = I_9' + I_8' - I_7 - I_6$$

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4$$

$$M_H = \frac{\cos I_1' \cos I_2' \cos I_3' \cos I_4' \cos I_5' \cos I_6' \cos I_7' \cos I_8'}{\cos I_1 \cos I_2 \cos I_3 \cos I_4 \cos I_5 \cos I_6 \cos I_7 \cos I_8}$$

表 2 说明了四棱镜系统需要校正的畸变量与棱镜顶角、旋转角之间的关系。

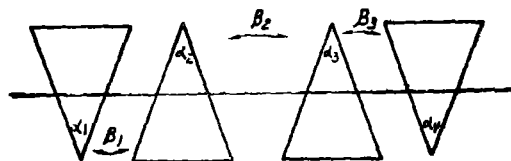


图 5 四棱镜系统

表2

$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 - \alpha_4 = 15^\circ$				$N = 1.51475$	
I_1	β_1	β_2	β_3	δ	M_R
-7.5	0	15	0	0	1
-9.5	-4	15	2	.000255	1.0164
-10.5	-6	15	6	.00228	1.0502
-12.5	-10	15	10	.00632	1.0556
-14.5	14	15	14	.01245	1.123
-15	15	15	15	.0143	1.1326

比较表1和表2, 棱镜的旋转角度相同时, 四棱镜引起的偏角要比双棱镜系统小得多, 甚至差一个数量级, 而产生的放大率比双棱镜系统要大一倍还多, 因此对于需要校正的畸变量较大的情况, 采用四棱镜系统是比较合适的。

四、讨 论

由上面的讨论我们可以得到下面的结论:

1. 用折射棱镜系统可以校正一维放大率畸变, 对另一维不产生影响, 并且基本不改变原来的物象关系。四棱镜系统优于双棱镜系统。

2. 对于一维斜距畸变而言, 它是斜距 R 的函数, 而四棱镜所能校正放大率畸变, 仅仅是其平均值, 因此会有残留畸变存在, 不能完全校正。

3. 用柱面镜系统, 也可以校正一维放大率畸变, 但它加工困难, 还要破坏物象关系。因此需要校正的放大率畸变不大(通常不大于1:1.15)时, 还是采用棱镜系统为好。

参 考 文 献

- [1] L. J. Cutrona et al., A High-Resolution Radar Combat-Surveillance System, IRE Transactions on Military Electronics, 1961, April, 127—130
- [2] E. N. Leith, Quasi-Holographic Techniques on the Microwave Region, Proc. of IEEE, 1971, 59, No. 9, 1305~1318
- [3] E. N. Leith and A. L. Ingalls, Synthetic Antenna Data Processing by Wavefront Reconstruction, Applied Optics, 1968, 7, No. 3, 539—544
- [4] L. J. Cutrona et al., On the Application of Coherent Optical Processing Techniques to Synthetic Aperture Radar, Proc. of IEEE, 1966, 54, No. 8, 1026—1032
- [5] A. Kozma et al., Tilted-plane Optical Processor, Applied Optics, 1972, 11, No. 8, 1766—1777

Correction of Slant to Ground Range Scale Change for SAR Map

Hu Jiasheng Cao Renfa Zhang Xianying

Abstract

The SAR data film in the range direction is recorded in slant range. It is, in fact, desirable to produce an image that is in ground range. This difference results in a scale change in the range dimension. This paper discusses in detail and shows refractive two and four prism systems for correcting the scale change.