

合成孔径旁视雷达图象几何误差的校正

袁 慧 坤

(中国科学院电子学研究所)

提 要

本文介绍了合成孔径旁视雷达图象几何误差的产生原因与分析了楔形透镜的校正原理。用楔形透镜放大器来校正旁视雷达图象的几何误差,最后得到较精确的雷达图象。

在合成孔径旁视雷达数据的处理中,光学信息处理技术得到成功的应用,充分显示了光学信息处理的巨大的计算能力和费用便宜的优点。近年来旁视雷达数据一般是采用了斜平面光学处理器^[1]来进行处理,并获得了高分辨力的雷达图象。

旁视雷达数据具有二维性,在斜平面光学处理中只对其方向向信息进行了校正,它是由调节处理器的柱面望远镜系统所得到的。但是雷达数据的距离对信息没有进行校正,用斜平面光学处理器所获得的雷达图象就存在着几何误差。为了得到精确的目标图象,必须对雷达图象的几何误差进行校正。

一、图象的几何误差估算

旁视雷达向地面目标发射一倾斜微波波束,如图1所示,并接收地面目标的回波信号,进行相干记录形成雷达数据。它的斜距(R_t)可用下式表示

$$R^2(t) = \left[vt + v_t t - \frac{1}{2} a_t t^2 \right]^2 + \left[R_0 - v_r t - \frac{1}{2} a_r t^2 \right]^2,$$

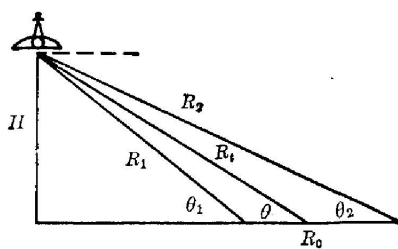


图1 侧视雷达工作几何关系
Fig. 1 Side-looking radar system geometry

式中 v_r 、 a_r ; v_t 、 a_t 为地面目标的速度与加速度, R_0 为地距, v 为飞机速度, t 为时间。在雷达的显示记录系统中对地面目标信息的记录只是进行了斜距的记录,记录在雷达数据上的地面目标信息起了压缩作用而造成了雷达图象的几何误差。在图1中, H 为飞行高度, R_2 为最大斜距, R_1 为最小斜距, R_t 为斜距, θ 为雷达俯角, R_0 为地距。从雷达工作几何关系图中得 $R_0 = R_t \cos \theta$, 于是几何误差 Δ 为

$$\Delta = (R_t / R_0) = (1 / \cos \theta)。$$

若 $\theta_1 = 25^\circ$, $\theta_2 = 15^\circ$ 时, $\Delta_1 = 1.103$, $\Delta_2 = 1.035$ 。从 Δ_1 来看,它的几何误差可达 10% 左右。如果 $R_1 = 25$ km 时,几何误差可达 2.5 km,在雷达图象上就出现了目标的畸变。为消除这种畸变,采用了楔形透镜放大器,以对雷达图象几何误差进行了校正。

二、楔形透镜校正器

1. 单个楔形透镜的放大原理^[2]

宽度为 W_λ 的平行光束入射到楔形透镜的垂直平面上(如图 2 所示), 光束经过楔形透镜后成投影宽度为 W_μ 的出射光束, 由于 $W_\lambda > W_\mu$, 所以说楔形透镜起了压缩作用, 其压缩系数 K_θ , 可由图 2 的几何关系计算得到

$$K_\theta = (W_\mu/W_\lambda) = \cos(\theta + \alpha)/\cos\theta. \quad (1)$$

反之, 若平行光束从楔形透镜的斜边入射时, 楔形透镜起着放大作用, 所以楔形透镜能达到几何校正功能。但就单个楔形透镜而言, 只有单一的折射角 θ , 它的放大系数只能是一个固定值, 所以, 单一的楔形透镜是不适合用于雷达图象几何误差的校正。

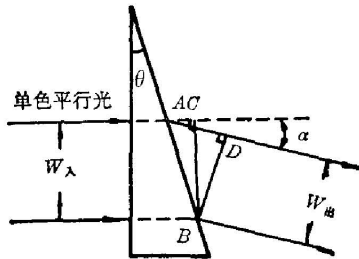
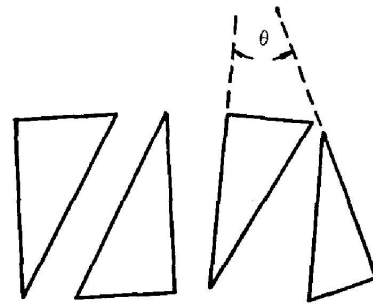


图 2 楔形透镜工作原理图

Fig. 2 Geometry of wedge-len system



(a) $K_\theta=1$ 不校正 (b) 校正状态

图 3 楔形透镜放大校正原理图

Fig. 3 Geometry of correcting principle of wedge-len system

(a) $K_\theta=1$ without; (b) Adjustment state

2. 楔形透镜放大器

从上面可知, 旁视雷达图象的几何误差是有一定的范围的变化。用一对楔形透镜组成的楔形透镜放大器(如图 3 所示), 以旋转两个楔形透镜的相对角度来得到放大系数 K_θ 的变化。在图 3(a) 的状态时, $K_\theta=1$ 。在图 3(b) 时其 K_θ 值可由(1)式计算求得, 如表 1 所示。设计楔形透镜放大器时应注意到:

1) 楔形透镜工作在单色平行光中, 可以不考虑其消色差;

表 1 旋转角 θ 与放大系数 K_θ 的关系

Table 1 Relationship of amplifying factor K_θ with rotation angle θ

θ (度)	K_θ	θ (度)	K_θ
0	1	12	1.0384
2	1.001	15	1.0626
4	1.004	16	1.0729
5	1.006	18	1.0976
8	1.0162	20	1.1273
10	1.0256		

2) 在选择单个楔形透镜时, 必须考虑其折射角 θ 不宜过大, 同时对透镜材料选用折射率 n 较小的光学玻璃材料, 以防止偏向角 α 太大, 避免象的畸变;

3) 楔形透镜放大器的旋转角度也不宜过大, 并且放大器的通光面积要足够大, 以保证雷达数据的通过。

三、旁视雷达图象几何误差的校正实验

1. 斜平面光学处理系统

数据胶片的距离焦平面 1:1 成象到图象胶片上。后面三个柱面透镜 L_3 、 L_4 、 L_5 组成放大率等于 $1/K$ 的方位望远镜 (K 为雷达的方位比), 它把数据胶片和图象胶片同时倾斜适当的

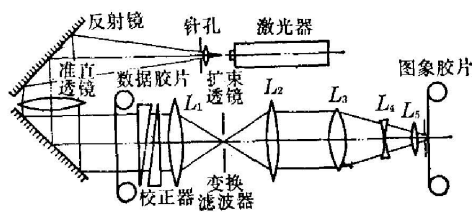


图 4 斜平面光学处理器

Fig. 4 Tilted-plane optical processor

就能使距离和方位的象同时在图象胶片上重合得到图象。由于方位望远镜把图象在方位方向缩小了 K 倍, 最后的图象趋于相同了。在处理时, 旁视雷达数据一般用斜平面光学处理器 (如图 4 所示)。在图中从激光器发出单色相干光经过扩束、针孔滤波、准直以后成为大孔径的均匀平行光照射到旁视雷达数据胶片上, 由一对相同焦距的球面透镜 L_1 、 L_2 组成距离望远镜, 它把数据

胶片与图象胶片同步移动, 就得到连续的雷达图象。

2. 雷达图象几何误差校正系统

在斜平面光学处理系统中, 可以看到在处理距离方向的象时, 只是 1:1 成象到图象胶片上, 它对图象的几何误差没有任何的校正处理。在斜平面光学处理系统中, 将楔形透镜放大器放在雷达数据胶片的后面与 L_1 球面透镜的前面 (如图 5 所示), 这需要重新调整光学处理系统的相对位置。在校正处理时, 根据图象几何误差的数值来调节旋转楔形透镜放大器的楔形透镜的相对角度, 以达到校正作用。由于 R_t 的函数的误差是非线性的, 因此不可能用楔形透镜放大器作精确的校正。可对 $R(t)$ 的最大误差与最小误差采用分段校正和平均值校正, 得出各种校正的雷达图象。

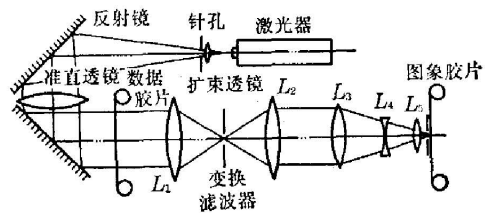


图 5 雷达图象几何误差校正系统

Fig. 5 Adjustable system of radar image geometry error

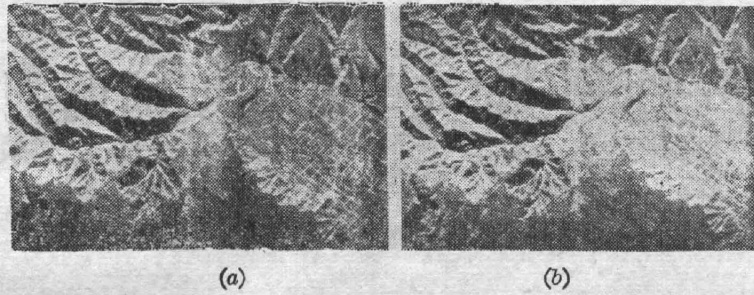
3. 楔形透镜校正器的实验参数

在校正的实验中, 根据旁视雷达数据的需要, 设计了楔形透镜校正器, 其参数是:

雷达数据信息通过面积 S 为 $100\text{ mm} \times 80\text{ mm}$; 几何误差校正系数 K_0 为 $1 \sim 1.25$; 楔形透镜相对旋转角度 θ 为 $0^\circ \sim 30^\circ$ 。

图 6 是旁视雷达数据经过平均值校正处理所获得的较精确雷达图象。对图象畸变有所改善, 并提高了目标信息的准确度。

在设计雷达图象几何误差校正的楔形透镜校正器中曾得到张澄波、宋家骏、叶华强、



(a) (b)

图 6 合成孔径旁视雷达图象

Fig. 6 SALR image

(a) Without correction; (b) With correction

杨汝良等同志的帮助，在楔形透镜校正器的光学设计中得到了清华大学精仪系王民强副教授的指点，在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] A. Kozma, E. N. Leith and N. G. Massey; *Appl. Opt.*, 1972, 11, No. 8 (Aug), 1766.
 [2] Под Редакцией, И. А. Турыгина; «Расчеты оптических систем», (Оборонгиз, 1961).

Adjustment of image geometry error for synthetic aperture side-locking radar

YUAN HUIKUM

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

(Received 1 August 1983; revised 12 December 1983)

Abstract

This paper reports the causes of image geometry error for synthetic aperture side-locking radar (SALR) and analyses of correcting principle with wedge-len. Radar image geometry error is corrected with an amplifier of the wedge-len and more accurate radar image has been obtained.