

合成孔径侧视雷达影象平面加密精度

顾天襄

【提要】 本文是通过三条合成孔径侧视雷达航带影象的几何处理，检验它的平面加密精度，分析其今后测制中小比例尺地图的前景。

几何处理分两步进行：（1）由雷达影象改化成地面坐标。这个过程包括影象的测距方向，航向，地面高差和地球弯曲等项改正。（2）由地面坐标变换到大地坐标。根据158个检查点计算坐标均方根误差（以影象比例尺表示）为

$$m_x = 0.09\text{mm}, m_y = 0.08\text{mm}, m_s = 0.12\text{mm}.$$

以上的精度完全满足测制1:5万地图加密点精度要求，同时也适合于测制边远地区1:2.5万地图精度。

根据实际计算结果表明，由地面变换到大地坐标，最佳精度并不一定是Derenyi, Leberl推导的高次多项式，而是不含有 y^2 项的二次多项式，因此可以认为二次多项式为该雷达系统成象变形规律。

理论的分析与计算结果说明，侧视雷达影象的改化，特需考虑投影差的改正，它能显著地提高平面精度，而侧视雷达航带影象的分段处理也有利于提高平面精度。

侧视雷达比航空摄影机摄象的优越性是不受气象和时间条件的限制，它是一种主动遥感系统，工作在微波段，它可以穿透云、雾、烟，在夜间也能摄象，并且能有意识选择某个波段和发射方向，探测目标的特征项目，因此在军事、地质和资源开发等领域得到广泛的应用。近年来，侧视雷达采用了合成孔径技术，影象分辨力迅速提高，而且其分辨力几乎与距离无关，已达到能与光学系统相比拟的程度。侧视雷达的影象是距离投影，它在测距方向表达的是由飞机天线到地面目标的斜距，因此在数据处理方面不同于中心投影。由于侧视雷达的影象成带状，因此它是现成的，可直接以航带进行平面加密的资料。本文结合了三条平行的合成孔径影象航带的几何处理，检验它的平面加密精度，分析今后应用在测制中小比例尺，边远地区和修测地图等方面的前景。

使用的资料

本文所使用的合成孔径侧视雷达影象资料，是由美国密执安环境研究所(ERIM)研制的相干雷达系统，装载在加拿大遥感中心飞机上摄取的。飞机东西向摄象，飞行高度约7公里(图1)。飞机的天线在一侧方向向地面发射微波脉冲，脉冲的中心光束与水平线间的夹角(俯角)为 24° ，摄影比例尺为1:135000，航带影象之间约有60%的重迭，由三条平行的航带构成一个区域。雷达天线测距方向截止时间 t_c ，延迟时间 t_d ，连同航高，它们的精确数

本文所用的雷达影象资料是由加拿大新不伦瑞克大学Derenyi教授提供的，在此，对Derenyi教授深表感谢。

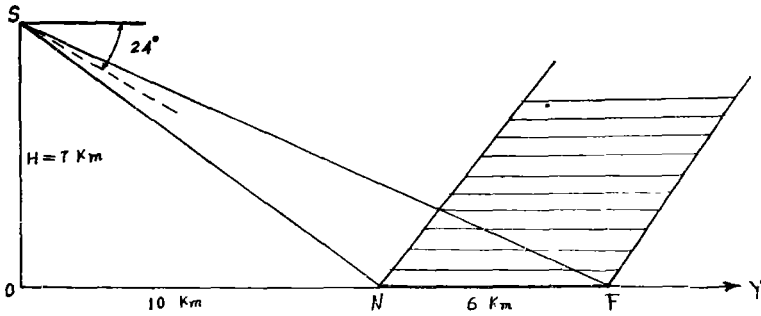


图 1

据都是已知的。因此根据 t_e 与 t_d 可以计算在测距方向天线至地面最远边与最近边的斜距 SF , SN 。

$$SF = \frac{c \cdot t_e}{2}$$

$$SN = \frac{c \cdot t_d}{2}$$

c 为电磁波在空中传播的速度 $c = 3 \times 10^8$ 米/秒。由航高、 SF 与 SN 可算得雷达影象覆盖地面的宽度约为 6km。侧视雷达电磁波的发送与接收可以是水平或垂直的, 因此有四种极化状态, 通常用两个英文字母来表示, 例 HV 表示电磁波水平极发送垂直极接收。ERIM 系统可记录两个波段四个通道的数据, 即

X 波段 (3 cm) HH 和 HV 通道

L 波段 (25cm) HH 和 HV 通道

它的标定分辨力为

	距离方向	方位 (飞行) 方向
X 波段	1.5m	2.1 m
L 波段	2.5m	2.1 m

比较了这些资料, 选用 X 波段, HH 通道的雷达影象进行量测象点坐标较为合适。它的地物影象反差大、清晰、易于观测与辨认。另外, 在所用侧视雷达影象的软片上, 没有记录测距与时间标志, 这就要在进行距离改化时考虑到这一实际情况。

侧视雷达影象测距方向改化

侧视雷达航带的影象, 在飞行方向 SX 与测距方向 SY 是彼此独立产生 (图 2)。飞行方向的影象是飞机向前移动的结果。与飞行方向垂直的测距方向是雷达在 ZSY 平面向地面发射微波而形成的, 它表达的是由飞机天线至地面目标之间的斜距, 而不是真实的实地距离, 因此需要进行由斜距改化成实地距离的计算。

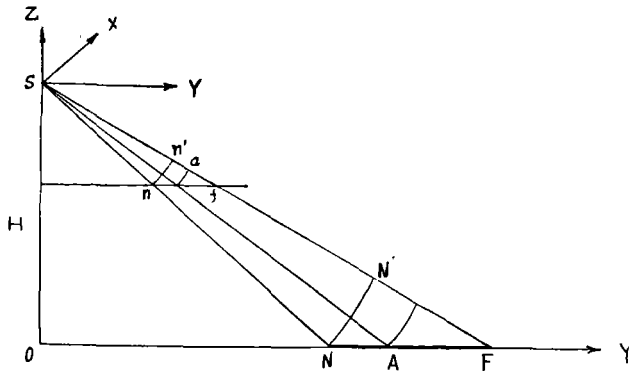


图2

按图2可知，如果地面上F点构象为f，地面N点按同样的构象比例尺则构象在n'，因此地面上宽度为NF的航带，其构象的宽度为n'f。由此可见，在测距方向不能直接用地面控制点之间距离与相应象点之间长度的比值求影象比例尺。在目前导航技术条件下，航高H以及近距SN与远距SF能较精确的确定，在平坦地区能保持恒定常数。这样可利用这些常数按下式计算测距方向影象比例尺。

$$M_y = \frac{SF - SN}{n'f} = \frac{N'F}{y^f - y_{n'}} \quad (1)$$

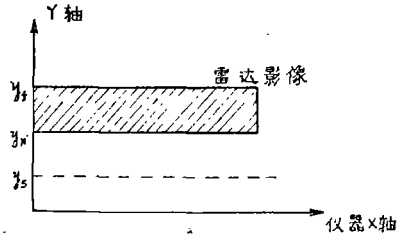


图3

不象航空象片那样，侧视雷达影象是没有内方位元素的，因此象坐标系统可按我们计算处理方便加以选取。在进行量测象点坐标时，安放雷达影象航带，使近距边平行于立体坐标量测仪的x轴，其纵坐标读数为y_n'，远距边纵坐标读数为y_f，则飞行方向S的纵坐标为

$$y_s = \frac{SF \times y_{n'} - SN \times y_f}{SF - SN} \quad (2)$$

有了M_y与y_s后，就可以改化测距方向上任一象点的斜距SA为地面水平距离OA

$$SA = (y_n - y_s) M_y \quad (3)$$

$$OA = (SA^2 - H^2)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

当地面有起伏，在已知其高程情况下可按

$$OA_o = (SA^2 - (H - h)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

进行计算。

由于我们所使用的资料属丘陵地区，因此还需研究一下高程差对水平距的影响，即需作投影差的改正。这个问题对扫描类型遥感影象单象纠正是个普遍性的问题，但对侧视雷达影象的影响更为突出。

地面高程差对水平距离的影响

设有一高程差为 h 的目标点 A (图4), 其正射投影为 A_0 。 SA 为斜距, 相应的水平距为 Y' , 因此地面高差所引起的移位为

$$\Delta Y = Y' - Y \tag{6}$$

由图4可知

$$Y' = (SA^2 - H^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$Y = (SA^2 - (H-h)^2)^{\frac{1}{2}}$$

从上述二式中消去 SA^2 得:

$$Y'^2 - Y^2 = (H-h)^2 - H^2 = -2Hh + h^2$$

$$Y' = (Y^2 - 2h(H-h))^{\frac{1}{2}}$$

将上式代入(6)式得:

$$\Delta Y = Y \left(\sqrt{1 - \frac{h(2H-h)}{Y^2}} - 1 \right) \tag{7}$$

(7) 式为计算投影差的严格公式。

若 $Y^2 \gg |h(2H-h)|$, $H \gg h$, 将(7)展开, 得

$$\Delta Y = -\frac{H}{Y}h \tag{8}$$

(8) 式为计算投影差的近似公式。

在实际进行计算时应注意的是投影差改正的方向问题, 这主要与航空象片改正投影差方向有所不同。图5为航空摄影时的位置。侧视雷达影象在飞行方向无投影差, 只有在扫描的测距方向存在投影差的改正问题。而航空象片在任何方向(除底点外)都可出现投影差, 由图5可知, 相应在地面上投影差改正为

$$\Delta Y = -\frac{h}{H-h} Y \tag{9}$$

比较图4和5可知。当高差都为正时, 如在雷达影象上改正投影差应沿着 Sa 向外改正至 a_0 。在航空象片上应向着主点(或底点)改正至 a_0 。在地面上, 雷达摄象应由 A_0 至 A' 向内改正投影差, 而航空摄影时应由 A_0 至 A' 向外改正投影差, 所以两者正好方向相反, 这也反映在(8)与(9)式有一个负号之差。其次, 雷达影象的投影差与航高成正比, 与距离成反比, 又与航空摄影情况相反。分析式(8)可知, 当 $Y = 0$ 时, 投影差趋于无穷大。为了限制投影差, 所以侧视雷达一般在飞机的一侧或双侧距离飞行轨迹某一距离才开始摄象。

联系我们所用的资料, 测区平均高差为 ± 20 米, $H = 7$ 公里, $Y = 14$ 公里, 使用(8)

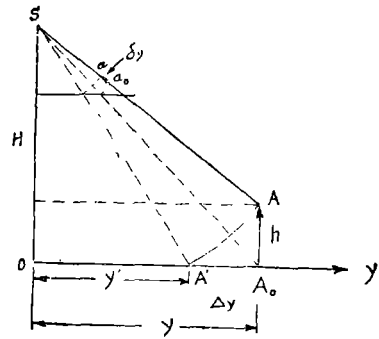


图4

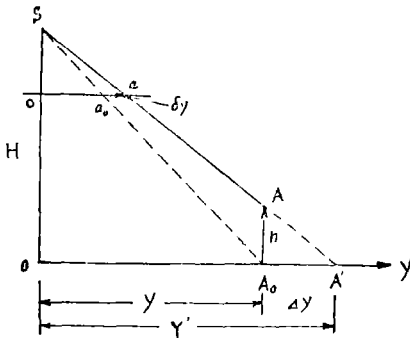


图5

式算得

$$|\Delta Y| = -\frac{H}{Y}h = 10 \text{米}$$

由此可见，虽然地面高差不大，但其投影差影响较大，因此在单象纠正时，应考虑地面高差的影响。

测距方向地球弯曲影响改正

侧视雷达一般是小比例尺摄影，航高较大，因此要顾及到地球弯曲的影响。在有地球弯曲和无地面起伏的情况下，地面点A'在O点处水平面上的正射投影为A₀点。当地面有起伏，如图(6)目标点A高出地面AA'=h，我们可首先将A点投影到水准面上得A'，然后再由A'投影到A₀。

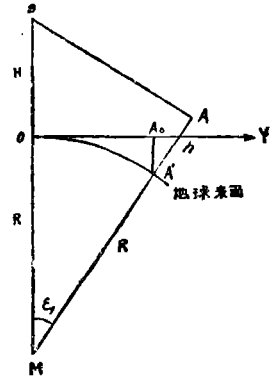


图 6

按图(6)三角形SMA可计算ε_y

$$\cos \epsilon_y = \frac{(R+H)^2 + (R+h)^2 - SA^2}{2(R+H)(R+h)} \quad (10)$$

$$OA_0 = R \sin \epsilon_y \quad (11)$$

按我们所用的资料，当R=6380公里，H=7公里，SA=17公里的情况下，使用(10)(11)式与使用(5)式计算地面水平距OA₀，两者之差可达9米，因此使用(10)(11)式将斜距改化成水平距较合理。

飞行方向距离改化

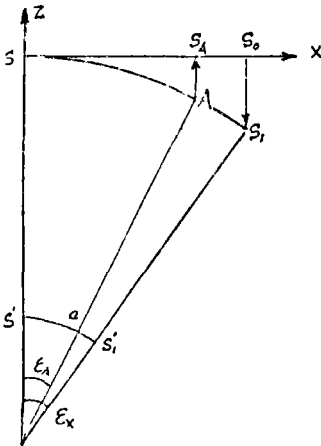


图 7

侧视雷达摄影时，飞机是沿着地球的大圆弧SS₁飞行，其影象是缩小了的圆弧s's'₁，因此需将圆弧的距离向水平面投影作改化(图7)。这种距离改化需在航线两端有控制点情况下进行的，例如在图上S与S₀。控制点S₀在地球表面上相应为S₁，因此首先由S₀向S₁进行改化。

$$\sin \epsilon_x = \frac{SS_0}{R} \quad (13)$$

$$SS_1 = R \epsilon_x \quad (14)$$

此时可计算雷达影象在X方向比例尺

$$M_x = \frac{SS_1(\text{地球上})}{s's'_1(\text{影象上})} \quad (15)$$

在航带中间如有其它控制点，则可以求得几个比例尺，然后取其平均数。如果量测任一象点s'a=x_a，则它相应的地面水平距SS_A应为

$$SS_A = R \sin \epsilon_A \quad (16)$$

$$\varepsilon_A = \frac{SA}{R} = \frac{M_x x_a}{R} \quad (17)$$

平差计算和精度分析

整个计算分两步进行。第一步先将雷达影象坐标改化成地面坐标，这一步计算在以上几节已述。第二步将这些地面坐标通过大地控制点用多项式拟合到地面坐标系。最后得到加密点的大地坐标。Derenyi 和 Leberl 都已证明了在平坦地区，侧视雷达在成象过程中，雷达天线受飞机外方位元素的影响是随时间而变化，或者说随飞机飞行的距离而变化。因而外方位元素对地面坐标位置误差的影响，可以用一个多项式来表达。由这个基本出发点 Derenyi 和 Leberl 各自导出了地面坐标位置误差公式，现将他们的公式分列如下：

$$D: \begin{cases} \Delta X = A_1 + A_2 X + A_3 Y + A_4 X^2 + A_5 XY + A_6 X^2 Y + A_7 X^3 \\ \Delta Y = B_1 + B_2 X + B_3 Y + B_4 X^2 + B_5 XY + B_6 X^2 Y + B_7 X^3 Y \end{cases}$$

$$L: \begin{cases} \Delta X = A_1 + A_2 X + A_3 Y + A_4 X^2 + A_5 XY + A_6 X^2 Y \\ \Delta Y = B_1 + B_2 X + B_3 Y + B_4 X^2 + B_5 XY + B_6 Y^2 \end{cases}$$

比较以上两组公式可知，在 X 坐标方向前者比后者多增加一项三次项 $A_7 X^3$ 。在 Y 坐标方向，在二次项范围内有明显的差别。然而，Derenyi 与 Leberl 在推演他们的公式时，都采用了同样的假设，即外方位元素是飞行距离 X 的二次多项式，但是在公式的最后形式上差异较大。这说明在理论推导方面还有不够完善之处，有它们的近似性。也有些人认为，如苏联 Лье，雷达影象构象的过程较为复杂，除受外方位元素影响外，还有雷达系统，胶片摄影处理以及合成孔径数据后处理等误差，这些误差对地面坐标综合影响，可用一个 X 和 Y 坐标的多项式来表示较合适。多项式阶数和形式最好还是通过实验加以确定，这总比生硬地用一个固定的多项式描述它的误差规律要合理。本文根据这一思想，不受多项式形式与阶数的限制，确定多项式的形式，从而得出描述这个雷达系统成象误差规律最佳多项式形式。

所用的三条雷达影象航带的平面控制点是利用同地区 1 : 5 万比例尺航空象片资料进行解析法空中三角加密而得，利用这些加密点连同控制点，作为检验坐标精度的依据。三条航线共使用 158 个均匀分布检查点计算坐标精度。雷达影象坐标是在精密立体坐标量测仪 PSK 上量测，读数至 $1 \mu\text{m}$ 。由于航线较长，已超过仪器实际量测的范围，因此需把航线分成两段进行量测，两航线段之间要有重叠量测部份，以便将第二航线段量测的象点坐标归化到第一个航线段中去。

经过多项式拟合之后，在检查点上的地面坐标精度按下列公式计算。

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum d_x^2}{n}}, \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum d_y^2}{n}}, \quad m_a = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$$

d_x, d_y 表示计算点与检查点上 X、Y 坐标差。

n 为检查点个数

对于整条航线（称长航线）使用均匀分布的 7 对控制点计算多项式的系数。计算的坐标精度列于表（一）、（二）、（三）中。表（四）为这三条平行航线组成区域，统计它们的平均坐标精度。表中多项式栏中 3, 4, 5, L 和 D, 分别表示用多项式 3 项（仿射变换），

4项(增加 X^2 项), 5项(又增加 XY 项), Leberl公式以及Derenyi公式计算的结果。在整条航线的基础上, 分成前后两段(称为短航线), 这样每段有4对控制点计算多项式的系数。此时短航线的长度相当于1:5万图幅的边长。其计算的结果列于表(五), (六), (七)。表(八)为这六条短航线组成区域统计它们的平均坐标精度。由于在长航线计算的结果表明, 用4项多项式已能得到稳定的精度, 所以在短航线计算时仅取用4项多项式。为了能与相应长航线进行精度比较, 用下列三式进行归算。

$$m_x = \sqrt{\frac{m_{x1}^2 n_1 + m_{x2}^2 n_2}{n_1 + n_2}}$$

$$m_y = \sqrt{\frac{m_{y1}^2 n_1 + m_{y2}^2 n_2}{n_1 + n_2}}$$

$$m_s = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$$

n_1, n_2 为前后短航线检查点点数

在各表中凡有括号(m_y)表示在改化测距方向Y坐标时使用了该点高程数据进行投影差改正。这些高程数据取自解析法加密的结果。以上计算是在IBM-360进行, 在我院Nova机上复算得同样结果。

表一

航线	地面控制点	检查点总数	平差后坐标精度(米)	多项式项数					航线总长(公里)	面积(平方公里)
				3	4	5	L	D		
I (长航线)	14	51	m_x	15.9	11.4	10.4	10.6	9.9	58	313
			m_y	17.6	13.7	13.5	15.0	13.5		
			(m_y)	17.6	11.4	11.5	13.2	11.6		

表二

II (长航线)	14	55	m_x	12.8	8.2	7.8	7.8	8.3	52	284
			m_y	16.1	14.2	14.0	14.0	13.8		
			(m_y)	13.3	10.2	10.1	10.1	10.7		

表三

III (长航线)	14	52	m_x	24.7	17.8	18.1	18.0	17.5	51	277
			m_y	19.9	10.8	11.0	13.3	11.5		
			(m_y)	16.8	9.8	9.8	12.9	9.5		

表四

区域 (I II III)	42	158	m_x	18.4	13.0	12.8	12.8	12.5	161	874
			m_y	17.9	13.0	12.9	14.1	13.0		
			(m_y)	15.9	10.5	10.5	12.1	10.6		
			m_s	25.7	18.4	18.2	19.0	18.0		
			(m_s)	24.3	16.7	16.6	17.6	16.3		

表五

航线	地面 控制 制点	检查 点 总数	平差后 坐标精 度(米)	多项式项数	
				3	4
I ₁ (短航线)	8	27	m_x	12.5	12.8
			m_y	13.9	13.9
			(m_y)	11.6	12.1
I ₂ (短航线)	8	28	m_x	8.8	8.1
			m_y	11.6	11.3
			(m_y)	10.9	10.6

III ₂ (短航线)	8	24	m_x	20.3	16.6
			m_y	11.2	11.2
			(m_y)	8.7	8.9

表八

航线	地面 控制 制点	检查 点 总数	平差后 坐标精 度(米)	多项式项数	
				3	4
I _{1,2} (短航线)	16	55	m_x	10.8	10.7
			m_y	12.8	12.6
			(m_y)	11.2	11.3
II _{1,2} (短航线)	16	59	m_x	10.1	5.9
			m_y	13.2	13.3
			(m_y)	10.2	10.2
III _{1,2} (短航线)	16	56	m_x	21.3	14.4
			m_y	10.6	11.3
			(m_y)	10.0	9.2
I _{1,2} (区 II _{1,2} III _{1,2} 域)	48	170	m_x	14.9	10.8
			m_y	12.2	12.4
			(m_y)	10.5	10.2
			m_s	19.3	16.4
			(m_s)	18.2	14.8

表六

II ₁ (短航线)	8	30	m_x	8.9	5.3
			m_y	12.9	12.5
			(m_y)	8.9	8.8
II ₂ (短航线)	8	29	m_x	11.2	6.5
			m_y	13.6	14.1
			(m_y)	11.6	11.7

表七

III ₁ (短航线)	8	32	m_x	22.1	12.5
			m_y	10.2	11.4
			(m_y)	10.8	9.7

计算结果分析:

1、从长航线平差计算结果来看,使用五次多项式进行计算已趋于达到较高的坐标精度,再增加项数,对X坐标并不能或很少改进其坐标精度。从表(四)的结果表明,在Y坐标增加多项式项数反而降低坐标精度,这说明Leberl公式中 $B_0 Y^2$ 项并不符合所使用的资料中出现的误差规律,强加在上面反而降低其精度。Derenyi公式计算的结果,其精度与五项多项式大致相同。

2、在改化地面坐标Y时,顾及地形高差的影响总是比没有加入高差改正影响的坐标精度要高,而且其精度改进得比较明显,这个结果说明扫描类型的遥感资料,单象纠正时结合使用数字地面模型数据进行处理较好。

3、使用(5)式或(6)(7)式计算地面水平距,经多项式拟合之后,其最后的Y坐标精度是一样的,这说明利用(5)式计算水平距,其地球曲率的影响在多项式平差计算中得到补偿,因而两组公式计算效果相同。但在更小比例尺侧视雷达影象水平距的改化时,使用(6),(7)式更严格些。

4、用短航线进行平差计算与长航线相比较,在控制点相同的布点情况下,短航线坐标精度要比长航线高。比较表(四)和表(八)可以看出,短航线使用仿射变换公式计算坐标精度比起长航线有较大幅度提高,因此在航带上有一系列控制点存在时,用低次项分段平差计算比高次项长航线平差更有利。

5、现把长航线与短航线平差后的坐标精度总列于表九,并作为衡量与估计使用侧视雷达资料加密坐标的精度。如果认为加密点位容许中误差为0.5毫米,根据侧视雷达资料加密点位进行1:5万或1:2.5万成图,则归算后的点位中误差为

表九

航线类型	航线平均长度	坐标精度	实地长度 (米)	相应于雷达影线长度 (毫米)
长航线	54公里	m_x	12.8	0.09
		m_y	10.5	0.08
		m_s	16.6	0.12
短航线	27公里	m_x	10.8	0.08
		m_y	10.2	0.08
		m_s	14.8	0.11

$$\left. \begin{aligned} m_s(\text{长}) &= \frac{135000}{50000} \times 0.12 = 0.30 \text{毫米} < 0.5 \text{毫米} \\ m_s(\text{短}) &= \frac{135000}{50000} \times 0.11 = 0.28 \text{毫米} < 0.5 \text{毫米} \end{aligned} \right\} \text{对 } 1:5 \text{万}$$

$$\left. \begin{aligned} m_s(\text{长}) &= 0.60 \text{毫米} \\ m_s(\text{短}) &= 0.55 \text{毫米} \end{aligned} \right\} \text{对 } 1:2.5 \text{万}$$

由以上归算的结果表明,利用合成孔径侧视雷达资料进行平面加密有足够的精度进行1:5万比例尺成图,对1:2.5万比例尺稍超过0.5毫米要求,但对边远地区,资源调查,这样的精度要求也是许可的。这说明合成孔径侧视雷达资料用于测制中小比例尺地图有很大的潜力。今后应综合利用侧视雷达资料,为测制地图服务。

6、为了与已发表侧视雷达检验的精度作一比较,引用了文献(3)中所列举的历年各国用侧视雷达资料得到的平面精度。表中只列出机载雷达资料数据。为了比较,将航向与测距方向实地的精度都归算到以影象比例尺表示的精度。本文计算的结果列在表的最后一行。由表可知,与其他计算结果相比较,本文计算结果的精度是比较高的。

表十

资 料 来 源	年	实地精度 (公尺)		以象片比例尺 表示精度 (毫米)		地形 类型	控制点 (每 100k ²)	分辨力 (地面) 公尺	天线 类型	影象 比例尺	备 注
		航线	测距	航线	测距						
Gracie	1970	20	14			平坦	10.0	17	合成		
Leberl	1971	50	23	0.25	0.11	平坦	10.0	30	真实	200000	
Bosman	1971	47	60	0.19	0.24	平坦		30	真实	250000	
Konecny	1972	152	255	0.70	1.18	山区		17	真实	216000	
Greve	1974	35		0.35				≥3	合成	100000	
Goodyear	1974	38	30	0.10	0.08	平坦	3.0	12	合成	400000	
Derenyi	1974	89	111	0.36	0.44	丘陵	1.1	17	真实	250000	
DBA Systems	1974	51	26	0.51	0.26		0.5	3	合成	100000	
Konecny	1975	80	79	0.20	0.20	平坦		12	合成	400000	
Derenyi	1975	30	28	0.08	0.07	平坦		12	合成	400000	
Hirsch	1976	120		1.2		平坦	3.0	30	真实	100000	
本 文		12.8	10.5	0.09	0.08	丘陵	20.8	2.5	合成	135000	ERIM雷达 系统 1979年 飞行资料
		16.6		0.12							

参 考 文 献

- [1] Derenyi, E.: SLAR Geometric Test, phm. Eng. 40, 1974.
- [2] Leberl, F.: Evaluation of Single Strips of Side-Looking Radar Imagery, Twelfth congress of the ISP, Ottawa 1972.
- [3] Leberl, F.: Imaging Radar Applications to Mapping and Charting, Photogrammetric, 1976.
- [4] А.П.Гук: Анализ математически методов обработки радиолокационного изображения. ГИИ, 1977.

On the Planimetric Accuracy Obtained from Synthetic Aperture Side-looking Radar Imagery

Gu Tianxiang

Abstract

In this paper the experimental planimetric accuracy through performing geometric processing of three strips of Synthetic Aperture Side-looking Radar (SAR) imagery is reported, and the prospects for mapping medium and small scale maps are analyzed.

The proposed method of solution has been proceeded in two stages. In the first stage, coordinates of the imagery of SAR are reduced to ground coordinates, they include the corrections of slant-to-ground rang reduction, along-track coordinates, relief displacements and earth curvature. Then, the reduced coordinates are transformed to geodetic coordinates with the help of a well distributed control points. The RMS errors in position at imagery scale computed from 158 check points are

$$m_x = 0.09\text{mm}, \quad m_y = 0.08\text{mm}, \quad m_s = 0.12\text{mm}$$

The accuracy meets with the requirements of maps at a scale of 1 : 50000, also with ones of 1 : 25000 for remote areas.

The results obtained herein are also tested by the author by using Derenyi and Leberl's high power polynomials. But the best one occurs when the polynomials are limited to the second power without y^2 term. Hence the second power polynomial is taken to represent the law of radar systematic distortion.

From the experimental results and the theoretical analysis it is shown that the removal of the adverse effect of relief displacement can increase the accuracy remarkably. This is specially important for radar imagery. It is recommended that dividing the strip imagery into sections is a way to improve its accuracy.