

机载合成孔径侧视雷达图像应用于 森林资源调查可行性研究*

李留瑜 李克渭 唐小平 谭光明 靳芳

(林业部调查规划设计院)

1987年5月30日收稿

摘 要

本文用实例研究了我国引进的C波段机械合成孔径侧视雷达图像在不同地域范围、不同地貌类型条件下的比例尺、点位、线段和面积误差。并在此基础上,根据该雷达图像的影像特征,建立了雷达图像的土地和森林类型分类系统和判读标志,进行了土地和森林类型的判读及森林区划的试验。研究结果表明,该图像已具有一定的几何精度,有较好的可供作境界线、林班线区划的地性线信息,以及土地和森林类型的可判性。因此,我们认为,它在森林资源调查及动态监测等方面具有一定的实用价值。

五十年代初,我国在森林资源调查中开始使用航空像片以来,已在区划、判读、成图等方面形成了一整套成熟的技术。七十年代中期,开始将陆地卫星多光谱遥感资料应用于宏观森林资源调查的研究,亦取得了相当大的进展。1984年,我国引进了一套地球资源雷达系统之后,又为我们提供了一种新型的遥感资料——机载合成孔径侧视雷达图像。为了探索这种图像在森林资源调查中应用的广度和深度,1985年6月,我们在福建省沙县,利用我国航空遥感服务公司的地球资源雷达系统,获得了1:10万比例尺的合成孔径侧视雷达图像。

一、国外应用研究概况

近二十年来,微波遥感作为新一代的遥感技术,得到了迅速发展。目前,合成孔径侧视雷达图像已在海洋、环境、城市规划、土地利用分类、地质、矿产、水利、农业与林业资源调查、地图制图和测量领域开展了广泛的研究试验工作,不少已达到实用水平。

就林业资源调查而言,加拿大1981年利用地面分辨率为2.5米的C波段侧视雷达进行针叶树更新调查,认为可以区分更新好的或中等的伐区和皆伐迹地,但针叶树更新差的区域易与牧地、草地混淆。美国1982年用X波段进行了城市土地利用分类的研究,可以较好地提供街区、绿地,区分已绿化和未绿化的道路。西德1983年11月应用X波段雷达图像展示了符来堡街区图。美国、西德、加拿大都开展了雷达图像与资源卫星图像的叠合

* 本研究得到了林业部调查规划设计院邓中畅、邱林、包松林和福建省沙县林业委员会的大力协助,在此一并致谢。

研究,提高了分类精度,较好地显示了森林。苏联也开展了多种研究。

尽管国外从事微波遥感应用方面的研究报道不少,但目前尚未见到应用合成孔径雷达图像进行全面性森林资源调查的例子。

二、试验区概况

试验区位于福建省沙县,总面积近 2000 平方公里,该县处于武夷山和戴云山之间,属闽北山地。沙溪由西南向东北斜穿全境。境内有中山、低山、高丘、低丘、山间盆地等五种地貌类型。地形破碎,山高坡陡,山脉与河流纵横交错,是一个四周高、中间低的多丘盆地。境内平均海拔 500 余米,最高处位于西南部,海拔 1537.5 米,最低处海拔仅 80 米左右。

本区森林植被属南岭东部山地常绿栎类阔叶林区,但大部分常绿阔叶林及次生林已被改造为人工杉木林、马尾松林或经济林。主要森林类型有常绿阔叶林、落叶阔叶林、杉木林、马尾松林、针阔混交林、毛竹林、经济林等,林分的空间分布规律明显。

若以一个居民区为中心,植被的水平分布由近而远,大致为茶果园或灌丛地、人工杉木、马尾松林分、天然针阔混交林或毛竹林,然后是常绿阔叶林或阔叶次生林分等。在山区,从低海拔到高海拔的垂直分布为:人工植被—竹林—阔叶林—针阔混交林—在山顶还出现灌丛和高山草地。

三、试验区雷达图像的几何精度

为了便于森林资源调查的应用,我们将原条带状的 1:10 万雷达图像,用两种方法镶嵌成以县为单位的雷达影像图¹⁾。经研究,沙县雷达影像图的几何精度情况如下。

1. 比例尺

利用日内瓦尺(最小刻度为 0.2 毫米)实际量测两种方法镶嵌的雷达影像图后,算得全图范围的平均比例尺都接近于 1:10 万。但是,它们在方位向和距离向上有所不同;方位向上比例尺的差异比距离向上的要小(表 1)。据介绍,用数据胶带处理时,在大范围

表 1 几种镶嵌雷达图像的比例尺

Table 1 Various Scales of the Mosaic Radar Images

镶嵌方式	扫描方向	以 1:10 万地形图为准推算的平均比例尺			相对误差 (%)
		平均比例尺	方位向	距离向	
明显地物点	S → N	1:10.166 万	1:10.004 万	1:10.252 万	-1.63
拼接镶嵌	N → S	1:10.231 万	1:10.169 万	1:10.532 万	-2.26
控制点镶嵌	S → N	1:10.035 万	1:10.173 万	1:9.991 万	-0.35

1) 沙县雷达影像镶嵌图由本院航测室胡志源、梁社民等加工制作。

中,比例尺的误差还有可能有所改善(至 1%)。从表 1 可以看出,不同的镶嵌方法,会影响平均比例尺的大小。另外,这次以同一方法镶嵌的两种图像的比例尺仅差 0.65%,这说明雷达成像系统的性能比较稳定。

2. 点位误差

(1) 在全县范围内,按明显地物点影像拼接镶嵌的 1:10 万比例尺雷达图像的平均点位误差在 3 毫米左右,而按地形图控制

表 2 镶嵌雷达图像的点位误差

Table 2 Position Errors of the Mosaic Radar Images

范 围	平均点位误差(毫米)
B 通道	1.313
C 通道	0.765
D 通道	0.583
山间平地	0.46
低丘	0.77
中丘	0.88
深切割低山	1.29
中切割低山	1.44

点镶嵌的图像的平均点位误差为 1.20 毫米。

(2) 在同一航线扫描图像带(由 B, C, D 三个条带组成)中,以由南向北扫描(S→N)并用同名地物点拼接镶嵌的图像为例,其平均点位误差在 1.3 毫米左右。

(3) 不同扫描通道和不同地貌类型的平均点位误差大小不同,但存在着规律性(表 2)。

3. 线段误差

在全县范围中,以同名地物点拼接镶嵌的图像,其平均线段相对误差为 1.74%。按地形图控制点控制镶嵌的图像的误差仅为 0.52%。研究表明,因图像比例尺带来的线段误差是明显的。计算得知,在比例尺比较接近于地形图的方位向上,相对误差仅为 0.74%,而在比例尺变化较大的距离向上,平均相对误差却为 1.43%。各通道图像和各地貌类型

表 3 镶嵌雷达图像的线段长度误差

Table 3 Line Segment Length Errors of the Mosaic Radar Images

图像种类	范 围	参加计算 线段数	平均相对误差(%)	
			绝对值平均	代数和平均
由南向北扫描、接同名地物点 拼接镶嵌的雷达图像	全县	28	1.741	0.41
	(控制点镶嵌)	28	0.519	
	一次飞行带	84	1.060	
	扫描通道总平均	64	1.058	0.41
	其中: B 通道	28	1.42	-0.87
	C 通道	18	0.84	0.35
	D 通道	18	1.02	0.23
	山间平地	10	1.86	
	低丘	10	2.45	
	中丘	10	2.20	
浅切割低山	10	2.66		
中切割低山	10	4.41		

的线段误差见表 3。

多元分析表明(表 4):(1) 雷达图像线段长度相对误差主要与五个因素有关;(2)因夹角、高差、线段点位到飞行地迹的距离不同而造成雷达图像上的线段误差,主要表现在距离向分量上,方位向上线段长度变化的主要原因,乃是雷达系统的成像比例尺及其均衡程度。

表 4 镶嵌雷达图像线段长度误差因素分析

Table 4 The Analysis of the Mosaic Radar Images Line Segment Length Error Factors

偏相关系数 自变量名称	误差种类		方位分量相对误差		距离分量相对误差	
	扫描方向		S→N	N→S	S→N	N→S
	S→N	N→S				
地形图垂距中值	-0.479	0.141	-0.190	-0.038	-0.093	0.162
地形图垂距差		0.328	-0.155	-0.147	0.328	0.367
雷达片线段长度	0.485	-0.003	0.047	-0.162	0.503	0.303
线段与飞行向夹角	0.771	0.794	-0.106	0.108	0.898	0.832
二点高差	0.236	0.459	-0.059	0.000	0.261	0.462
复相关系数	0.8157	0.9318	0.2886	0.3024	0.921	0.927

4. 面积误差

面积误差源于点位误差,在某一个面积范围的边界点集合中,各点发生位移时,就会造成面积的差异。表 5 列出了测得的沙县雷达图像面积误差。

从全县范围看,按同名地物拼接镶嵌的图像,其面积误差接近 3%,而用地形图控制点镶嵌的图像,面积误差缩小为 1.4%。在同一扫描带中,面积误差接近 3%,与大范围情况相似。各通道的面积误差变动较大,如 B 通道平均为 7.22%,而 D 通道只有 2.08%,其平均值为 4.79%。

在小范围的各种地貌类型中,除绝对高度和相对高度的影响外,又增加了不同通道的因素,所以其面积误差的变动也大了,其平均值达 4.32%。

表 5 镶嵌雷达图像的面积误差

Table 5 Area Errors of the Mosaic Radar Images

范 围	参加计算△ 个数	平均相对误差 绝对位(%)	备 注
全 县	53	2.85	S→N; S→N; (控制点镶嵌)
	53	1.39	
一次飞行带	92	2.46	
通道平均	39	4.79	以通道为 单位平均
其中: B	19	7.22	
C	10	2.87	
D	10	2.08	
地貌平均	40	4.92	
山间平地	8	2.90	
低丘	8	4.38	
中丘	8	2.88	
浅切割低山	8	4.15	
中切割低山	8	7.35	

四、雷达图像土地和森林类型的判读

(一) 雷达图像的一般判读特征

据我们研究,合成孔径侧视雷达图像所能提供的直接判读要素,主要有影像的大小、

形状、阴影、色调、纹理和图形等。

1. 大小

雷达图像上地物的尺寸,不是任何时候都能真实地反应现地目标的相对大小。判读时,应当充分考虑目标的质地(水泥、金属、水体等)、在图像上呈现的位置与飞行方向的交角等因素。在森林判读中,要充分注意森林所在的坡向和坡度的大小(相对于距离向方向),因为扫描迎面坡上,树冠颗粒、树冠间隙已在雷达图像上被压缩,而在扫描背面坡上却被拉长了。

2. 形状

雷达图像上的地物影像,既非在地面水平观察时所见的地物形状,也不是垂直观察时的顶面状态,而是按照线透视成像规律在雷达图像上呈现的形状。不同种类、年龄、密度的森林,在雷达图像上有一定程度的形状差异。对于雷达图像来说,大的地物容易从形状上加以区分,而小的地物要依靠形状来进行区分就比较困难。

3. 阴影

雷达图像的阴影是地物对微波的遮挡造成的。由于不同的扫描工作方式、不同的扫描距离、雷达传感器的不同视角以及地物的不同坡向和坡度,因而雷达图像上阴影出现的可能性和大小都有差异。阴影的存在既有利于地物轮廓的呈现,但又会遮盖地物的细部,甚至出现大片的阴影区,这在山高坡陡的地区尤为突出。大片阴影区的判读,只能在同一个地区的相反扫描方向的图像上进行。

4. 色调

色调是雷达图像目视判读的主要依据之一,但影响色调的因素非常之多。雷达系统参数和极化方式、雷达波长、扫描视角、地物的复介电常数、地物表面粗糙度以及亚表面粗糙度等,都能明显地影响图像的色调。归结起来,雷达图像色调的变化,主要是由于地物后向散射的差异造成的。实际上,每个分辨单元的色调,代表了对雷达系统辐照的那部分地面雷达截面的测量数值。

地物的表面粗糙度,是确定回波振幅的主要因素,因而也是确定图像色调的主要因素。要讨论某种地物的表面是粗糙的还是平滑的,必须与入射电磁辐射的波长相联系。当入射的电磁辐射波长小于地物表面起伏度或小于构成表面的颗粒的线度时,这个表面被认为是粗糙的漫反射面,反之则认为平滑的镜反射面。对于工作波长为 3 厘米的地球资源雷达系统来说,河流、小湖泊、水库的水面是一个镜反射面,林冠则是一个漫反射面。对于镜反射面来说,由地球资源雷达发射的微波能量遵从斯涅尔定律,其能量在后向反射方向上极少,在雷达图像上便呈现黑色调。对于森林这种漫反射面来说,在后向散射方向上有较多的能量,在雷达图像上便呈现灰白至灰色调。几乎所有森林类型的林冠都是漫反射面,不同森林类型在雷达图像上的平均色调,取决于林层和林木之间的距离、树枝的疏密及排列方式;树叶的形状、大小、密度和水分的含量;林下植被的多少;森林所在

的坡向、坡度等因素。因为,森林的雷达回波,有一部分是从亚表面的叶、枝、干等多路径反射得到的“体积散射”,因此,在疏林地中,雷达图像的色调,就受灌木、草被、甚至裸露土壤、岩石的影响。

影响色调的另一个因素是地物的复介电常数。复介电常数是物体表面的一种电学特性,它主要决定于表面物质的液态水含量和固态水的结构。复介电常数相对于单位体积的液态水含量而言呈线性变化。水分含量低,电磁波能量穿透大,反射小。由此可以得知,由于一般阔叶林林冠的叶面含水量相对比针叶林高,所以在雷达图像上阔叶林的色调要比针叶林的浅。

除了表面粗糙度和复介电常数外,影响色调的还有许多其它因素。如:地形坡度对扫描入射角的影响。对于一个扫描迎面坡,随着坡度的增加,出现越来越大的雷达图像收缩,在雷达图像的单位面积上,回波能量“聚积”越来越多,再加上后向散射截面增加的影响,最后,这种“聚积能量”淹没了雷达接收机,就在图像上出现白色的条带。

分析地物在雷达图像上的色调,还要注意各因子的综合作用,并找出主导因素。一个明显的例子是,河川、水库的水面在雷达图像上呈现黑色调。这说明雷达并没有接收到它的回波。如果只考虑到复介电常数一个因子,这种现象是无法解释的,因为液态水实际上在所有地物中其复介电常数最高,理应有较大的回波。但这种水面,同时又具有最好的镜面特性,在受到微波的斜向照射后,产生的回波遵从斯涅尔定律,能量集中在镜面角上,而镜面角上的能量向后向散射方向再辐射的能量是极小的。

5. 纹理

纹理是指色调在一幅图像上的变化频率。图像上的纹理由一组组地物的色调重复出现而构成。雷达图像上有三种纹理特征,是雷达图像判读中十分重要的因子。

(1) 微细纹理

这种纹理是雷达图像固有的一种特性。因为雷达系统发出的单色波在照射远距离的目标后,从远处两个靠得近的物体反射回来的波是高度相干的。正由于这个原因,雷达图像上都出现颗粒状或斑点状的微细纹理。它与距离分辨力、方位角分辨力及独立样本数有关。雷达图像上的所有相对平滑的表面都明显地显示出这种纹理特征。判读中,必须将这种“平铺”在图像上的颗粒状纹理与有高度感的乔、灌木颗粒相区别。

(2) 中等纹理

中等纹理是由若干分辨单元空间排列的不均匀性、或者更多的分辨单元横跨了若干个微细纹理单位而产生的。在雷达图像上,有森林分布的地方,树冠的浅色调和阴影明显地组成了这种中等纹理,而且随着森林树种、年龄、密度的变化,这种中等纹理也发生变化,比如成熟的中密度阔叶林的纹理和较密的杉木中龄林的纹理就有较大的差异。另外,与色调的变异性相比,中等纹理的变异性比较小。它是雷达图像森林判读的极为重要的因子。

(3) 大纹理

雷达图像上的大纹理,清楚地反映了地形的结构特征,如一个山体的两个坡面,具有不同的色调,在它们的交界处,就是山脊或山谷的位置。

总之,雷达图像上的微细纹理是随机出现的,而中等纹理和大纹理是以空间形式出现的。中等纹理的分布并非任意组合,其组成与植物群落的个体结构有关,大纹理的排列则是地貌和地质判读的关键要素。

(二) 雷达图像目视判读土地类型及森林类型的划分

1. 土地类型的划分

林业部 1982 年颁发的《森林资源调查主要技术规程》,对林业调查土地类型划分的技术标准曾有明确规定。但根据侧视雷达图像的判读特点、可能性和实用性,在进行雷达图像地类目视判读时,我们对有些影像特征相同、不易区分的类型进行了合并,其分类标准见表 6,并作以下说明。

(1) 在雷达图像的目视判读中,土地类型根据用途和利用程度分为两级 9 个类型。

(2) 苗圃虽属于林业用地,但因一般分布于平地,面积小,苗木矮,与旱地难以分开,暂归于农用地中。

(3) 疏林地、未成林造林地不区分树种。

(4) 在低山区,天然更新的马尾松未成林前被掩盖于灌丛杂草中,在图像目视判读时只能归于灌木林地。

表 6 雷达图像土地类型目视判读分类系统表

Table 6 Land Type Visual Distinguish Classification System Table of the Radar Images

第一级	第二级	编号	定 义
林 业 用 地	有林地	I	郁闭度大于 0.3 的天然或人工(造林后 3—5 年)林
	疏林地	II	郁闭度 0.1—0.3 的林分
	未成林造林地	III	造林后 3—5 年,成活株数大于 40% 的林分
	灌木林地	IV	覆盖度大于 40% 的灌木林
	宜林荒山草地	V	荒草地,河滩草地,采伐迹地和火烧迹地及未达到灌木林地标准的灌丛草地
非 林 业 用 地	农用地	VI	包括耕地、轮林地及苗圃地等
	水域	VII	河流、湖泊、水库、池塘与溪流等。
	特用地	VIII	城乡居民用地、交通、工矿用地等
	未利用地	IX	岩石裸露地、悬崖、河边沙滩等。

2. 森林类型的划分及标准

由于受雷达图像分辨率的限制,用于目视判读的森林类型仅作如表 7 所列的划分。

表 7 中第三级分类以林种、树种或树种组为指标,第四级分类主要以优势树种的年龄阶段和林分郁闭度为指标。

各种土地及森林类型的判读标志见表 8。

表 7 雷达图像森林类型目视判读分类系统表

Table 7 Forest Type Visual Distinguish Classification System Table of the Radar Images

第三级	第四级	编号	定 义
杉木林	杉木成林及近成林	1	优势树种年龄大于 20 年的杉木林分。
	杉木中、幼林	2	优势树种年龄在 5—20 年之间的杉木林分。
马尾松林	马尾松中密度幼林	3	优势树种年龄在 20 年以下,郁闭度 <0.7 的马尾松林分。
	马尾松高密度幼林	4	优势树种年龄在 20 年以下,郁闭度 ≥ 0.7 的马尾松林分。
	马尾松中密度中成林	5	优势树种年龄在 20 年以上,郁闭度 <0.7 的马尾松林分。
	马尾松高密度中、成林	6	优势树种年龄大于 20 年,郁闭度 ≥ 0.7 的马尾松林分。
阔叶林	阔叶中密度中、幼林	7	优势树种年龄在 40 年以下,郁闭度 <0.7 的阔叶林分。
	阔叶高密度中、幼林	8	优势树种年龄在 40 年以下,郁闭度 ≥ 0.7 的阔叶林分。
	阔叶中密度成熟林	9	优势树种年龄大于 40 年,郁闭度 <0.7 的阔叶林分。
	阔叶高密度成熟林	10	优势树种年龄大于 40 年,郁闭度 ≥ 0.7 的阔叶林分。
混交林	混交中、幼林	11	针阔叶比例为 6:4 或 5:5,大多数林木年龄在 20 年以下的林分。
	混交成熟林	12	针阔比为 6:4, 5:5,大多数林木年龄大于 20 年的林分。
经济林	油茶林	13	人工经营,长势较好的油茶林分。
	茶叶	14	人工经营,长势好的茶园。
	柑桔果树林	15	人工种植经营的柑桔园,果树园
毛竹林		16	毛竹占优势或有少量阔叶、针叶树的林分。

(三) 目视判读结果及分析

为了了解雷达图像的土地和森林类型目视判读的可能性和精度,我们在放大成的 1:5 万的雷达图像上,布设了一套抽样判读的样本,含 104 个判读样块,这些样块均有实地调查材料。表 9 列出了一个仅进行了初步训练的判读员的判读结果。从表中可见,9 种土地类型的总判对率为 92.3%。其中以灌木林地、农用地、水域、特用地、有林地等判对率最高,而疏林地和宜林荒山荒地判对率却很低。分析其原因,一是这些类型样地块数过少,比如疏林地的样块仅 2 块,难以反映判读水平;二是判读员仅在室内进行简单训练;三是样块不典型,二块疏林郁闭度都接近 0.3(接近有林地类型)。由于荒草地多选在农地旁,并且是高草地(高度 1.2 米左右),在影像特征上容易与农用地、未成林造林地、灌木林地等混淆。根据上述结果,我们认为,在 1:5 万的雷达图像上进行土地类型的目视判读是可能的。

表 10 是同一个判读员在 1:5 万雷达图像上对第三级分类进行目视判读的结果。选择样块 72 块,总判对率为 76.4%。主要森林类型杉木林和阔叶树林分的判对率都在 85% 左右。由于有的马尾松林分处于幼龄阶段,且成林影像又与阔叶树较为接近(见表 8),因此,判对率稍低。对混交林类型中各树种比例判读把握的不太好,也造成判对率不高。至

表 8 雷达图像土地与森林类型目视判别标志
Table 8 Land and Forest Type Visual Distinguish Features of the Radar Images

判读要素 类型	影像色调	影像颗粒大小	影像颗粒形状	颗粒清晰度	颗粒高度
1 杉成林	暗	颗粒小	影像线状、有针状点	清晰度好	高度明显
2 杉中幼林	较暗有些迎面板灰色	细小	针状或圆点状	较清楚	有一定高度或不太明显
3 马尾松幼中林	暗灰色	较小	不规则形状	较模糊	高度较明显
4 马尾松幼密林	灰白、侧面板	较小	隐约可见小白点	成片不清楚	高度较明显
5 马尾松中成中林	较灰迎面板上层未发白	中等、成林颗粒比阔叶大	星状或粒状	中间清楚、边缘模糊	高度明显、成林比阔叶高
6 马尾松中成密林	较灰白、迎面板白	中等大小	圆粒状	颗粒成片比较模糊	有高度边缘明显
7 阔叶中幼中林	灰白色	大或较大	圆球状	颗粒清楚	高度明显
8 阔叶中幼密林	灰白色	大或较大	圆形	较清楚、常几个连为一体	高度明显
9 阔叶成中林	灰色或灰白色	颗粒大	圆形或不规则	颗粒清楚	高度很明显
10 阔叶成密林	灰白迎面板很浅	颗粒大或较大	圆形或不规则	清楚、连片时不易分开	高度明显
11 混交中幼林	灰白色、有黑斑	颗粒大小不一致	圆形或不规则	密度大时模糊	高度很明显、无层次
12 混交成林	灰白与暗灰色交错	颗粒大小不一	不规则	颗粒清楚或较清晰	高度明显有几个层次
油茶林	迎面板灰白暗点多	颗粒细小	圆形、星形或不规则	颗粒较清楚或不清楚	高度不明显
柑桔	灰白或稍灰	颗粒较小或极细	小圆点	颗粒较清楚	有高度但不明显
毛竹	暗色迎面板稍灰	颗粒细小	圆形小白点	不明显	有一定高度
邱林地	颗粒灰白分布于暗色调中	颗粒大或小	大多为圆粒状或不规则	颗粒清晰	高度明显或不明显
未成林地	在暗底上分布有小白点	颗粒极细	小白点或没有颗粒	颗粒较清楚	高度很小或感觉不到
灌木林地	颗粒灰色、深浅不一	大小不一致	不规则多星形	比较杂乱	高度参差不齐、较明显
宜林荒山草地	迎面板上白色河滩上暗灰	极细颗粒	小点状	绿状、有模糊感	有高度、但不明显
农地	有暗灰灰白几种坡上白色	极细颗粒或无	小点状	不明显隐约可见	没有高度
水畈	深暗色	无	影像成线状或块状	不明显	无
VIII 特用地	居民地多呈人为的排列形状;有水泥和金属物的建筑发亮,铁路是白色等线条曲率小而公路为暗色等线条曲率大				
IX 未采用地	河边沙滩等多呈暗灰色而迎面板的悬崖等陡坡地,呈白色条带。				

表 9 1:5 万雷达图像土地类型目视判读结果表

Table 9 Land Type Visual Distinguish Result of 1:50000 Scale Radar Image

实际类型 \ 判读类型		判读数									样块数	判对数	判对率 (%)
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
有林地	I	74	1								75	74	98.7
疏林地	II	1		1							2	0	0
未成林造林地	III			5	1						6	5	83.3
灌木林地	IV				3						3	3	100
宜林荒山	V	1		1	1	1	1				5	1	20
农用地	VI						6				6	6	100
水域	VII							3			3	3	100
特用地	VIII								2		2	2	100
未利用地	IX									2	2	2	100
合计											104	96	92.3

表 10 1:5 万雷达图像森林类型(第三级)目视判读结果表

Table 10 Forest Type (Third Grade) Visual Distinguish Result of 1:50000 Scale Radar Image

实际类型 \ 判读类型		杉木林	马尾松	阔叶林	混交林	经济林	毛竹林	样块数	判对数	判对率 (%)
杉木林		16	2			1		19	16	84.2
马尾松		1	10	2	1	1		15	10	66.7
阔叶林				13	2			15	13	86.7
混交林				1	1			2	1	50.0
经济林		1	1			10		12	10	83.3
毛竹林		3	1				5	9	5	55.6
合计								72	55	76.4

于毛竹林,从表 8 中的判读标志可看出,它与杉木林的影像特征非常相似,容易错判,特别是对于小块毛竹林和以毛竹为主的竹阔混交林,判读更为困难。在经济林类型中,柑桔林主要分布在农地周围和河滩上,判读较容易。茶叶和油茶林判读比较困难,当油茶林管理不善、生长不好时,很容易与灌木林、马尾松幼林等混淆。但是,经严格的野外与室内综合训练的判读员,森林类型第三级的总判对率可望达到 85% 以上。

表 11 是同一个判读员用 1:5 万雷达图像上对 64 块典型样地进行森林类型第四级分类的目视判读结果。在森林类型第三级分类系统的各类型全部判对的前提下,其总判对率为 79.7%。杉木林、混交林因只采用一个易判的年龄指标,几乎全部判对。马尾松与阔叶林同时采用了年龄阶段与郁闭度两个指标,判对率则较差。从表 11 中看,样块总计错

表 11 1:5 万雷达图像森林类型(第四级)目视判读结果表
 Table 11 Forest Type (Fourth Grade) Visual Distinguish Result of 1:50000 Scale Radar Image

实际类型	判读类型 判读数	判读类型													样块数	判对数
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
杉成林	1	2													2	2
杉中幼林	2		17												17	17
马尾松幼中林	3			1	1										2	1
马尾松幼密林	4			1	3										4	3
马尾松中成中林	5			1		4	1								6	4
马尾松中成密林	6					1	2								3	2
阔叶中幼中林	7							4	1						5	4
阔叶中幼密林	8							2	4		1				7	4
阔叶成中林	9									1	2				3	1
阔叶成密林	10										2				2	2
混交成林	11											1			1	1
油茶、茶叶	12		1	1									7		9	7
柑桔	13													3	3	3
合计															64	51

判了 13 块。其中郁闭度错判 9 块, 年龄阶段错判 2 块。其中郁闭度错判占 69.2%, 其实, 雷达图像对森林的疏密程度是很敏感的, 问题在于我们轻视了林分疏密程度方面的判读练习。

五、利用合成孔径侧视雷达图像进行森林区划的试验

森林资源调查的区划体系分为两类。一类是境界线和林班网区划, 另一类则是在图像上进行土地和森林类型小班轮廓勾绘。对于第一类区划, 目前我国大多数林区已进行过, 在组织一次新的森林资源复查时, 仅需将原有图面材料上的行政界和林班网进行转绘即可。而小班区划, 则需要遥感图像上重新判读勾绘或对以往材料进行修正。

1. 境界线和林班网区划

大多数行政界线和林班线都与山脊线、水系和主要道路相一致。侧视雷达图像对于这些要素的反映是比较明显的, 所以, 在雷达图像上转绘行政界线和林班网并不困难。只是由于受雷达图像的成像原理和线透视几何关系的影响, 转绘后的境界线和林班网的形状、面积与地形图上的形状、面积存在着一定程度的差异。研究中, 我们把林业基本图上

的相对高差在 700 米左右、总面积近 5000 公顷的 7 个林班界,向未经几何纠正的雷达图像上进行了转绘试验,并在雷达图像上直接量算了它们的面积。结果各林班的面积误差并不一致,相对误差小的不足 1%,而大的达 11% (扣除盲区对地物遮挡的影响,相对误差也有 6—7% 左右)。根据分析,凡一面坡且坡面与距离向垂直的林班(如一、七号林班)其面积差异就大,迎面坡面积缩小,背面坡面积扩大;凡在一个林班中包含的迎、背面坡的面积相当,或者这个林班虽位于一个大坡面上,而坡面与距离向平行时(如二林班),林班面积相对误差就小。从 7 个林班的整体来看,总面积与林业基本图只差 1.2%。

研究中,我们用两个不同扫描方向的雷达图像上的林班网进行了简单平差试验,将求算的林班面积与基本图的相应面积做比较,总的相对误差为 1.34%。各个林班的相对误

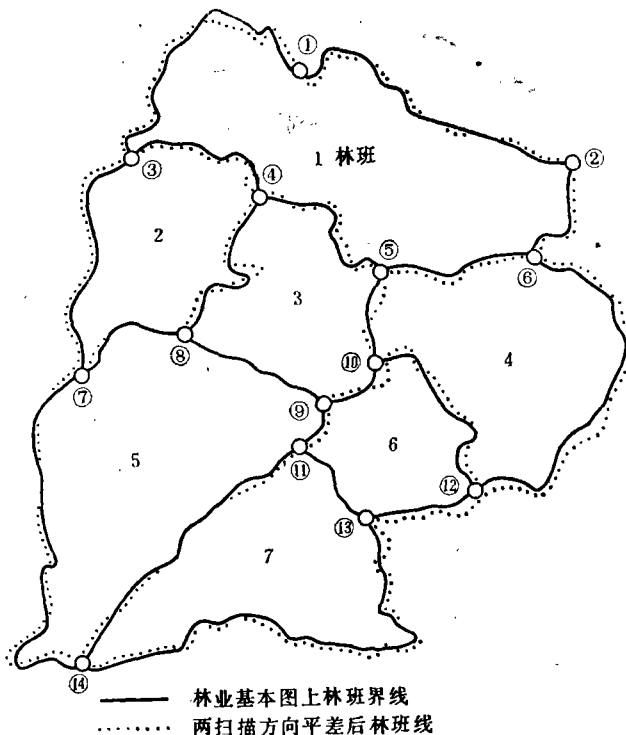


图 1 两种林班线位置的比较
1—7 为林班号, ①—⑭ 为样点号

Fig. 1 Comparison between the Positions of the Two Kinds of Compartment Lines

表 12 林班线结点点位误差表(比例尺: 1:2.495 万)

Table 12 Position Error of the Compartment Line Conjunction points

林班所在图像类型	计算点数	平均点位误差(毫米)	标准差(毫米)
由南向北扫描雷达图像	14	7.89	4.51
由北向南扫描雷达图像	14	8.31	4.34
两方向平差后的林班网	14	2.99	1.51

差都在 3% 以下。

把平差后的林班线与林业基本图上的相应林班线进行比较(图 1), 并抽取量算 14 个样点的点位误差。结果表明, 经过简单平差后各林班面积的相对误差和点位误差, 比未经平差的由南向北或由北向南扫描的雷达图像上各林班的误差要小得多(表 12)。我们认为, 这种平差方法在成图精度要求不太高时是可用的。

2. 土地和森林小班区划

在 1:5 万由南向北扫描的雷达图像上对二个林班的 60 多个小班进行室内目视判读, 并对现地核对了 32 个小班的材料表明, 除去盲区, 错判面积占总面积的 9.3%。

土地类型判错的有 5 处: 将杉木未成林造林地分别错判为油茶或灌木林地的有 4 处; 森林类型错判的有 3 处, 其中 2 处是杉木幼龄林与油茶林混淆; 阔叶林有 2 处被错判为阔叶疏林地。

六、最佳图像比例尺的选择

雷达图像原片的比例尺为 1:10 万, 通过光学放大, 可以得到各种比例尺的图像。研究中, 我们根据不同目的和要求进行了图像比例尺的对比选择。

对于土地和森林类型的判读来说, 由于各类型的判读要素和判读标志不同, 其最佳判

表 13 不同比例尺雷达图像土地与森林类型目视判读效果对照表
Table 13 Comparison of the Land and Forest Type Visual Distinguish Effects of Seven Variaty Scale Radar Images

判读程度 类型	图像比例尺						
	1:10 万	1:5 万	1:3 万	1:2.5 万	1:2 万	1:1 万	1:0.75 万
疏林地	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判	可以判	可以判
未成林造林地	很好判	很好判	可以判	可以判	不易判 (杉可判)	不易判	不易判
灌木林地	很好判	可以判	可以判	比较模糊	模糊	模糊	不易判
荒山草地	可以判	可以判	比较模糊	比较模糊	模糊	模糊	不易判
农地	很好判	很好判	可以判	可以判	可以判	可以判	模糊
水域	很好判	很好判	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判
特用地	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判	可以判	模糊
杉木林	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判	可以判	可以判
马尾松幼林	很好判	很好判	很好判	很好判	不易判	不易判	不易判
马尾松中成林	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判	可以判	不易判
阔叶中幼林	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判	不易判	不易判
阔叶成林	很好判	很好判	很好判	很好判	很好判	可以判	可以判
油茶	可以判	可以判	可以判	比较模糊	模糊	模糊	不易判
柑桔	很好判	很好判	可以判	可以判	模糊	模糊	模糊
毛竹	很好判	很好判	可以判(小块模糊)		不易判	不易判	不易判
判读程度得分值	58	57	52.5	48.5	37.5	34	26

读图像比例尺也有差异。我们对各类型比较齐全的样区雷达图像,分别放大成 1:5 万, 1:3 万, 1:2.5 万, 1:2 万, 1:1.5 万, 1:1 万, 1:0.75 万 7 种比例尺后,在各种放大图像上进行土地和森林类型目视判读,并以“很好判”、“可以判”、“比较模糊”和“不易判”四级进行评分,结果见表 13。试验发现,由于受放大技术、设备、材料等影响,当图像放大到一定比例尺时,有些类型的影像就变得模糊不清。随着图像放大倍率的增加,各类型的可判性逐渐下降,在表 13 的最后一行中,我们给出了各种放大图像的判读效果得分值(判读程度从易到难分别给 4, 3, 2, 1 分,如果对某类型只能判读一部分则扣 0.5 分)。根据此结果,我们认为:原 1:10 万的或放大 1—2 倍的图像的判读效果较好。如直接在放大镜下观察原图像,比用 1:5 万或 1:3 万的放大图像判读的效果更好。但是由于 1:10 万图像的比例尺太小,对小地块,特别是地垄交错、林相破碎的南方山地判读时会受到限制,因此,我们认为,目视判读土地及森林类型时,一般以选择 1:5 万与 1:3 万比例尺之间的放大图像为好。

区划境界线,林班网和小班的最佳图像比例尺选择,应从两个方面考虑:一是图像上的山脊线、水系及主要道路的清晰程度,二是在勾绘小班时,因线粗和走线误差在图面上引起的面积误差大小。对于前者,图像比例尺影响不大。比例尺小,有时反而清晰。而后者,当图像比例尺变大时,引起的面积误差会缩小。经试验,我们认为:在中等比例尺(1:5 万—1:2.5 万)的放大图像上进行区划比较合适。

八、初步结论

(1) 合成孔径侧视雷达图像是一种新型的遥感资料,它从微波波段为我们提供了观察、研究土地和森林类型的可能性。它的获得,不受天气条件影响,具有全天候工作能力。这对于多阴雨天气的林区尤为重要,也是普通的航空摄影和陆地卫星多光谱遥感所不及的。而且获得资料快,费用低。这次试验,沙县二十多万公顷面积的扫描成像(二个方向)仅耗资八万多元,如果调查地区面积成倍增加,其费用将会更低。

(2) 这次使用的雷达图像与我国通用的地形相比较,已具有一定的几何精度(表 1)。如果由数字胶片处理成图像胶片时,再加入一些明显地物点位座标进行精处理,则全县雷达图像的平均比例尺的精度可以得到进一步改善。

雷达镶嵌图的平均比例尺还受镶嵌精度的影响。用控制点作控制镶嵌的图像比用明显地物点作拼接镶嵌的要好。

(3) 雷达图像的几何精度除与雷达系统参数、飞行姿态、航迹偏离和镶嵌有关外,更主要的是成像原理误差。造成原理误差的主要因素是地形高差。经量测计算,沙县由南向北扫描并按地形图控制点镶嵌的 1:10 万图像的平均点位误差为 1.2 毫米。线段长度平均相对误差在 2% 以下,面积平均相对误差在 3% 以下。但对于不同通道、不同地貌类型,其误差又有差异。而且在小范围内甚至会出现较大的误差。应当承认,雷达图像上线段和面积的误差是客观存在的,根据计算,在其它条件一致的情况下,当坡面与距离向扫描线垂直时,坡度每增加 5 度左右,最大会有 3—7% 的线段长度的差异。这种变化遵循迎面坡缩短、背面坡拉长的规律。雷达图像的成像原理,限制了它不能采用一般光学方法

来进行几何纠正,而只能采取将图像数字化后,在计算机上进行处理的方法,才能改善图像的几何精度。研究中,我们用推导的实验公式对 30 条线段进行概算的结果,基本符合地形图上的相应长度就是一个证明。

(4) 由于合成孔径侧视雷达图像,可在卫星图像和航空像片之间起桥梁作用,能以多阶抽样形式充分利用多层次的遥感信息,提高森林调查的精度,降低调查费用及劳动强度;有可能通过计算机进行几何纠正,来满足林业成图的图面精度;有较好的地性线信息,供境界线和林班网区划时应用;具有一定的分类可判性(表 14);可以进行一定程度的小

表 14 1:5 万雷达图像目视判读判对率统计表

Table 14 Statistics Table of Visual Distinguish Correct Percentage in 1:50000 Scale Radar Image

判读对象	分类类型数	目视判读样块数	判对样块数	判对率(%)
土地类型	9	104	96	92.3
森林类型第三级	6	72	55	76.4
森林类型第四级	13	64	51	79.7

班轮廓判读以划分小班,并可在已有基本图的地区做资源复查时用于修测原有的林相图,因此,可望在森林资源调查中起重要作用。

(5) 光学放大并不能增加信息,过分的放大还会导致影像的模糊。在应用雷达图像时,需要根据应用的目的来选择图像的放大倍率。试验认为:土地和森林类型判读以 1:10 万和放大为 1:5 万的雷达图像为好。而且,用 1:10 万的图像在光学放大器下观察,比直接观察放大为 1:5 万图像时的地物影像将更为清晰,若要在图像上进行区划,使用 1:10 万的图像会产生较大的误差,以放大为 1:5 万—1:2.5 万的图像比较合适。

(6) 雷达图像的主要缺点是,距离分辨力差、单色波照射造成的“假颗粒”及成像原理误差的存在,导致较相近比例尺的航摄像片分类判读性能低,且不能用普通光学系统进行几何纠正。另外,为了补充图像上雷达盲区的信息,需要对同一地区进行两个方向的扫描,增加了费用。

总之,我们认为,这种雷达图像在森林资源调查中具有实用价值,如能在几何纠正、目视判读、蓄积定量分析和计算机辅助分类等方面作更深一步的研究,预期将更加显示出它在森林资源调查和森林资源动态监测等方面的实用价值。

参 考 文 献

- [1] 汤定元、陈宁锵等译,遥感手册(第一分册),国防工业出版社,1979年。
- [2] 张 莉、王长耀等译,遥感手册(第六分册),国防工业出版社,1983年。
- [3] F.F. 萨宾著(杨廷槐等译),遥感原理及解译,地质出版社,1981年。
- [4] 蔡希尧,雷达系统概论,科学出版社,1983年。
- [5] 林业部,森林资源调查主要技术规定,中国林业出版社,1983年。

Application of Images Acquired by Airborne Synthetic Aperture Side-Looking Radar in Feasibility Studies For Forest Resources Inventory

Li Liuyu Li Kewei Tang Xiaoping Tan Guangming Jin Fang

(Academy of Forest Inventory & Planning, Ministry of Forestry)

Abstract

In this paper, with a real example, we examined the images of Band C of the imported Airborne Synthetic Aperture Side-Looking Radar and the errors in scales, points, lines and areas in different regions in case of different geomorphological conditions. Additionally, based on the features of the radar images, land and forest type classification systems and markings for interpretation are set up. Experimental work is conducted on interpretation of land and forest types as well as forest regionalizations. The results show, as for as the images concerned, they possess considerable geometric accuracy and provide better information on boundary and compartmental lines and the ability of distinguish for land and forest types. Therefore, they are considered to have practical value in forest resources inventory and dynamic monitoring.