

基于目标时域散射特性的 土地覆盖类型分类研究

邵芸,范湘涛,刘浩

(中国科学院遥感所遥感信息科学重点实验室,北京 100101)

摘要:目标散射特性随时间变化的规律称之为目标时域散射特性。目标时域散射特征是利用多时相雷达遥感图像进行目标识别的基础。本研究以广东肇庆为试验区,利用多时相单参数雷达图像进行土地覆盖类型分类研究,分析了试验区内典型植被的结构、形态及其散射机理等特征,总结了各类目标的时域散射特性,区分识别了多种目标,制作了土地覆盖类型分类图。

关键词:雷达遥感;时域散射特性;结构形态特征

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2001)04-0040-10

0 引言

雷达遥感是伴随着航天技术和信息技术这两项 20 世纪最伟大技术的出现而得以蓬勃发展的。合成孔径雷达系统以其特有的全天时、全天候成像及对某些地物的穿透探测能力而在对地观测领域中优势独特。20 世纪 90 年代以来,伴随着国际上一系列星载合成孔径雷达系统的发射升空,迎来了雷达遥感发展的高潮。1995 年 11 月,加拿大发射了具有多种分辨率、多种成像模式的 Radarsat-1,它是第一颗具有商业运行能力的卫星,该卫星保证了用户对数据的适时需求。2000 年 2 月,美国航天飞机成像雷达完成了地形测图计划(SRTM)飞行,在短短的 11 d 时间里,完成了用常规测绘方法需要很多年才能完成的覆盖地球 80% 陆地表面的地形三维测绘任务。欧空局、日本将于近年内发射有多极化功能的 Envisat 和 ALOS SAR,加拿大计划于 2003 年发射具有极化测量功能、分辨率为 3 m 的 Radarsat-2,并于 2005 年发射与 Radarsat-2 并列飞行的 Radarsat-3,双星并行以实现高分辨率干涉测量功能。我国科学家经多年攻关,已研制成 X 波段和高分辨率 L 波段合成孔径雷达。雷达遥感技术的发展为其应用提供了丰富的数据源,而如何处理分析雷达遥感数据,如何进行信息加工挖掘,最终如何将信息转换成能够产生科学、经济和社会价值的知识,则是今天所面临的最大挑战。

为了促进雷达遥感科学技术及应用的发展,各国科学家们开展了一系列理论与应用研究(Ulaby, et al, 1990; Brisco & Brown, 1998; Lo, 1998),包括大型多国联合参与的各学科各领域综合的合作研究计划(Ferrazzoli and Guerriero, 1994; Campbell, et al, 1995)。遥感数据的时相在遥感应用中具有特别重要的意义。在星载雷达在轨运行之前,利用机载雷达系统实现多时相遥感(Ahern et al, 1993)是极其不易的,也很昂贵。星载雷达的在轨运行,特别是加拿大雷

达卫星的商业运行 ,为利用多时相遥感信息进行森林生态研究(Kasischke ,et al ,1995d ; Kurvo- nen ,et al ,1999 ; Pulliainen ,et al ,1999)以及农作物识别(Tso and Mather ,1999)提供了技术和信息源保障。显而易见 ,遥感的时相信息近年才得到广泛应用。

雷达遥感在水稻研究方面起步更晚。最初 ,Toan 在她的文章中提到了水稻(Le Toan ,et al , 1989) ,继而 ,Shao 等人(Shao Yun ,et al ,1994 ; 1995a ; 1995b)利用加拿大遥感中心 CV - 580 机载 雷达系统获取的多波段多极化雷达图像 ,进行了土地覆盖类型研究。日本和欧洲的科学家们 利用 ERS - 1 和 JERS - 1 卫星所载合成孔径雷达系统获取的雷达图像进行了稻田制图和水稻 识别(Kurosu ,et al ,1997 ; Le Toan ,et al ,1997) ,他们将水稻与非水稻区分开来 ,或能区分出早稻 和晚稻。笔者(Shao Yun ,et al ,2001 ; 2000 ; 1997a ,b)利用水稻及其它目标的时域散射特性 ,不 仅能够区分出早、晚稻 ,更能区分出生长周期仅差 510 d 的早、中和晚熟稻 ,为水稻产量预估提 供了一个关键因子 ,即生长周期不同的水稻品种 ,它对水稻的产量与质量具有重要影响。同时 还区分别识别了共计 12 类其它目标。

众所周知 ,中国只有世界耕地的 7% ,而人口却占世界的 22% ,人均土地资源占有量相当 于世界平均占有量的 1/3 ,这对中国的社会经济发展、城市化、工业化进程以及农业生产和粮 食安全都是很大的制约因素。充分利用遥感信息源的时空有效性 ,实现土地利用和土地覆盖 变化动态的快速调查 ,可实时准确地向有关部门提供土地资源环境变化以及农作物生长状况 等信息。雷达遥感作为一种新型的数据源 ,可望为土地资源及其变更调查、农作物产量预测提 供重要信息 ,特别是在那些难以获得光学遥感数据的地区。

1 雷达遥感数据源及试验区概况

研究工作是 以广东肇庆地区为核心进行的。研究区位于珠江三角洲的顶端 ,农田主要位 于西江和北江的冲积平原内 ,海拔高度约 050 m ,地势平坦。平原四周的山地除极少数基岩裸 露外 ,绝大部分覆盖着森林或果树。研究期间 ,所使用的数据源主要为加拿大雷达卫星 ,其系 统参数详见表 1。

表 1 雷达系统参数

系统参数	雷达系统	
	Radarsat SAR(精细模式)	Radarsat SAR(标准模式)
波段	C	C
频率 /GHz	5.3	5.3
极化	HH	HH
入射角 /(°)	43 46(F4)	3642 , 4146 (S5) (S6)
分辨率/m	10 × 10	30 × 30
像元大小	6.5 × 6.5	12.5 × 12.5
幅宽 /km	50	100
成像时间	1996 年 : 6 月 17 日 , 8 月 4 日 , 9 月 21 日 , 10 月 15 日 , 11 月 8 日 , 12 月 2 日	1996 年 : 3 月 6 日 , 4 月 25 日 , 8 月 23 日 1997 年 : 4 月 25 日 , 5 月 19 日 , 6 月 4 日 , 6 月 12 日 , 6 月 29 日 , 7 月 6 日 , 7 月 22 日

2 结构形态特征与散射特征的相关分析

目标散射特征随时间变化的规律是利用单参数雷达卫星数据识别目标的有效途径,我们称其为目标时域散射特征。这里所指的目标时域散射特征为目标在 C 波段 HH 极化雷达图像上所具有的散射特征在时间域内的变化规律。

2.1 植物物候历

在肇庆地区山前洪积平原内,主要经济作物有香蕉、甘蔗、莲藕、芡实、蔬菜及其它草本植物和灌木等。香蕉树为多年生植物,只收获果实,其结构随季节变化不大,仅其含水量随着季节有微弱变化,叶片有生有落而已;甘蔗在春末播种,11 月中旬收割;莲藕 4 月份种植,6 月、7 月或 8 月达到生长旺季,其硕大的荷叶和诸多的茎覆盖着整个水面,过了 9 月份逐渐枯萎,11 月份,叶、茎干枯萎,收获果实;芡实为水生草本植物,2 月份下种,开始时叶子非常小,只有几 cm 长,1 cm 宽,但是,在其 9 月份的生长旺季,它的叶子则可以长到 50 ~ 100 cm,呈圆盘状(郭华东,1999,2001a)。

2.2 几种主要植物的结构、形态与散射特征相关分析

为了研究植被及其它地物的时域散射特性,笔者对肇庆地区 10 种具有代表性植物的结构特点及由此而产生的散射特征进行了详细分析,其结果(表 2,这里仅列出一部分)为在雷达图像上识别这些目标,选择确定分类样区的基础和标识。

芡实(*Euryale Ferox*) 睡莲科多年生水生草本,全株有刺,叶圆盾形,浮于水面。叶面上分布有许多小凸起,其后向散射能量主要由两部分组成:一是水面的镜面散射,这在芡实幼年时期起主导作用;二是芡实的后向散射,即叶面的镜面反射(芡实的大圆盘叶片,平铺在水面上,也具有镜面反射作用)和叶面上小凸起(形成了一种微粗糙表面)引起的少量面散射。

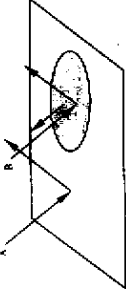
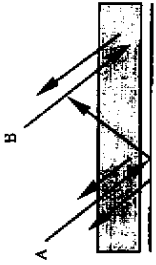
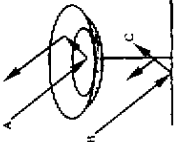
草本植物群落 主要有两类,一类是刃状叶片的矮小草本植物群落;另一类是阔叶、走茎的多年生禾本科草本植物群落。这两类草本植物的散射过程可以分解成几个部分(表 2):第一部分是叶片层的散射;第二部分是来自于地面的散射及在叶片中间穿过引起的再次散射。这里,阔叶片层的散射(C)大于刃状叶片层的散射(A),因为阔叶片层具有比刃状叶片层更大的后向散射截面。但是,这些地物在分类过程中很难区分,特别是当它占地面积非常小时,更难区分。

水稻 禾本科一年生草本。水稻的刃状叶片以小于 25°的倾角向上生长,茎垂直向上生长。水稻的散射过程可以分解成以下几部分:①水面的镜面反射。在插秧期,镜面反射是主导型的;②雷达波到达水面,然后再从水面弹到水稻层,再返回雷达,同样一个二次反弹散射过程,或者从水稻层到水面,再返回雷达,这样一个二次反弹散射过程;③水稻层本身的体散射和冠层面散射。在水稻的幼年时期,水面镜面反射占主要地位,在水稻够苗期之后,第二种、第三种散射起较大的作用,等到水稻分蘖以后,二、三种散射则起决定性作用。

莲 睡莲科多年生水生草本,具有碗状叶片,茎垂直于水面向上生长。它的后向散射主要由 4 部分组成,如表 2,在莲的幼年期及进入老年干枯以后,水面的镜面反射占主导地位。

甘蔗 禾本科一年生或多年生草本。甘蔗的叶片为刃状,它的叶片比低矮的草本叶片宽大,叶片长 1~2 m,茎直立高大,在收割之前,茎的高度可达 3 m 以上。它的茎秆富含水份,长

表 2 肇庆地区主要植被类型的结构特征和散射特征分析

基本特征	植被类型			
	圆盘状叶片的水生草本	刃状叶片草本	阔叶片草本	碗状叶片的水生草本
生长形态	水平延伸 	向上延伸 	随机延伸 	向上延伸 
	莢实 无	草 无	花生、大豆等 无	莲 无
	茎隐于水下 圆盘状叶片上分布有 许多小突起	非木本茎梗 刃状叶片,多 数向上生长	非木本茎梗、 随机分布 阔叶片,随机分布	非木本茎干、垂直 于水面向上生长 碗状叶片,向上 伸开叶片
散射特征				
	A—水面的镜面反射 B—1)叶面的镜面反射 2)叶面上的小突起引起的 面散射	A—刃状叶片层的散射 B—地面散射 C—阔叶片层的散射	A—1)水面的镜面反射(幼 时为主导性) 2)水稻层的散射 3)水稻层→水面的散射 B—水稻层本身的散射	A—1)叶片中部散射 2)叶片中部与其 边缘的二次反 弹引起的散射 B—水面→茎干或茎 干→水面的二次反 弹引起的散射 C—水面的镜面反射 (幼年时及枯萎 时为主导性)

长的刃状叶片以很小的倾角向上生长。其散射过程可以分解成以下几部分:① 地面到茎秆或茎秆到地面的二次反弹散射;② 叶片茎秆层散射;③ 来自地面的散射。来自地面的散射只有在甘蔗刚刚种下去的时候比较明显,而在以后的生长过程中,主要是茎秆和叶片层的后向散射,由于它生长的非常密集,因此第一种情况发生的可能性不大。

芭蕉(香蕉) 芭蕉科多年生草本。茎直立、柔软,由粗厚、复瓦状排列的叶鞘包迭而成。芭蕉具有很长很宽的板状叶片,叶片宽可达 90 cm,长度为 12 m,它的叶片向四周呈伞状生长,有垂直和水平的叶片。由于它叶片大,具有较大的后向散射截面,因此它的后向散射强度很强。它的散射过程可以分解为以下几个部分:①地面散射。这是因为,芭蕉的种植密度不高,因此会有少量来自地面的散射;②地面到茎秆或茎秆到地面的二次反弹散射;③叶面散射和叶片间的多次散射。叶面散射在芭蕉的整个后向散射能量中占主导地位。

灌木 矮小而丛生的木本植物群落。其叶片可以分成两类,刃状叶片或阔叶片。如木薯,它具有阔叶片的特点,其散射过程可以简单分为两部分:一是叶片层和枝条层的散射,二是地面散射。在肇庆地区,灌木和草本大多呈零散分布,地块小,或沿道路生长,在分类时很难和草分开,选取分类样本也比较困难。

针叶林 以松柏类针叶树为主的森林群落,其散射过程可分 4 部分:① 地面散射,即直接来自地面的散射;②地面到主干或主干到地面的二次反弹散射;③ 直接来自主干的散射;④ 冠层、树叶层和枝条层共同形成的散射。由于针叶林是肇庆地区的主要用材林,因此,来自主干的后向散射对于林业生产具有重要意义,尤其 L 波段数据,可以进行森林蓄积量估测。

阔叶林 双子叶植物的森林群落。它的散射过程可以分解成 3 部分:① 地面散射;②地面到主干或主干到地面的二次反弹散射;③冠层散射。对阔叶林来说,由于它的叶面比较宽大,它的叶面后向散射截面大,因此,它的冠层散射在它的整个散射总量当中占有重要的位置。

微波对目标几何结构特征的敏感性(Mcdonald et al, 2000)是利用微波遥感技术识别植被类型的基点。对目标结构特征的分析 and 认识,是认识和分析目标散射过程,或者说微波电磁波与目标相互作用过程与机理的开始(Prevot, 1993),只有认识目标的几何结构特征和方向方位分布,才能进行目标散射过程分解及散射特征分析,这也是目标散射模型建立的第一步。因本研究的主要对象是不同的土地覆盖类型,故对目标结构特点及散射特征分析成为区分目标物必不可少的步骤和基础。只有在对这些目标的结构特点有了深刻认识,才能估计其散射特征,确定分类训练样区,达到目标识别的目的。

3 时域散射特性

3.1 时域相对后向散射强度

1955 年 11 月加拿大雷达卫星发射,但是整个定标工作是在 1996 年夏天以后方告完成,因此,在 1996 年上半年雷达卫星的数据无法定标,只有下半年获取的数据才实现了真正的定标。如果想要了解地物全年的变化,就不得不使用相对后向散射系数。相对后向散射系数的产生是假定水体的后向散射系数基本保持不变,用目标物的后向散射系数减去水体的后向散射系数所产生的相对后向散射系数来代表这一地物的后向散射系数,根据相对后向散射系数产生相对后向散射系数图。这个图只能用来表示地物的后向散射系数随时间变化的相对变化情

况,并不表明它的绝对值。

图 1 是根据 1996 年春、夏和秋天共计 9 景多时相雷达卫星图像提取的目标物的相对后向散射系数制作的 地物相对后向散射系数随时间变化的示意图。对比 4 种地物的散射特征,可以看出,香蕉树的后向散射强度随时间的变化很小;芡实随着时间变化,后向散射强度有较大变化,从图中可以看出,从春天到夏天,其后向散射强度随着叶面积指数的增长而增长,在 8 月份左右达到生长旺盛时期,然后随着时间的推移,逐渐走向成熟,叶子逐渐枯萎,后向散射强度也随之变小;荷塘的后向散射强度呈现了一个非常漂亮的生长曲线,从 4 月份到夏天,它的后向散射强度随着它的叶面积的增长而增大,然后随着它的枯萎和成熟逐渐减少,最后到 11 月份左右收割;对中熟稻而言,8 月 4 日是一个转折点,在春天和 6 月份左右,它的后向散射强度逐渐增大,到 7 月底左右收割,8 月 4 日之前又重新插秧种植,因此它的后向散射强度有一个一起一落的变化。

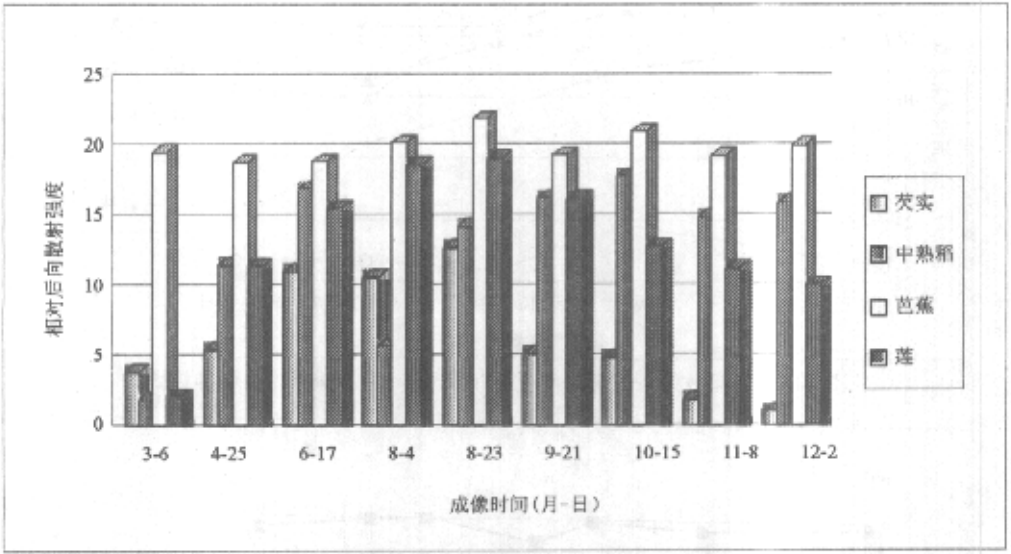


图 1 目标物相对后向散射强度随时间变化规律示意图(1996)

3.2 时域散射特性

在获得定标的雷达卫星图像以后,对这些地物的后向散射特性重新进行研究,定量地计算了它们的后向散射系数。

首先,为了比较目标的绝对后向散射特性,需要把获得图像的数字信号转换为后向散射系数。卫星地面站接收的标准模式或精细模式的 Radarsat 图像数据是 16 位的无符号整型格式数据。利用卫星轨道参数,可以计算出图像上每一个像元在距离方向上的入射角,利用以下定标公式可以把 Radarsat 卫星图像数据转换为后向散射系数。

$$\sigma_{jk}^0 = 10\log((DN_{jk}^2 + A_o)/A_j) + 10\log(\sin(I_j))$$

式中, DN 为雷达图像的信号强度数据; A_o 、 A_j 为雷达系统自动增益控制参数; I_j 是每个像元沿距离方向上的入射角; j,k 分别代表雷达图像距离向和方位向像元位置。

然后,在图像数据图集上选择一个 20 像元 $\times$ 20 像元的区域,以确定后向散射系数。具体计算方法是:在上述 400 个像元中把数值在 N 至 $N+1$ 范围内出现几率最大的后向散射系数作

为该目标的后向散射系数。实际上,对于分布目标,所获取图像上并没有统一的后向散射系数值,而是在某一范围内变化的数值($-1\text{ dB} - 40\text{ dB}$)。其原因主要是雷达图像的随机斑点噪声,也正是这个原因,使 SAR 图像在视觉效果上远不如光学遥感图像那样均匀细腻,而是看起来非常粗糙,充满了斑点噪声,视觉效果很差。故必须选择一个较大的区域,如 $20\text{ 像元} \times 20\text{ 像元}$ 面积,用该区域的后向散射系数的均值或出现几率最大的后向散射系数值作为该目标后向散射系数。图 2 表示从 1996 年精细模式雷达卫星图像获得的地物后向散射系数,图 3 是从标准模式的雷达卫星图像获得的地物后向散射系数。

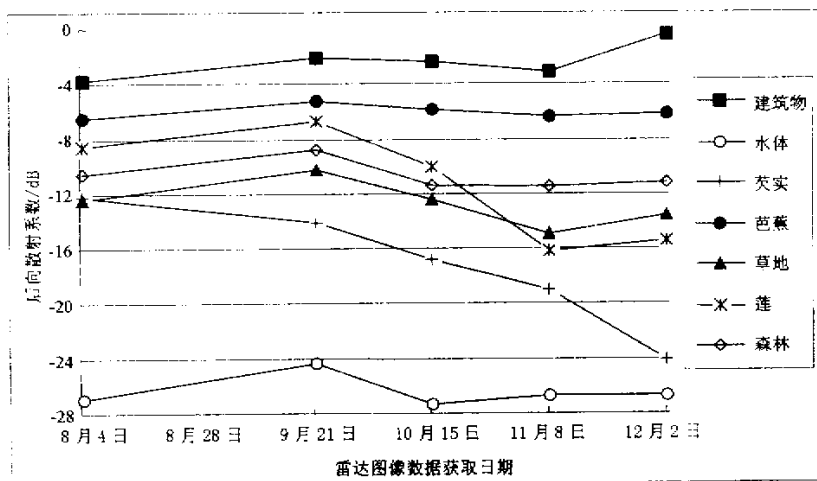


图 2 目标后向散射系数随时间变化规律示意图(1996 年秋,精细模式)

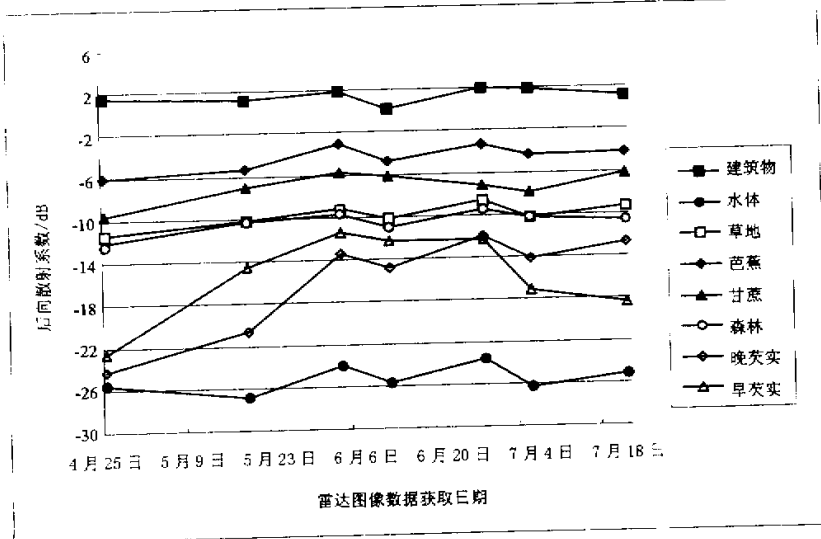


图 3 目标后向散射系数随时间变化规律示意图(1997,标准模式)

从图2可见,草地随着时间的变化其后向散射系数基本上不变;芡实和荷塘在12月2日有一个低点,当时,芡实已收获完毕,雷达数据上所显示的信息已非芡实本身,很可能是水分饱和状态下土壤的后向散射系数。芡实从8月下旬到9月份达到生长最旺期。从图2、图3上不仅可以看到这些植被的生长变化,也能看到其它地物的后向散射特性与时间的关系。如建筑物,它的后向散射系数总是在0 dB以上,远远高于其它地物的后向散射系数。但是,建筑物的后向散射系数除受其后向散射截面的影响外,还和建筑物的分布状态和方向特性有关,因此,建筑物的分类结果往往会大于它的实际面积,在分类中要格外注意。静止水面的后向散射系数总是在-25 dB左右摆动。肇庆地区所有林地都分布在山上,由于大部分地区是石灰岩,故这里的山坡比较陡。计算森林的后向散射系数时,实际上取的是均值,即在坡地取样时,同时取它面向雷达天线和背向雷达天线的坡地后向散射系数值。可以看到,森林的散射系数随时间变化很小,总的来说是夏天的后向散射系数略高一些,到了冬天,随着水份的失去,森林的后向散射系数略有下降。从图3可以分析甘蔗的时域散射特性。标准模式的雷达卫星图像覆盖面积大,覆盖到了大旺农场。大旺农场是肇庆地区主要的甘蔗生产基地。甘蔗因其叶片面积远小于芭蕉的,故其时域后向散射系数总是小于芭蕉的,但甘蔗和芭蕉的时域后向散射系数又都比水稻的高。甘蔗在夏天达到它的生长旺期,它的后向散射系数比较高,到8月份达到一个比较高的值,然后开始下降。从图2、图3可以看到,水体和建筑物的散射系数分布两极,前者一般在-24 dB左右,通常低于-23 dB,而建筑物的后向散射系数值总是大于1 dB,甚至大于3 dB。芡实的后向散射系数一般来说较小,最高的也不大于-10 dB,总是小于水稻的后向散射系数。森林和草地的后向散射系数随着时间的变化,其变化很小,而且两者之间的后向散射系数相当接近。

利用地物的时域散射特性差异,可以达到最佳识别地物的能力。这是利用地物时域散射特性识别地物,并进行自动分类的关键。利用地物的时域散射特性,可以将地物区分为11类(1996年)或12类(1997年),而对地物的时域散射特性的研究和识别更是选择最佳观测时相的重要依据。

4 研究结果

任何理论研究的目的都是为了应用,而遥感理论研究和实验观测的唯一目的就是应用,就是为了把由传感器获取的数据转变成有用的信息,并进一步把信息转变成能够产生科学、经济和社会价值的知识,这是本研究的根本目的之所在。

本研究将多时相雷达卫星图像数据处理分4个部分:几何校正、图像配准、消除斑点噪声以及图像的分类和后分类处理。分类结果平均精度达到90.1%,总体分类精度为91.49%。分类精度利用PCI软件检查,分类的准确度通过地面的实地考察来验证。根据1997年春季获得的多时相标准模式雷达卫星图像,制作了肇庆试验区的假彩色合成图像,根据对7幅雷达卫星图像的分类结果,制作了该试验区的土地覆盖类型图(封3彩片1)。图上可以看到4种类型的水稻、4种类型的植被及其它目标,详细内容见封3彩片1及相关报道(郭华东,1999;2001a, b)。

5 结 论

本研究的初衷旨在为多云雨地区的土地利用调查寻求一种新型遥感信息源,研究雷达遥感技术在该领域应用的优势与特点,研究微波与目标相互作用机理,研究目标物的雷达图像表达特征,为雷达遥感技术在国土资源领域的应用提供切实可行的技术与方法。研究表明:

(1) 雷达遥感技术可以为时效要求很高的农作物长势监测和估产,耕地变更动态调查,土地利用状况调查提供适时数据。

(2) 克服云雨等气候影响因素,在光学遥感技术难以获取数据的情况下,为各类应用提供数据,保证了信息源。

(3) 雷达遥感技术不仅是云雨天气条件下可靠的主导性数据源,而且它还能根据目标的结构形态特征,识别 Landsat TM 难以识别区分的植被类型(郭华东,1999;2001a,b)。

(4) 目标时域散射特征的研究是利用单参数雷达遥感数据进行土地覆盖类型分类与监测的科学基础。

(5) 用雷达遥感技术进行土地覆盖类型及其变更调查是可行的。

参考文献

- [1] 郭华东,邵芸,廖静娟,等. 雷达对地观测理论与应用[M]. 北京:科学出版社,2001a.
- [2] 郭华东,邵芸,廖静娟,等. 中国雷达遥感图像分析[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [3] Ahern F J, Leckie D G, Drieman J A. Seasonal changes in relative C - band backscatter of northern forest cover types[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1993, 31, 668 - 680.
- [4] Brian Brisco, Ronald Brown. Principles & Applications of Imaging Radar[M]. Agriculture Applications with Radar(Chapter 7)). New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [5] Campbell F, Ryerson R, Brown R. GlobeSAR: a Canadian radar remote sensing program[J]. GEOCARTO International, 1995, 10(3): 3 - 8.
- [6] Ferrazzoli P, Guerriero L. Interpretation and model analysis of MAESTRO - 1 Flevoland data[J]. Int. J. Remote Sensing, 1994, 15: 2901 - 2916.
- [7] Guo Huadong, Shao Yun, Liao Jingjuan, et al.. Radar Remote Sensing in China[M]. Taylor & Francis Inc. UK, 2001b.
- [8] Kasischke E S, Morrissey L, Way J B, et al.. Monitoring seasonal variations in boreal ecosystems using multi - temporal spaceborne SAR data[J]. Can. J. Remote Sens., 1995d, 21, 96 - 109.
- [9] Kurosu T, Fujita M, Chiba K. The identification of rice fields using multi - temporal ERS - 1 C band SAR data[J]. Int. J. Remote Sensing, 1997, 18(14): 2953 - 2965.
- [10] Kurvonen L, Pulliainen J, Hallikainen M. Retrieval of biomass in boreal forests from multitemporal ERS - 1 and JERS - 1 SAR images[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1999, 37, 198 - 205.
- [11] Le Toan, Laur T H, Mougin E, Lopes A. Multitemporal and dual - polarization observations of agricultural vegetation covers by X - band SAR images[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1989, 27: 709 - 717.
- [12] Le Toan T, Ribbes F, Wang L F, et al.. Rice crop mapping and monitoring using ERS - 1 data based on experiment and modeling results[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1997, 35(1): 41 - 56.
- [13] Lo C P. Principles & Applications of Imaging Radar[M]. (Applications of Imaging Radar to Land Use and Land Cover Mapping(Chapter 14)). New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [14] McDonald A J, Bennett J C, Cookmartin G, et al.. The effect of leaf geometry on the microwave backscatter from leaves[J]. Int. J. of Remote Sens., 2000, 21, 395 - 400.

- [15]Prevot L , Dechambre M , Taconet O , et al . . Estimating the characteristics of vegetation canopies with airborne radar measurements [J]. Int. J. Remote Sensing . 1993 ,14 2803 – 2818 .
- [16]Pulliainen J T , Kurvonen L , Hallikainen M T . Multitemporal behavior of L – and C – band SAR observations of boreal forest[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote sensing , 1999 ,927 – 937 .
- [17]Shao Yun , Guo Huadong , Liu Hao , et al . . Multi – frequency , Multi – polarization GlobeSAR Data for Land Use Mapping[C]. Proc. First Regional GlobeSAR Workshop , 1994 ,32 – 45 .
- [18]Shao Yun , et al . . The GlobeSAR Data for Vegetation Discrimination , Microwave Remote Sensing for Earth Observation[J]. Science Press , 1995a ,195 – 201 .
- [19]Shao Yun , Guo Huadong , Liu Hao , et al . . Effect of Polarization of GlobeSAR Data on Vegetation Discrimination[J]. GEOCARTO International , 1995b ,1(3) :71 – 76 .
- [20]Shao Yun , Verjee F , Staples S . Cutting through cloud[J]. GIS Asia Pacific , October/November , 1997a .
- [21]Shao Yun , Fan Xiangtao , Wang Guizhen , et al . . Estimation rice growth stage using Radarsat data[C]. Proc. IEEE IGARSS '97 , 1997b ,1430 – 1432 .
- [22]Shao Yun , Fan X , Liu H . SAR Technology for operational rice monitoring[C]. Proc. IEEE IGARSS '2000 , 2000 , 1486 – 1488 .
- [23]Shao Y , Xiangtao Fan , et al . . Rice Monitoring and Production Estimation Using Multitemporal Radarsat [J]. Remote Sensing of Environment , 2001 , 76 310 – 325 .
- [24]Tso B , Mather P M . Crop discrimination using multi – temporal SAR imagery[J]. Int. J. of Remote Sens . , 1999 , 20 , 2443 – 2460 .
- [25]Ulaby F T , Sarabandi K , McDonald K , et al . . Michigan microwave canopy scattering model[J]. Int. J. Remote Sensing , 1990b , 11 , 1223 – 1253 .

LAND COVER CLASSIFICATION BASED ON TEMPORAL BACKSCATTER SIGNATURES OF THE TARGETS

SHAO Yun , FAN Xiang – tao , LIU Hao

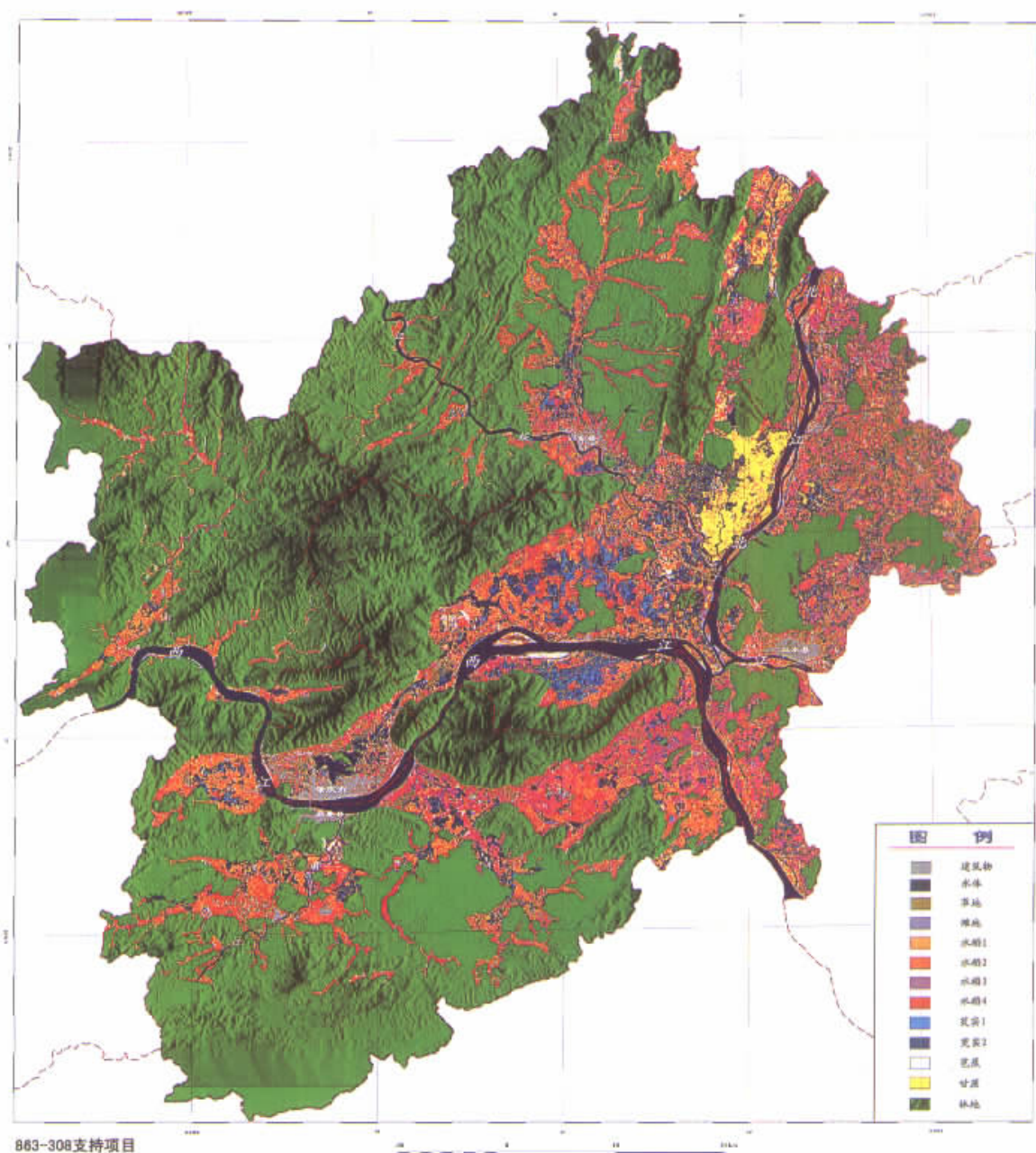
(Lab of Remote Sensing Information Sciences , Institute of Remote Sensing Applications , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100101 , China)

Abstract: This paper presents the results of a study examining the backscatter signatures of various targets as a function of time. The characteristics of a target may show seasonal changes. If so , the backscatter signatures of the target should vary as a function of time. This serves as the basis of using multi – temporal SAR images to discriminate and classify a variety of targets. This study was carried out in Zhaoqing test site in Guangdong Province of China. The geometric characteristics of various targets and their backscattering mechanism were analyzed. The temporal backscatter of targets was emphasized and the backscatter signatures of targets as a function of time were summed up. Twelve types of land cover were classified using multi – temporal Radarsat data and , in addition , a land cover map was produced based on the classification results.

Key words: Radar remote sensing ; Temporal backscatter signatures , Geometric characteristics

第一作者简介：邵芸（1961 – ），女，研究员、博士生导师，获北京大学理学学士、理学硕士和中科院理学博士学位。现为中科院遥感信息科学重点实验室常务副主任。发表论文 70 余篇，专著 4 部。

（责任编辑：刁淑娟）



彩片1 肇庆核心试验区土地覆盖类型图