

地物频谱学研究始步

Initial Research on Geographic Frequency Spectroscopy

夔中羽

(国家测绘局测绘科学研究所,高级工程师 北京 100830)

提要 文章揭示了当前遥感发展中日益深化的矛盾——传感器升高,地面覆盖面积增大,图像地面分辨率降低,地物细部丢失,遥感图像判读精度下降。文章指出,要走出这一遥感发展的困境,必须由研究地物频谱学入手,建立获取地物频谱信息的理论和方法,在地球资源卫星上与获取地物波谱信息的同时,获取地物频谱信息,以补充当前遥感波谱信息之不足,提高遥感图像判读精度。文章用与地物波谱学对照的方法阐述了地物频谱学的基本概念,并推荐了当前技术条件下获取地物频谱信息的方法。

1972年地球资源卫星上天以前,人们主要使用航空摄影像片进行测绘和资源调查工作。航摄像片比例尺较大。就是在较小比例尺(比如1:10万)的航片上,也可分辨大小1平方米左右的地面物体。因此在航片上判读地面上尺寸较小的地物没有什么困难。在这种判读中,对地物纹理、细部、结构的分析起了很大作用。1972年以后,地球资源卫星扫描图像和卫星摄影像片出现了,形成了航天遥感技术系列,原来的航空摄影和用其它航空传感器获取地物图像的技术自然被称为航空遥感。每张卫片覆盖的地表面积大了,但图像比例尺小了,图像地面分辨率降低了,地表尺寸较小的物体的纹理、细部、结构看不见了。卫片的判读准确性由航片的97~99%降到了74~85%。航天遥感准确性陷入了困境。

要使航天遥感走出地面覆盖度—地面分辨率一对日益深化的矛盾产生的困境,必须寻找新的遥感理论、方法、设备、材料。目前一切遥感手段都是利用地物反射、发射、透射的电磁波能量获取地物信息,理论基础是“地物波谱学”。要走出上述困境,必须研究地物的纹理、细部、结构,研究地物空间频率规律,充分利用地物空间频率信息来分析、解译地物图像,其理论基础应是一个新的遥感理论,经推敲定名为“地物频谱学”。

随着遥感的不断发展,在地物波谱学研究之后,目前正逐渐展开地物频谱学的研究。地物波谱学研究为遥感打下了理论基础,地物频谱学研究将成为遥感深入发展的重要里程碑。

一、地物波谱学,遥感的理论基础

地物波谱学研究是由地物光谱学研究开始的。当时研究地物波谱反射特性只限于电磁波谱中的可见光和近红外光谱段。虽然地物反射特性在本世纪初就有人研究,但地物光谱反射特性直到1930年才由原苏联中央测绘科学研究所开始大量考察研究。当时研究的目的是解决航空摄影中感光材料和滤光镜选择以及反差度和曝光量计算等问题。使用的方法是摄影分光光度法。没有料到,这些研究竟成了当今遥感理论研究的开端。30年后,在中国,由国家测绘总局测绘科学研究所于1962年制造成功了中国第一台地物摄谱仪DP-1,当年由笔者会同中科院地理所同行用此仪器对中国大地开始了地物光谱反射特性调查和天空光线调查,目的是解决青藏高原航摄难题。受当时条件所限,仍采用了摄影分光光度法。1972年美国地球资源卫星上天后,各国进行了大量的地物波谱学研究,其特点,一是由原来的可见光和近红外光波段调查扩展到从紫外到微波的宽波段调查;二是调查方法由原来的目视法、摄影分光光度法转为大量采用光电分光光度法。地物波谱学所以成为遥感的理论基础,是因为它揭示了空中摄影图像和遥感图像成像过程中电磁波传输和衰减、成像敏感元件波谱敏感特性等诸因素中最活跃之因素。掌握好地物波谱特性就可以成功地设计遥感传感器、选择最佳敏感元件、准确解译所获图像之内容和实施有效的反遥感(反侦察)伪装。

二、覆盖面积—地面分辨率 一对矛盾在遥感中深化

遥感图像记录了地物发射或反射的某波段电磁波的能量。被记录的能量在模拟图像上用光学密度显示,在数学图像上用数量表示。取得遥感图像并不是目的,提取遥感图像中所含信息使之用于生产建设才是目的。此处提取信息就是对遥感图像的判读(揭示、解译、识别、辨认,虽然这些词的含意有些不同),总之是要认识所摄取之物。多年实践中,人们总结出,判读遥感图像要靠几大判读标志:直接判读标志中有,形状、大小、色调或颜色、纹理(细部、结构)、阴影;间接判读标志中有,位置、相互联系和相互依存关系、人类活动痕迹等。虽然在当前卫星图像识别中出现了不少新的方法和概念,可是上述八大判读标志仍然是识别遥感图像上所摄地物必须借助的依据,用这些判读标志区分航空航天各种遥感图像上的大地万物,认识它们,解释它们,利用它们。

八大判读标志中,色调或颜色最关键,它靠地物波谱特性差别而形成,它也负担体现其它判读标志的任务。可以想象,如果判读时图像上没有色调或颜色的差别,则其它七个判读标志都不复存在。

随着遥感平台的升高,传感器所能摄取的地表面积(覆盖面积)越来越大,图像比例尺越来越小,图像地面分辨率越来越低。覆盖面积—地面分辨率这一航摄、遥感中固有的矛盾越来越尖锐。八大判读标志随着这一对矛盾的深化也改变着自己的作用。表1比较了当前常用像片比例尺—地面覆盖面积—可分辨最小地物的关系。为了比较方便,所有航片和卫片的像幅均合算成23厘米×23厘米。为了叙述方便,下面将小于某种遥感图像地面分辨率的地物称之为该种图像的“小地物”。从表1可看出,在航摄像片上,哪怕是比例尺较小的1:20万的航摄像片上,资源调查中要分析的一般地物还都可以分辨,“小地物”在判读应用中出现不多,这时八大判读标志的作用也变化不大。可是一进入卫星像片领域,情况就大不相同了。由于图像地面分辨率的降低,出现了一系列变化。在卫星图像判读中,“小地物”出现很多。“小地物”的判读标志,形状不准了,大小尺寸不准了,其波谱反射的成份与相邻不同地物混淆色调或颜色也就不准了,地物的纹理看不到了。总之,大部分判读标志减低了作用,判读精度(准确性、可靠性)大大降低。判读标志中,形状大小,色调和颜色与纹理的变化还有所不同。前三者是准确程度下降,而后者则是完全消失。纹理作为判读标志在判读过程中起着重要的作用,有时起着决定性的作用。纹理判读标志作用的消失,是覆盖面积—地面分辨率一对矛盾在遥感中深化的结

果。航天遥感出现了,遥感平台升高了,图像地面覆盖面积大了,遥感的经济效益提高了,但图像的判读精度降低了,作为一大信息源的“小地物”的纹理丢失了,这就是现实。

三、找回丢失的信息源

在超小比例尺航摄像片和一般卫星像片上进行判读时,虽然物体的形状不清了,尺寸不准了,波谱能量记录混淆了,但是根据能得到的信息对图像进行各种光度处理和几何处理,还是可以最大限度地利用形状、大小、色调或颜色、阴影等判读标志,勉强地识别不少地物和自然现象。唯有判读标志纹理,随像片(图像)比例尺的减小,作用越来越小,最后在卫星像片上的判读作用,除对较大地物还有些作用外,对“小地物”完全消失。

回过头来看,渐渐丢失的纹理信息源,原来是如何取得的。经研究得知,使大部分判读标志起作用的主要是地物的波谱信息,即地物反、辐射波谱能量差异使地物图像千变万化,便于人们识别。唯独判读标志纹理,不是只靠波谱能量差形成图像,而是主要靠地物的空间分布状况反映地物的细节,也就是靠地物固有的空间频率值来反映地物的纹理、细部、结构的。可以说,地物不只存在于波长不同的电磁谱之中,还存在于波长不同的空间频谱之中。换句话说,地物不单靠自己反、辐射电磁波谱的能量表征自己,还靠自己具有的空间频率谱的纹理特征来表征自己。前者可称之为“地物亮度谱特征”,后者可称之为“地物频率谱(频谱)特征”。航天遥感中渐渐淡化的正是地物频谱特征,渐渐丢失的正是地物频谱信息,必须将它找回来。

表1

像片比例尺	地面覆盖面积 (公里×公里)	可分辨最 小地物尺寸(米)
航 摄 像 片		
1:5千	1.15×1.15	约0.1
1:1万	2.3×2.3	约0.2
1:5万	11.5×11.5	约1
1:10万	23×23	约2
1:20万	46×46	约4
卫星像片		
苏KΦA-1000 1:20万	46×46	5~10
法SPOT1:40万	90×90	10~15
美TM 1:100万	180×180	30~40

四、地物频谱学,遥感的另一理论基础

地物在其存在空间中,可以用相同或相似纹理重复出现的状态和变化的频繁程度(即地物频谱特征)来表征其本身。地物的同类纹理的空间周期

之函数在单位长度中重复出现的周数称为地物空间频率(用 f 表示),其量纲为 L^{-1} , $f=L^{-1}$ 周/单位长度。若以100米地面长度为单位计算,不同地物空间频率见表2。 f 有高低,形成一个系列,即形成地物空间频率谱,或称地物频谱。某一种地物可以凭自己结构纹理大小特征,在地物频谱中占据一定的位置或一系列位置。戈壁中的沙梁, f 大约在0.2~0.01之间占优势,但在20~1之间可能也有贡献;而多数乔木林的树冠纹理, f 大约只能在100~4之间占优势了。

表2

地物重复纹理间隔尺寸 (地物空间周期 L ,米)	1	5	10	20	25	50	100	1000
地物空间频率 f	100	20	10	5	4	2	1	0.1

地物波谱系数 ρ_λ 是地物对某一电磁波谱段中辐射能的反射系数。地物 ρ_λ 在波长变化时有时相同,有时不同,这样就形成了 ρ_λ 曲线, ρ_λ 值升降于0至1之间。可以把整个电磁波谱分成若干个区间,或称波谱段。某一波谱段中 ρ_λ 的积分值大小决定着地物 ρ_λ 对未来形成波谱影像的贡献大小即 $D=F(\rho_\lambda)$ 。如果同时考察多个波谱段,那就是多波谱段摄影、多波谱段扫描、多波谱段遥感,等等。

与 ρ_λ 相似,地物频率特性还可用地物频谱系数 κ_f 表征。地物频谱系数 κ_f 有自己的性质。 κ_f 是地物在空间频谱中某一空间频率段中的占据系数。地物 κ_f 在频率变化时有时相同,有时不同,这样就形成了 κ_f 曲线,即地物频谱曲线, κ_f 值升降于0至1之间。可以把整个空间频率分成若干区间,或称频谱段。某一频谱段 κ_f 中的积分值大小,决定着地物 κ_f 对未来形成频谱影像的贡献大小,即 $D=F(\kappa_f)$ 。如果同时考察多个频谱段,那就是多频谱段摄影、多频谱段遥感,等等。

ρ_λ 对遥感信息的贡献,在数字图像中可以用数量表示,在模拟图像中可以用光学密度表示,得到地物谱图像; κ_f 对遥感信息的贡献同样可以分别用数量和密度表示,得到地物频谱图像(Structural Zonal Image,简称SZI)。

地物频谱学与地物波谱学一样,都是研究地物特征的。不过地物波谱学是研究地物电磁波辐射、反射特征的,而地物频谱学是研究地物纹理结构特征的。具体地讲,地物频谱学是以空间频率为量测手段,专门研究地物的细部、纹理、结构等空间分布状况的一门技术科学,它用地物频谱系数 κ_f 表示地物一个方面的特征。就像 ρ_λ 不能全面表达地物电磁波中的性质一样, κ_f 也不能全面表达地物纹理的性质,但 ρ_λ 和 κ_f 都是表达地物特征的重要手段。获取

地物频谱特性的基本方法是对地物的高分辨率图像进行结构分析,求出各种典型地物的地物频谱系数 κ_f ,绘成 κ_f 曲线,将众多 κ_f 曲线存储或入数据库,再以 κ_f 曲线为识别标准对带有地物频谱信息的低分辨率遥感图像进行判读识别。这里有三件工作:获取地物 κ_f 曲线,获取地物频谱图像或地物多频谱段图像,与同时获取的多波谱(段)图像一起综合分析进行精确判读。而解决卫片上“小地物”的识别问题是研究地物频谱学的主要任务。

地物的纹理多种多样,有点状、斑块状、条纹状等,从各个方向各个角度上观察,地物空间分布频谱特征也有不同。就象地物波谱系数 ρ_λ 一样,地物频谱系数 κ_f 对一个地物来讲绝不只是一根曲线。 ρ_λ 曲线对一个地物而言是一组,使用时可取特定条件下重要的一根或数根; κ_f 曲线对一个地物而言也是一组,使用时可根据具体情况选其有效的。

地物多频谱(段)图像的获取,最好是与获取多波谱(段)图像同时进行,将每一频谱图像的像元与波谱(段)图像的像元一一对应,以便于未来处理和使用。

选用多频谱(段)图像信息对同一地物的多波谱(段)图像的判读结果进行更正和补充,以达到增加地物分类层次、扩大识别和分类内容、准确判读结果的目的。美国的初步试验表明,对资源卫星像片上的林、开阔地、城市、水域判读时,在使用了地物频谱信息后,判读准确程度由74%提高至99%。

五、获取地物频谱信息的方法

获取地物频谱信息时,需要做两方面的工作:

第一是收集地物频谱特性 κ_f 。以往收集地物波谱特性时,需要用波谱仪到实地(或地面或空中)测量地物反射能量,绘出 ρ_λ 地物波谱反射性能曲线。收集物频谱特性可到实地测量,也可不到实地测量,而可在大量存在的各种比例尺航片(最好是小比例尺航片)和较大比例尺卫片上进行。收集的结果用 κ_f 曲线体现,当然也可用SZI图像体现。将这些从已知资料上获得的 κ_f 和SZI储存备用。

第二是在卫星上获取被考察的实际地物的SZI图像。多年来对地物做纹理分析一直是在已获取的航天遥感图像上进行,这种分析只能针对大于该传感器地面分辨率的地物,而对于“小地物”无效。本研究与过去不同之处在于,地物纹理分析过去是事后进行,现在是事先进行,在卫星上进行地物纹理分析,并与获取多光(波)谱图像同步获取该地物的多频谱图像。解决在卫星上获取SZI图像的问题,正是研究地物频谱信息获取要解决的主要难题。

前述情况,可用两个方框图说明。图1表示以往卫星遥感图像获取过程。图2表示同时获取地物

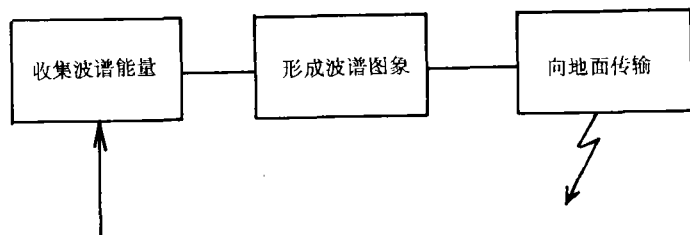


图 1

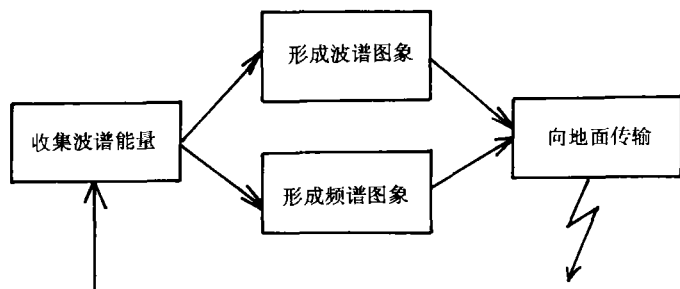


图 2

波谱信息和地物频谱信息而形成卫星遥感图像的过程。形成波谱图像的过程人们早已熟悉并使用多年。SZI 过程中有两个步骤，一是获取地物高分辨率图像，二是对该图像进行纹理分析，形成SZI 图像。第一步工作一定要在卫星上与获取波谱图像同步进行；第二步工作可在卫星上进行，也可在信息传输到地面后在室内进行。目前地球资源卫星每帧图像按单波段算，需向地面传输约 5000^2 个像元，六个波段同时下传时为 6×5000^2 个像元，这时每一个像元覆盖地面约40平方米。现在高分辨率图像按地面分辨率为2米计算，传一帧图像有 20000^2 个像元下传。如此，如果需要卫星在向地面传输波谱信息的同时传输为获取频谱信息用的高分辨率一个波谱段的图像，那就需要下传比原来只传六个波段图像时多约270倍的像元数。如果卫星有此向下传输能力，当然最好将高分辨率图像下传，在地面室内再进行纹理分析。考虑到目前卫星还没有如此大的高速度传输能力，那就只好选用在星上做纹理分析，将处理好的五至六个频谱段的每个像元的简单数据传下来的方法，这时向下传的数据量比原来只传波谱图像时仅多2倍左右。因此，目前只

能考虑在星上处理高分辨率图像，得出多频谱段图像SZI，然后下传的工作方案。

1980年原苏联科学院空间技术研究所吉曼(Я. Л. ЗИМАИ)曾推荐了几个在卫星上获取SZI 图像的方案(CCD 成像处理方案、光热塑成像光学相干傅氏处理方案和光热塑扫描成像CCD 读算处理方案)。根据当前技术情况，可在参考上述三个方案的基础上深入一步，考虑目前可行方案。

十年后的今天，有关SZI 信息获取的技术状况有如下变化：

1. CCD 技术有很大发展，像元可做到1 纳米；
2. 大规模集成电路技术发展，计算机微型化进程加速，计算机储存单元比十年前体积缩小了数十倍，而计算单元的体积比十年前缩小了百倍之多；
3. 光热塑材料制造工艺进展不大，在我国还没有生产光热塑材料的厂家，即使进口此种材料，卫星上在不断运转条件下使用这种材料，其耐用可靠性是要求极高的。

鉴于上述情况，今后SZI 获取中，应主要采用CCD 成像—微型机星上处理方案。

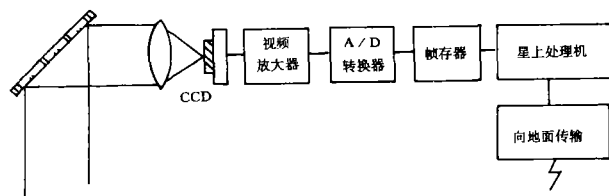


图 3

为了缓解星上瞬时处理的紧张，在SZI 成像过程中加入帧存储器，形成快录—存储—慢读算过程。与原卫片图像每个像元一一对映，或同步，或稍迟，将SZI 信号发往地面。图3 是根据目前情况推荐的CCD 成像帧存星上处理方案。用这个方案与原卫片图像摄取工作配合，发往地面的数据量只比只摄取原卫片时增多约2 倍。

获取SZI 图像传感器称为多频谱段扫描仪(MFZS)。为获取地物的多频谱图像，要在星上增设星载多频谱扫描仪。(责任编辑 宋义荣)

(上接第42 页)

与保险公司共保的方式来补贴农险，这种方式不妥。一般地，政府不宜直接参与保险，否则政企不分，有碍农险经济活动的正常开展。政府对农险的财政支持可采用正如赔分保方式或直接补贴保险公司的管理费用和纯保费。

4. 加强农业保险的基础研究工作，扩大农险专业技术人员队伍。

政府出面召集经济学、保险学、法学、农艺学等方面的专家，制定农业保险计划，选择一些典型地

区进行试办。在试办过程中，由专家负责监控，并根据开展过程中出现的问题不断地调整和改进计划。试办的目的是为大面积的农险推广提供经验。基础研究要解决以下问题：选择适宜的农业保险组织形式；确定农业保险的性质；收集农作物收获量和损失量数据，进行农作物保险的数据核计，科学制定牲畜保险的费率和保障责任；制定一套科学的定损程序；建立适当的责任分保机制；培训一批高素质的专业人员。(责任编辑 宋义荣)