

航空影像与 TM 影像的配准及用航空影像对 TM 进行作物估产方法的精度检验

刘 茜 徐 希 孺

(北京大学遥感技术与应用研究所 北京 100871)

摘 要 人们总是期望用较高分辨率的遥感影像来检验或评价相对低分辨率的遥感影像的分类结果的正确性,比如用航空影像检验 TM 的分类结果,用 TM 影像检验 NOAA 的分类结果。然而进行检验的首要关键的问题是将两幅不同分辨率的遥感影像在空间准确配准。事实证明,在空间域进行强制叠合是不成功的,因为二者没有可比的共同基准。两物相比必须有一个共同的基础,作者认为遥感影像的空间频谱是一个较好的可以相互比较的基础,人们可以设法使空间尺度不同的两幅遥感影像在空间频谱上具有一致性,也就是说对相对高分辨率的影像进行适当的低通滤波而粗化,并通过它与相对的低分辨率的遥感影像进行错动,求取相关系数值,当相关系数达到最大值时可被认为是最佳的配准状况。本文以 1:10000 的黑白航空像片为准,对应用 TM 影像估算冬小麦播种面积的精度进行了对比检验。结果表明,在传统的监督分类, K-T 变换或混合像元分解方法中,混合像元分解方法的精度最高。

关键词 配准,空间频谱,相关系数,混合像元分解

农作物估产是国家“七五”和“八五”攻关的重要课题。“七五”期间,应用遥感技术进行大面积的作物估产已经取得了成功,试验证明遥感用于农作物估产是可行的^[1]。但是如何科学地令人信服地检验估算结果的精度,仍然是一个没有彻底解决的问题。本文试图在冬小麦播种面积估测精度问题上提出一种新的可行的检验方法。

1 遥感资料的预处理

本文以航空像片为基准,检验由 TM 影像估算冬小麦播种面积的精度。选用的资料是1988年3月份的河南省长葛县的 TM 影像和同期的 1:10000 黑白航空像片,为了提高估算和配准的精度,首先要进行预处理,消除几何形变及各种噪声的影响。

1.1 航空影像的预处理

航空像片系中心投影得到的影像,在飞行过程中,由于飞行姿态的变动,几何位置很容易发生偏移,因而几何纠正是不可缺少的。航空像片经过摄像输入计算机成为数字影像。考虑到我们选用平原地区的目的是为 TM 影像提供冬小麦播种面积的基准值,并非适应制图需要,因此纠正的过程可以大大简化。从航空像片上的标识可以看出,其水平倾

收稿日期: 1993年7月3日;收到修改稿日期: 1994年3月15日。

斜角均在 3° 以内,故只需在地形图上选取适当的地面控制点进行航向的纠正即可。多幅经过纠正的航空影像根据其地面坐标进行拼接,从而得到一幅区域的数字航空影像(图 1)。由于本次航摄采用了普通黑白胶片,根据其光谱特性可知,黑色代表冬小麦,白色为裸露地,冬小麦长势越好,叶面积指数越高,其灰阶亦越高,在确定一个灰阶阈值后,便可自动计算冬小麦播种面积值。

1.2 TM 影像的纠正

TM 影像的预处理包括几何纠正和辐射纠正。几何纠正可以通过选取控制点的方法实现空间位置的纠正,这是常规的方法。辐射纠正正在 TM 的定量分析中也十分重要,这是因为其一 TM 的 2,3,4 波段处于可见光和近红外波段范围内,大气分子和气溶胶对电磁辐射有较强的散射作用,因而它将对 TM 影像的实际空间分辨率产生显著的影像;其二从后面的混合像元分解过程中可以得知,大气纠正前后计算得到的主因子数分别为 2 和 3,经因子检测方法^[2]确认,它们分别为植被、土壤和城镇,也就是说,大气“噪声”的影响可以达到掩盖第三主成分(城镇)的程度,因此大气纠正是必需的。

TM 传感器接收到的辐射亮度值包括 3 部分

$$L = L_s + L_0 + L_D \quad (1)$$

L_s 代表地面目标的反射辐射经大气削弱后到达传感器的那部分; L_0 代表路径辐射项; L_D 代表交叉辐射项。

TM 传感器对地扫描视角在 $\pm 7^\circ$ 范围内,可以近似为对地垂直视状态。因此路径辐射项对整幅 TM 可近似作为常数;描述交叉辐射项的点扩散函数处处近似一致。有鉴于此,采用大气光学调制传递函数是方便的。公式(1)可以改写为

$$L(x, y) = L_0 + \mathcal{L}^{-1}\{\mathcal{L} L_g(x, y) \cdot M(u, v)\} \quad (2)$$

其中 L_0 仍为路径辐射项,是大气直接散射太阳辐射进入传感器的部分。 \mathcal{L} 为富里叶变换, \mathcal{L}^{-1} 为富里叶变换的逆变换。 $L_g(x, y)$ 为没有大气效应的地面辐射场,是我们想要得到的值。 $M(u, v)$ 为二维空间频率域的大气光学调制函数,其中 u, v 为互相正交的两个空间频率,由于可以把 TM 对地扫描近似为垂直视状态,故 $M(u, v)$ 可以简化为一维函数 $M(u, v) = M(u) \cdot M(v)$ ^[1]。

$$L_0 = k(1 - e^{-(\tau_a + \tau_R)/m}) \quad (3)$$

τ_a, τ_R 分别为气溶胶和大气分子光学厚度。 $\tau_a = 0.11\lambda^{-1.3}, \tau_R = 6\beta_m, \beta_m$ 为 Rayleigh 散射系数^[3]。

$$1/m = 1 + 1/\mu_0$$

$\mu_0 = \cos \theta_0, \theta_0$ 为太阳天顶角 $\cos \theta_0 = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \iota, \delta$ 为赤纬, φ 为纬度, ι 为时角。

在 TM4 波段,水体的反射值可近似视为 0,因此可将该波段水体的灰度值作为 L_0 ,并依此推算其它波段的 L_0 值及大气光学厚度值 τ_R 与 τ_a 。

1) 董喆学. 大气散射引起的 TM 影像像质衰退及其恢复处理的研究. 北京大学遥感技术与应用研究所硕士论文, 1990。

由 Kaufman 的半经验公式, 给出大气光学调制传递函数与大气光学厚度 τ_R 气溶胶光学厚度 τ_a 之间的关系,

$$M(u) = 1 - 0.5\tau_R(1 - e^{-2.5uH_R}) - 0.7\tau_a(0.59)B_2(1 - e^{-1.3uH_a}) \quad (4)$$

$$B_2 = 1.13k_0(\lambda_2^{0.8} - \lambda_1^{0.8}) + \frac{k_1}{k_2 + 0.8}(\lambda_2^{k_2+0.8} - \lambda_1^{k_2+0.8})$$

k_0, k_1, k_2 为经验系数, 它由 Kaufman 给出。

最后, 可以求出各波段的调制函数 $M(u, v)$, 进而消除大气影响, 恢复原图像。

2 用空间频谱—相关方法进行配准

理论上讲, 航空像片和 TM 影像的像元尺度不是同一数量级的, 一个 TM 像元对应着航空像片上的许许多多像元, 因此, 在空间域上的配准是比较困难的。为此, 必须寻找一个两者有可比标准的新的作用域。新作用域一方面应保留原图像的全部信息, 另一方面在新的变换域内两者有相互可比的共同标准。

2.1 空间频谱—相关方法的原理

遥感影像所表达的灰阶值的空间变化表面上看似是杂乱无章的, 具有随机变动的特征, 但是从空间频谱的角度分析, 它们都可以分解为具有不同空间频率的波所组成的谱。对同一地区的两幅具有不同空间分辨率的遥感影像来说, 其差别不在于低频部分而在高频部分, 因为传感器的空间分辨率在采样过程中所起的作用无非是平滑掉所有尺度小于它的那些高频波, 换言之, 对同一个地区的航空影像和 TM 影像而言, 其空间频谱的低频部分应该是相同或相近的, 而有显著差别的只是在高频部分, 所以只要对航空遥感影像进行适当的低通滤波, 那么两者的频谱应该具有最大的相似性。反之, 如果两幅遥感影像实际上取自两个不同的地区, 那么即使对具有高空间分辨率的遥感影像进行了适当的低通滤波, 它们的空间频谱仍不可能有较高的相似性或相关性。一幅遥感影像从空间域变换到空间频率域并不损失任何信息, 但却为拥有不同空间分辨率的两幅遥感影像提供了一个可比的共同基础, 由此可见空间频率域正是我们所要求的新作用域, 而富里叶变换及其逆变换正是遥感影像的空间域与空间频率域相互变换的主要数学工具。

如取 TM 的空间分辨率为 Δm , 根据抽样定律, 我们取航空影像的截止空间频率 $f_c = \frac{1}{2\Delta}$ 。

为了定量地表达相似性, 拟定适当的相关系数计算方法是必要的。我们的具体作法如下:

首先根据目视判读分别在航空影像与 TM 影像上(在空间域上)找出大致相同的区域, 将两幅影像重叠, 选取共同的中心位置, 按像元尺度比例粗略地划出共同的区域, 然后分别进行富里叶变换, 为了简化起见只对一个方向取富里叶变换, 并沿其垂直方向取其平均值, 这样把二维谱简化为一维谱, 分别以 $X(n)$ 和 $Y(n)$ 代表航空影像与 TM 影像的空间频谱, 其中 n 代表空间频率。其次, 错动两影像的共同中心位置, 用 \bar{i} 表达它的偏移

值,影像的取域区域随偏移值作相应变动,再重新计算他的频率谱,按下列公式求取相关系数值

$$R_{xy}(\bar{i}) = \sum_{n=0}^{N-1} X_i(n)Y(n) \quad (5)$$

显然 $R_{xy}(\bar{i})$ 将是 \bar{i} 的函数,当 $R_{xy}(\bar{i})$ 取极大值时,认为此 \bar{i} 为最优匹配位置,图2展示了 $R_{xy}(\bar{i})$ 值随 \bar{i} 值的变动情况,确认了 $R_{xy}(\bar{i})$ 对某个 \bar{i} 值取极大值现象的出现。

通过上述方法我们分别在航空影像与 TM 影像上选定了相对应的区域,为评定冬小麦播种面积估测精度的计算方法奠定了基础。

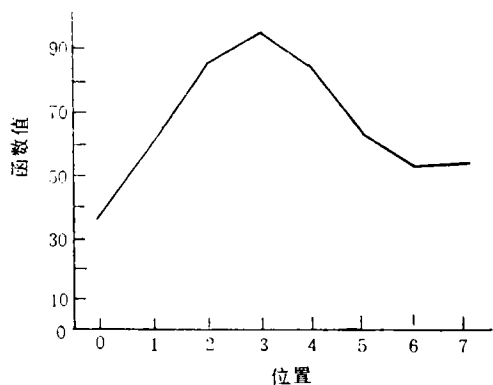


图2 相关系数函数曲线

Fig. 2 Corelation Function Curve

2.2 配准

在 TM 影像的样区中选取了 $64 * 256$ 大小的试验区,其左上角为一条河流。同样在同期的航空影像上根据目视判读的结果选择了具有相似河流地段的区域,摄像输入的航空影像其像元分辨率为 $4m$ 左右,所对应的大小为 $240 * 1920$ 。分别对两幅影像进行傅氏变换,并对航空像片的频谱以 $30m$ 的抽样间隔进行低通滤波,将二者的频谱进行相关运算,航空影像每移动一个像元的位置即可得到一个相关值,这一系列相关系数构成与航空影像位置有关的一条曲线,取其极大值处(即相关程度最高)为最佳对应位置,再反变换到空间域,从而确定了 TM 和航空像片的空间位置的配准关系。

从相关曲线的分布来看,有些区域的差别比较小,主要是由于地物比较相近造成的。所以对于这种地区,上述的配准方法还不能达到较高的精度。

3 估算冬小麦面积的精度检验及结果分析

以 TM 数据计算冬小麦播种面积的方法很多,本文仅选用 3 种方法作为典型代表,它们是监督分类法、K-T 变换法及混合像元分解方法。

3.1 监督分类及 K-T 变换法

监督分类法使用比较普遍,首先我们选用 TM 的 2,3,4 波段作假彩色合成(B,G,R)产生假彩色合成图,然后进行监督分类估算冬小麦面积。K-T 变换方法的核心是计算每一个像元的绿度值,本文采用的 K-T 变换系数矩阵为表 1。

考虑到所选区域三月份除了冬小麦之外没有其他绿色植被,故可根据地面采样确定

1) TM 图像及其应用译文集。北京大学遥感技术与应用研究所,1987。

表 1
Table 1

波 段	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
绿 度	-.2848	-.2435	-.5436	.7243	.0840	-.1800

一个绿度值的阈值,凡大于阈值者被列到冬小麦地类,反之被并入非冬小麦之列。以上两种方法均以像元为最小估算单位,考虑到中国冬小麦实际耕种习惯,垄宽一般在 5m 左右,所以混合像元问题可能会比较突出,并在计算中带来较大的误差,故我们选用混合像元分解的方法作为第三种方法的代表。

3.2 混合像元分解法

混合像元分解,顾名思义就是将一个像元看做是几种地物的混合体,每种地物被称为一个成分,分解的目的就是要把每个像元内的每种地物所占的面积百分比算出来,从而得到某类地物在该区域内所占的面积值。

$$\rho_{i,j} = \sum_{k=1}^n a_{i,k} \rho_{k,i} \quad (6)$$

$\rho_{i,j}$ 代表第 i 个像元在第 j 波段所具有的混合光谱反射率。故 i 代表空间位置, j 代表波段数。 $a_{i,k}$ 代表第 k 类地物在第 i 个像元中所占的面积百分比,所以 k 代表某地物类型, $\rho_{k,i}$ 就代表某类地物的波谱特征。

设被选定的区域内共有 M 个像元(即 i 取值为 $0-M$), N 个波段值(即 j 取值为 $0-N$),则可构成一个 $M * N$ 维的资料矩阵 $|D|$,

$$|D| = |A||\rho| \quad (7)$$

其中 $|\rho|$ 为地物波谱矩阵,为 $K * N$ 维,该矩阵可以通过地面实测和因子检测法确定,故为已知。 $|A|$ 称为面积矩阵,分 $M * K$ 维,是待求矩阵。由于 $|D|$ 、 $|A|$ 、 $|\rho|$ 一般都不是方阵,亦不满足满秩条件,所以不能简单地对公式(7)两边同乘逆矩阵 $|\rho|^{-1}$ 而获知 $|A|$, 这样应用主成分分析法求取 $|D|$ 的本征矩阵及其相应系数矩阵。

$$|D| = |R||C| \quad (8)$$

其中 $|C|$ 为 $|D|$ 的本征矩阵的转置矩阵, $|R|$ 为相应的系数矩阵,再应用转换矩阵的概念将 $|R|$ 与 $|A|$ 联系起来,

$$|D| = |R||C| = |R||T|^{-1}|T||C| = |A||\rho| \quad (9)$$

令 $|\rho| = |T||C|$, 因为 $|\rho|$ 与 $|C|$ 均为已知,并且 $|C|$ 为本征矩阵的转置矩阵,所

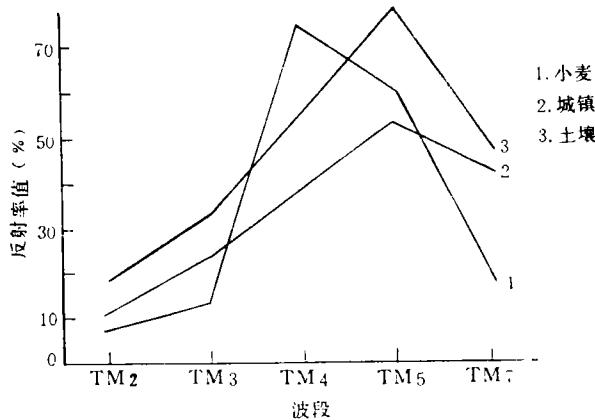


图 3 小麦、城镇、土壤的波谱曲线
Fig. 3 Reflectance Spectra Curve

以 $|C|^{-1} = |C|^T$; 这样 $|T|$ 为可求, 即 $|T|^{-1}$ 为可知。则

$$|A| = |R||T|^{-1} \quad (10)$$

本试验区根据因子检测方法确定了独立成分数为 3 个, 它们分别代表冬小麦、裸露地及城镇, 其各自的波谱特征示于图 3。另外面积矩阵的各要素 $a_{i,j}$ 应满足 $0 \leq a_{i,j} \leq 1$ 的条件。对实际区域的计算表明仍有 3% 的像元不满足上述条件, 这是主成分分析方法本身的缺点所致。

应用 3 种方法对选定区域计算的冬小麦所占的面积比例列于表 2。

表 2
Table 2

数据源	航空 像片	TM		
		混合像元分解	K-T变换	假彩色合成
面积比	19.1%	21.9%	32.0%	30.3%

3.3 结果分析

从结果可以看出, 混合像元方法估算面积的结果最接近作为标准的航空影像的面积值, 而 K-T 变换和假彩色合成方法的结果偏高。究其原因, 由统计方法进行分类时所选择的标准光谱往往是一个像元内的所有地物的混合光谱。这是由于冬小麦垄的宽度大大小于 30m 所致, 非冬小麦地成分的混入使得面积计算的结果偏大, 同时分类过程中的主观因素也影响了精度。混合像元分解方法在一定程度上解决了统计方法中的问题, 它把每个像元都分解成为几个主成分, 并分别计算其面积, 使面积估算时的最小单位小于一个 TM 像元的大小。其误差主要来源于其一非主成分的因素被归入到某一主成分中, 其二以平均光谱代替实际光谱。

应用一幅 TM 影像估算冬小麦播种面积, 不论我们采用何种方法, 都是依据冬小麦地的光谱特征来确定其面积的, 我们暂称为“光谱面积”, 然而光谱面积与常规的冬小麦播种面积的概念是有差别的。通常冬小麦垄与垄之间的土壤被划入冬小麦地之列, 但在光谱特征上它与裸露地相近, 其次实际冬小麦地长势有差别, 换言之, 冬小麦地的叶面积指数值 (LAI) 可以差别很大, 这就是说长势好的、中等的和差的冬小麦地其光谱曲线并非一致, 但其面积却可相等。在混合像元分解方法中我们用一个平均光谱来代替实际的冬小麦的光谱值, 而忽略了不同长势冬小麦的光谱值的差别, 所以结果造成对长势好的冬小麦地的面积夸大, 长势差的小麦面积压缩。归根到底, 估算结果也只是实际情况的一种平均而已。因此冬小麦地平均光谱获得是否具有平均意义对面积估算的精度具有决定意义。看来这一矛盾的解决只有引入多时相的综合分析才有可能。

参 考 文 献

- [1] 徐希孺等. 混合像元的因子分析方法及其在大面积冬小麦面积估算中的应用. 科学通报, 1990, 35(4), 317—320.
- [2] 邵美珍等. 基于主成分的混合像元分解. 中国空间科学技术, 1989, 9(5)63—68.
- [3] E. J. McCartney. 大气光学——分子和粒子散射. 潘乃先等译, 科学出版社, 1988.

Matching of Airphotos with TM Images and Precision Testing of Crop Area Estimation by Means of TM Using Airphotos

Liu Qian Xu Xiru

(Institute of Remote Sensing Peking University)

Abstract This paper presents a new approach called spacial frequency spectrum-correlation for the matching of remotely sensed images of different dissolution by evaluating the correlativity of low pass filtered spectrum of higher dissolution image and that of lower dissolution image. When the coefficient is the maximum value, it is considered the best position for matching. In this paper the precision of estimated winter wheat area of TM image by several different classification methods is tested by 1:10000 B/W airphoto, the result implies that the disintegration of mixed pixel is of the highest estimation precision.

Key words Matching, Spacial frequency, Correlation coefficient, Disintegration of mixed pixel