

四种IHS变换用于SAR与TM影像复合的比较

贾永红 李德仁 孙家柄 刘继林

(武汉测绘科技大学信息工程学院 武汉 430070)

摘 要 本文采用四种典型的IHS变换对同一地区的SAR与TM影像进行了复合,并对复合影像作了定性和定量的分析。试验结果表明:用熵、联合熵和平均梯度这3个客观定量指标评价复合效果不仅比目视评价准确有效,而且提供了选择最佳IHS变换用于复合的方法。

关键词 熵, IHS变换, 影像复合, 像质评价

1 概 述

随着遥感技术的发展,获取的遥感数据越来越丰富。遥感技术的应用逐步实现从定性调查制图向定量统计分析过渡,从静态现状描述向动态预测预报过渡,从单一传感器数据的分析应用向多波段、多传感器、多平台、多时相、多分解力数据的综合分析与应用过渡,从通用向深化过渡^[1]。尤其是正在发展的微波遥感和成像光谱仪,使遥感数据更加富集。未来遥感技术应用的主要障碍,不再是数据源的不足,而是从这些数据源中提取更丰富、更有用和更可靠信息的能力大小。合成孔径雷达SAR具有全天候、全天时、穿透性强和分辨率高等优点,因此本文采用四种IHS变换对覆盖广东省三水城区的航空SAR影像和TM影像进行复合,对复合的影像不仅从视觉上定性加以评价,并采用熵、联合熵和平均梯度3个指标进行定量评价。这将不仅为选择最佳IHS变换用于多源遥感影像复合提供了依据,而且由复合影像能提取更有用、更可靠的信息,有利于提高解译、分类和制作专题图等的精度。

2 IHS变换复合法

在色度学中,把彩色影像的红(R)、绿(G)、蓝(B)变换成亮度(I)、色度(H)、饱和度(S)称为IHS变换,而且 I, H, S 变换成 R, G, B 称为反变换。由于IHS变换是一种图像显示增强和信息综合的方法,具有灵活实用的优点,因此产生了多种IHS变换

式^[2-5]。本文采用四种IHS变换(表1,反变换式略)对SAR影像和TM 3个波段TM(3、4、5)影像进行复合,复合的方法如下:

1. 影像几何配准: SAR作为一种主动式遥感系统,具有全天候、全天时、穿透性强和分辨率高等优点。但SAR影像的主要缺点是不仅相干斑噪声大,而且SAR所记录的几何位置是根据斜射程确定的(即方位向按雷达飞行中时间顺序,距离向上按回波的延时确定的),存在透视收缩、阴影、叠掩等多种畸变因素导致的几何失真。为将采用的航空SAR影像与3个波段TM影像复合,对SAR影像的斑点噪声用 σ 滤波法^[6]加以去除或削弱,这种滤波法效果比中值滤波、均值滤波、低通滤波更优越,尤其是在保留影像细节与分辨率上。对SAR影像几何失真的校正方法很多,归纳起来只有两种:多项式逼近法和几何模型校正法,其中多项式逼近法只适用于平坦地区。对于起伏大的地区则需采用几何模型校正法。如G. K. Kiremidian提出一种只顾及斜距和地距差别SAR成像几何模型的校正法;R. Kok等人进行了改进,G. Komid等提出先用几何模型初校正,再用移动平均多项式校正的二步法;洪峻等提出的混合校正法等^[6]。由于本文所用雷达影像覆盖区属平坦地区,因此采用二次多项式逼近法加以校正。

对于Landsat TM 3个波段影像可采用选择控点的方法进行几何精校正,以便于后期测图。经几何校正后的SAR影像与TM影像通过少量的控制点就可以相互配准。几何配准是后续复合的基础,几何配准精度直接影响复合影像的空间分解力和清晰度。因此配准误差应控制在1个像素范围内。

收稿日期: 1997-04-17; 收到修改稿日期: 1998-09-18

表1 四种典型的IHS变换式

Table 1 Four kinds of HIS transformations

彩色变换	正 变 换	备 注
球体变换 ^[3]	$I = \frac{1}{2}(M+m)$ $S = \frac{M-m}{2-M-m}$ $H = 60(2+b-g) \text{ 当 } r = M;$ $H = 60(4+r-b) \text{ 当 } g = M;$ $H = 60(6+g-r) \text{ 当 } b = M$	$r = \frac{\text{Max}-R}{\text{Max}-\text{Min}}$ $g = \frac{\text{Max}-G}{\text{Max}-\text{Min}}$ $b = \frac{\text{Max}-B}{\text{Max}-\text{Min}}$ $\text{Max} = \text{Max}[R, G, B]$ $\text{Min} = \text{Min}[R, G, B]$ $M = \text{Max}[r, g, b]$ $m = \text{Min}[r, g, b]$
圆柱体变换 ^[4,6,8]	$I = \frac{1}{\sqrt{3}}(R+G+B)$ $H = \text{tg}^{-1} \left(\frac{2R-G-B}{\sqrt{3}(G-B)} \right) + C$ $S = \frac{\sqrt{6}}{3} \sqrt{R^2+G^2+B^2-RG-RB-GB}$	$\begin{cases} C = 0 \text{ 当 } G \geq B; \\ C = \pi \text{ 当 } G < B \end{cases}$
三角形变换 ^[2]	$I = \frac{1}{3}(R+G+B)$ $H = \frac{G-B}{3(I-B)} \quad S = 1 - \frac{B}{I} \text{ 当 } B = \text{Min};$ $H = \frac{B-R}{3(I-R)} \quad S = 1 - \frac{R}{I} \text{ 当 } R = \text{Min};$ $H = \frac{R-G}{3(I-G)} \quad S = 1 - \frac{G}{I} \text{ 当 } G = \text{Min}$	$\text{Min} = \text{Min}[R, G, B]$
单六角锥变换 ^[5]	$I = \text{Max}, \quad S = \frac{\text{Max}-\text{Min}}{\text{Max}}$ $H = \left(5 + \frac{R-B}{R-G} \right) / 6 \text{ 当 } R = \text{Max}, G = \text{Min};$ $H = \left(1 - \frac{R-G}{R-B} \right) / 6 \text{ 当 } R = \text{Max}, B = \text{Min};$ $H = \left(1 + \frac{G-R}{G-B} \right) / 6 \text{ 当 } G = \text{Max}, B = \text{Min};$ $H = \left(3 - \frac{G-B}{G-R} \right) / 6 \text{ 当 } G = \text{Max}, R = \text{Min};$ $H = \left(3 + \frac{B-G}{B-R} \right) / 6 \text{ 当 } B = \text{Max}, R = \text{Min};$ $H = \left(5 - \frac{B-R}{B-G} \right) / 6 \text{ 当 } B = \text{Max}, G = \text{Min}$	$\text{Max} = \text{Max}[R, G, B]$ $\text{Min} = \text{Min}[R, G, B]$

2. 对 3 个波段 TM 影像进行 IHS 变换, 得到代表空间信息的明度 (I) 和代表光谱信息的色别 (H)、饱和度 (S) 影像。SAR 影像同明度影像进行直方图匹配, 生成具有和明度分量直方图相似的影像。以减少 SAR 和明度影像因获取时太阳高度角和大气条件不同造成的差异。

3. 由于人眼对影像明度的空间分解力比色别、饱和度的空间分解力高, 同时要使复合影像同原 TM 影像光谱特征的差异尽可能小, 以便复合影像更易于影像判读和分类等后续处理。因此用经直方图匹配生成的 SAR 影像代替明度分量, 并同 H、S 进行 IHS 反变换, 即可得到空间信息丰富、保留光谱特征的复合影像。

3 像质评价标准

为评价复合效果, 本文提出用熵、联合熵和平均梯度衡量。

3.1 熵与联合熵

根据仙农 (shannon) 信息论的原理, 一幅 8bit 表示的图像 X 的熵为:

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i \quad (\text{比特}) \quad (1)$$

式中 P_i 为图像像素灰度值为 i 的概率。同理, 2—4 幅图像的联合熵分别为:

$$H(x_1, x_2) = - \sum_{i_1, i_2=0}^{255} P_{i_1 i_2} \log_2 P_{i_1 i_2}$$

$$H(x_1, x_2, x_3) = - \sum_{i_1, i_2, i_3=0}^{255} P_{i_1 i_2 i_3} \cdot \log_2 P_{i_1 i_2 i_3} \quad (2)$$

$$H(x_1, x_2, x_3, x_4) = - \sum_{i_1, i_2, i_3, i_4=0}^{255} P_{i_1 i_2 i_3 i_4} \log_2 P_{i_1 i_2 i_3 i_4}$$

式中 $P_{i_1 i_2}$ 图像 x_1 中像素灰度为 i_1 与图像 x_2 中同名像素灰度为 i_2 时的联合概率, $P_{i_1 i_2 i_3}, P_{i_1 i_2 i_3 i_4}$ 亦类推。

一般来说, $H(x), H(x_1, x_2), H(x_1, x_2, x_3)$ 和 $H(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 越大, 图像 (或图像组) 所含信息越丰富。

3.2 平均梯度

平均梯度是敏感地反映图像对微小细节反差表达的能力。其计算公式为:

$$g = \frac{1}{(M-1)(N-1)}$$

$$\sqrt{\sum_{i=1}^{(M-1)(N-1)} \left(\left(\frac{\Delta D_i}{\Delta x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta D_i}{\Delta y} \right)^2 \right) / 2} \quad (3)$$

一般来说, g 越大, 表明图像越清晰。

4 试验结果分析

本文采用覆盖广东省三水城区的 SAR 影像(1993年11月20日获取)和 TM(3、4、5)3个波段影像(1994年5月8日获取)采用四种 IHS 变换进行复合的原始影像和复合影像图(图版 I 图 1)。为客观地定量地评价复合效果, 计算了原 TM 影像和四种 IHS 变换复合影像的熵 $H(x)$ 、联合熵 $H(x_1, x_2, x_3)$ 和平均梯度(表 2)。

4.1 主观定性评价

1) 从空间分解力、清晰度和极限放大倍数看, 四种 IHS 变换复合都将 SAR 的空间信息和 TM 的光谱信息有机结合, 复合的影像都比原 TM 影像在分解力、清晰度上有很大提高, 水体和线形地物更加突出。如图版 I 图 1 复合影像上能清晰分辨的田块边界、道路、居民地轮廓和桥梁等线状地物, 而在 TM 影像上就模糊显得难以分辨。从极限放大倍数看, 各复合影像的极限放大倍数是 TM 影像的近 3 倍。可见 IHS 变换复合法使 TM 影像增强了。相比较而言, 球体、圆柱体和三角形变换复合的影像较好, 其中球体变换趋于最佳, 单六角锥变换复合影像最差。

2) 从光谱特征看, 图版 I 图 1 复合影像彩色合成在色彩上同 TM 影像彩色合成相比, 球体、圆柱体、三角形变换复合的影像彩色合成在色彩上整体同 TM 影像相似, 同类地物有接近相同的色彩, 但在局部与 TM 影像有明显的差异。而单六角锥变换的影像彩色合成(除水体外)整体上同 TM 影像有较大差异, 但同类地物有接近相同的色彩。这表明复合影像的光谱特征同 TM 影像的光谱特征有较大差异, 但复合影像比 TM 更有利于目视解译。造成光谱特征变化的原因主要是二类传感器波谱响应范围、波谱敏感性等因素不同, 结果 SAR 与明度影像间相关性小的缘故。

4.2 客观定量评价

1) 从表 2 的第 3 列看, 无论采用哪种 IHS 变换

表 2 TM 影像和复合影像的熵、联合熵和平均梯度

Table 2 Entropy, joint entropy and average gradients of TM and merged images

影像	波段号	熵 $H(x)$	联合熵 $H(x_1, x_2, x_3)$	平均梯度
球体变换复合	3	7.63	15.88	26.81
	4	7.73		24.89
	5	7.54		23.93
圆柱体变换复合	3	6.97	15.85	14.67
	4	7.30		17.80
	5	7.27		20.42
三角形变换复合	3	6.64	15.76	11.76
	4	7.32		18.70
	5	7.26		20.65
单六角锥变换复合	3	6.10	15.20	8.33
	4	7.48		23.88
	5	6.80		17.30
TM 影像	3	4.94	14.78	8.1
	4	5.92		9.9
	5	6.57		8.2

注: SAR 与原始 TM 影像的联合熵 $H(x_s, x_t, x_b, x_g) = 15.96$, SAR 影像的熵 $H(x_s) = 6.69$ 。

进行复合, 各波段复合影像的熵都比相应的 TM 影像的熵大, 且采用前 3 种变换复合的影像的熵均大于 SAR 影像的熵, 其中球体变换复合影像的熵最大。这表明采用四种 IHS 变换复合均使两类影像的信息得到复合。从复合影像的熵来看, 选择球体变换进行复合是最佳的。其次是圆柱体变换、三角形变换, 最差的是单六角锥变换。虽然该结论与主观评价一致, 但尚需指出的是, 复合影像的熵增大并不充分说明复合影像的信息最丰富。或许复合影像间具有较大的相关性, 因而需进一步研究复合影像间的相关性。

2) 从表 2 的第 4 列看, 无论采用何种 IHS 变换进行复合, 复合影像的联合熵比原 TM 影像的联合熵大, 且都较接近 TM 与 SAR 影像的联合熵, 其中采用球体变换复合的影像联合熵最大。这些结果表明复合影像间相关性小于 TM 影像的相关性, 所含信息都比原 TM 影像信息丰富, 且很大程度上包含了原 TM 和 SAR 影像的信息, 信息损失少。其中采用球体变换复合的影像信息最丰富, 信息损失最少。因此从复合影像的联合熵比较, 选择球体变换用于复合是最佳的, 依次是圆柱体、三角形和单六角锥变换, 与 1) 结论相同。可见用熵、联合熵评价复合效果和复合影像质量是很有效的, 其中联合熵比熵更能有效评价复合效果, 只是计算量大些。

3) 从表 2 的最后一列看,采用四种 IHS 变换分别进行复合得到的影像的平均梯度均比原 TM 影像的平均梯度大,其中采用球体变换复合的影像平均梯度最大,为原 TM 影像的近 3 倍。而其余 3 种变换复合的影像平均梯度提高幅度都比它小。这表明采用四种 IHS 变换复合的影像清晰度都比 TM 影像高,因而有利于提高解译、分类和制作专题图等的精度。其中采用球体变换复合的影像最清晰。

综上所述,客观定量评价比主观定性评价更准确、更有效,球体变换用于复合是最佳的。将试验区分成 4 个子块进行试验,可以得到类似的结论。

五 结 论

本文采用球体、圆柱体、三角形和单六角锥变换用于复合 SAR 和 TM 影像,通过对复合影像进行主观定性和客观定量的分析,结果表明:客观定量评价方法比主观定性评价法更准确有效。它不仅可用来评价复合效果,而且提出了选择最佳彩色变换用于复合的方法。其中球体变换复合最佳,尤其复合的影像最有利于提高解译,分类和制作专题图等的精度。

参 考 文 献

- 1 国家科委国家遥感中心编. 空间遥感技术综合应用预测及效益分析. 北京: 学术期刊出版社, 1988.

- 2 李旭文. 主成分变换和彩色变换在 TM 图像信息提取中的应用——以苏州市为例. 环境遥感, 1992, 17(4).
- 3 Conrac Corp., Conrac Division. Raster Graphics Handbook. Covina, California, Conrac Corp., 1980.
- 4 Harris, J. R. Murray, T. Hirose. IHS Transformation for the Integration of Radar Imagery with Other Remotely Sensed Data. *PE&RS*, 1990, 56(12):1631—1641.
- 5 宋顺林. 计算机动画技术. 南京: 南京大学出版社, 1995, 70—71.
- 6 郭华东主编. 雷达图像分析与地质应用. 北京: 科学出版社, 1991 年.
- 7 Kay S. P. HSI Color Image Processing Techniques and Applications. Image Processing Handbook, Data Translation, Inc. 1990.
- 8 Haydn, R. et al. Application of the IHS Color Transformation to the Processing of Multisensor Data and Image Enhancement. PMC, ISRSAS & SL, Cairo Egypt, 1982, 599—616.
- 9 Chavez, Pat S. Stuart C. Sides, Jeffrey A. Anderson. Comparison of Three Different Methods to Merge Multi-resolution and Multispectral Data Landsat TM and Spot Panchromatic. *PE & RS*, 1991, 57(3):295—303.
- 10 Curtis, Munedhika, Jameo S. Warnick, Carl Salvaggio et al. Resolution Enhancement of Multispectral Image Data to Improve Classification Accuracy. *PE & RS*, 1993, 11X(1).

作 者 简 介

贾永红, 男, 32 岁, 武汉测绘科技大学在职博士研究生。主要从事遥感图像处理和分析。现已公开发表论文 18 篇。

Comparison of IHS Transformation for Integrating SAR and TM Images

Jia Yonghong Li Deren Sun Jiabing Liu Jiling

(Wuhan Technical University of Surveying and Mapping Wuhan 430070)

Abstract In this paper, four kinds of IHS transformations are used to integrate SAR and TM images. The resultant images are evaluated qualitatively and quantitatively. It shows that the quantitative analysis using entropy, joint entropy and average gradient is better than visual qualitative analysis, and provides the way to choose the most suitable IHS transformation for combining images.

Key words Entropy, IHS transformation, Image integration, Image quality measure