

彩色变换及其在浙江括苍山地区的应用研究

赵元洪 陈 岚 李旭文 戴企成

(浙江大学地球科学系)

1989年5月22日收稿

摘 要

本文利用色度坐标,研究了 IHS 彩色变换,提出并试验了一种便于在遥感数字图像处理中应用的变换式,在浙江括苍山地区试验中,取得了令人满意的结果。试验表明: IHS [变换不仅为图像彩色增强提供了一种有效的新方法,而且为各种遥感与非遥感图像的复合和综合显示开辟了一条理想的新途径。

关键词 IHS 变换 彩色增强 图像复合 综合显示。

一、前 言

随着遥感应用的深入开展,多种图像信息包括遥感信息和非遥感信息的复合和综合显示问题,日益受到人们的重视,彩色变换(IHS变换)是一种新颖和有效的图像彩色增强和图像信息综合显示方法。

本文利用美国第二代陆地卫星 TM CCT 数据,在我国东南沿海火山作用比较典型的浙江括苍山地区开展了此项研究工作,试验中采用色度坐标直接对 IHS 变换作了研究,提出并试验了一种便于在遥感数字图像处理中使用的变换式,设计和调试了有关应用软件,试验效果良好。在作彩色饱和度拉伸进行图像增强方面,在复合显示不同空间分辨率图像方面以及在对 TM 数据和地球物理、地球化学数据作综合显示等方面,都取得十分令人满意的结果,获得了十分清晰的综合显示图像,为地学综合分析和综合解译提供了宝贵的基础资料。

研究是在本单位 DPS8 通用计算机和 M75 图像处理设备上进行的,参加研究工作的还有张福祥、丁跃民等同志。

二、IHS 变换原理

IHS 变换可使表示景物颜色的红、绿、蓝 (R, G, B) 三基色和亮度、色调、饱和度 (I, H, S) 三成分之间进行相互转换。在遥感图像处理中,利用这一变换,可使图像在 I, H, S 空间有目的地进行处理,然后再变换到 R, G, B 空间进行显示,使图像彩色增强获得更佳的效果,并可使不同分辨率的图像进行复合获得最佳的综合显示。

IHS 变换可以简便地直接采用色度坐标来研究。

在色度坐标中,不直接采用三基色成分 (R, G, B) 的数量来表示颜色,而用三基色各自在 R, G, B 总量中的相对比例来表示,故颜色的色度坐标 r, g, b 为

$$\begin{aligned} r &= \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{B}{R+G+B} \\ r+g+b &= 1 \end{aligned} \quad (1)$$

任意一种颜色在色度坐标中表示成一个色点 $P(r, g, b)$ 。因为 $r + g + b = 1$, 则各色点均处在如图 1 所示的三角平面 ($\Delta r_1 g_1 b_1$) 内。随着 r, g, b 值的变化, 颜色就发生变化, 如 $g = b = 0$ 时, 则景物为红色; 当 $r = g = b$ 时, 景物为白色, 即图 1 内 $\Delta r_1 g_1 b_1$ 的中心点

$$W\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}\right)$$

随着离中心点相对距离的增加, 颜色的纯度(即浓度)增加, 达到 $\Delta r_1 g_1 b_1$ 的边线时, 颜色的浓度达到最大值(即最纯)。从景物的色调变化来看, 从 r 点开始沿 $\Delta r_1 g_1 b_1$ 边线逆时针方向(也可顺时针方向)旋转一周, 其变化为红→黄→绿→青→蓝→紫→红, 因此, 在这一坐标系中, 任一颜色(色点 p) 的饱和度可定义为色点 p 离中心 W 的相对距离 S (即 $S = Wp/Wn$, 其中 Wp 和 Wn 分别为 W 点到 p 点和 n 点的距离), 由于在 Wn 线上的点其颜色皆相同(只是饱和度不同), 因此 p 点的色调可定义为 n 离 r_1 (设色调的起点为 r_1) 的相对距离 H (即 $H = r_1 n / r_1 g_1$)

在色调坐标系中, 根据上述定义对在三角形 $\Delta r_1 W g_1$ 内的各色点, 可以求出¹⁾:

$$S = 1 - 3b, \quad H = (g - b) / (1 - 3b) \quad (2)$$

此外在遥感图像处理中, 可以定义颜色的亮度(I)与红、绿、蓝三基色之和成正比, 即 $I = K(R + G + B)$ 。当 $K = 1$ 时, 根据式(1)和式(2)可得 IHS 变换式:

$$I = R + G + B, \quad H = (G - B) / (I - 3B), \quad S = (I - 3B) / I \quad (3)$$

通常这种从 RGB 到 IHS 的变换称为 IHS 正变换。

从(3)式可求出从 IHS 到 RGB 的反变换算式:

$$R = \frac{I}{3}(1 + 2S - 3SH), \quad G = \frac{I}{3}(1 - S + 3SH), \quad B = \frac{I}{3}(1 - S) \quad (4)$$

从以上定义和计算式可知, 饱和度 S 值在 0—1 之间变化, $S = 1$ 时颜色最纯最浓。色调在 0—1 之间变化, 0 时为红, 0.5 时为黄, 1.0 时为绿等等。上式可以方便地推广到整个三角形 ($\Delta r_1 g_1 b_1$) 内各色点的情况, 这时 S 值在 0—3 之间变化。即 1.5 时为青, 2.0 时为蓝, 2.5 时为紫等等。详见下述色调 H 计算式的推广。以上讨论的是一种 IHS 变换式。

另外, 若将饱和度简单地定义为离白色点 W 的距离, 色调定义为在通过 W 并与 \overline{WO} 线

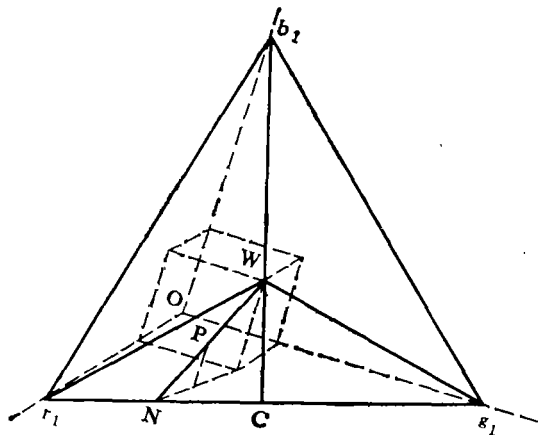


图 1 色度坐标中 IHS 变换关系示意图
Fig. 1 The schematic diagram of IHS transformation in a chromatic coordinate

1) 赵元洪等: IHS 彩色变换及其在 TM 图像处理中的应用研究, 第八届全国环境遥感学术讨论会论文, 1988 年。

垂直的平面上围绕 W 按等角划分的角度 θ (如图1中,任意 p 点的色调可定义为

$$H = \theta = \angle pWb_1,$$

饱和度 $S = \overline{PW}$)则可得到如下另一类 IHS 变换式¹⁾。

IHS 正变换式:

$$\begin{aligned} I &= K_2(B + G + R), \\ H &= \text{tg}^{-1}(x/y), \\ S &= \sqrt{x^2 + y^2} \end{aligned} \quad (5)$$

式中:

$$\begin{aligned} x &= K_1(G - R), \\ y &= K_4B - K_3(R - G) \\ K_1 &= \sqrt{2}/2, K_2 = \sqrt{3}/3, K_3 = \sqrt{6}/6, K_4 = \sqrt{6}/3. \end{aligned}$$

IHS反变换式:

$$B = K_4y + K_2I, G = K_1x + K_2I - K_3y, R = K_2I - K_1x - K_3y \quad (6)$$

式中: $x = S \cdot \sin(H)$, $y = S \cdot \cos(H)$

必须指出,采用这种变换时

(1) 色调 H 在 $0-360^\circ$ 之间变化(0° 为蓝, 60° 为青, 120° 为绿, 180° 为黄, 240° 为红, 300° 为紫)。为了正确求出 H 值,计算时注意根据 x, y 的正负关系,判明 $H = \theta$ 值所在的象限。

(2) 不同 θ 角点, S 的最大值不同,当 p 点处在色度坐标三角平面的顶点时, S 达到最大值。

(3) 试验表明,这种变换式,运算工作量稍大,而且饱和度最大值受 θ 角和亮度 I 的影响,使饱和度拉伸处理受到影响。

三、IHS 变换的程序实现

试验中,编写了上述二类 IHS 变换程序,现将有关第一类 IHS 变换应用软件中的某些问题简述如下

1. 色调 H 计算式(3)的推广

如前所述,用(3)式计算 H 的公式可计算色调从红到绿之间的颜色(H 值在 $0-1$ 之间),这一公式也可以很方便地推广应用到计算从绿到蓝或从蓝到红之间的各种颜色,这时可使 H 值在 $1-2$ 和 $2-3$ 之间变化,为此在计算前,须判断色点 p 所在的色调区间,从图1可知色点处在 $\Delta W r_1 g_1$ 、 $\Delta W g_1 b_1$ 和 $\Delta W b_1 r_1$ 中的条件,分别为 $R > B < G$, $G > R < B$ 和 $B > G < R$ 。故在编写程序时采用如下算式:

$$H = \begin{cases} (G - B)/(I - 3B) & \text{当 } R > B \leq G \text{ 时} \\ (B - R)/(I - 3R) + 1 & \text{当 } G > R \leq B \text{ 时} \\ (R - G)/(I - 3G) + 2 & \text{当 } B > G \leq R \text{ 时} \end{cases} \quad (7)$$

此外为了显示和运算方便起见:(1)把色调 H 值从 $0-3$ 和饱和度 S 值从 $0-1$ 均扩大为 $0-255$ 的整数。(2)除了起始色调($H = 0$)为红色以外,程序中起始色调还可以任

1) 赵元洪等: IHS 彩色变换及其在 TM 数字图像处理中的应用研究,第八届全国环境遥感学术讨论会论文,1988年。

意改变为其它颜色。

2. IHS 变换程序设计中的改进

为存贮和图像处理方便,程序中定义 $I=(R+G+B)/3$, 因 $r=R/3I$, $g=G/3I$, $b=B/3I$, 则采用 IHS 正反变换式。如表 1 所示。

表 1 IHS 正反变换式表
Table 1 The formulas of IHS transformation and inverse transformation

条 件	正变换式	反变换式
$R > B \leq G$ 或 $0 \leq H < 1$	$I = \frac{1}{3} (R + G + B)$ $H = \frac{G - B}{3(I - B)}$ $S = 1 - \frac{B}{I}$	$R = I(1 + 2S - 3HS)$ $G = I(1 - S + 3HS)$ $B = I(1 - S)$
$G > R \leq B$ 或 $1 \leq H < 2$	$I = \frac{1}{3} (R + G + B)$ $H = \frac{B - R}{3(I - R)} + 1$ $S = 1 - \frac{R}{I}$	$R = I(1 - S)$ $G = I(1 + 2S - 3H_1S)$ $B = I(1 - S + 3H_1S)$
$B > G \leq R$ 或 $2 \leq H < 3$	$I = \frac{1}{3} (R + G + B)$ $H = \frac{R - G}{3(I - G)} + 2$ $S = 1 - \frac{G}{I}$	$R = I(1 - S + 3H_2S)$ $G = I(1 - S)$ $B = I(1 + 2S - 3H_2S)$

注: $H_1 = H - 1$, $H_2 = H - 2$ 。

四、图像彩色饱和度增强

通常显示的彩色图像,当饱和度不足时,色彩不够鲜艳,图像偏灰白,比较模糊,细节不易区分。其主要原因是三个原始图像的相关性较大,所以按常规方法直接作彩色增强,难以取得良好的效果。

对这种图像可作 IHS 变换。在 IHS 空间增强饱和度 S ,再反变换求 $R、G、B$ 进行

表 2 括苍山地区 TM 各波段相关系数表

Table 2 Correlative coefficients of TM bands in the Kuochang Mountain area

波段	1	2	3	4	5	6	7
1	1.000						
2	0.956	1.000					
3	0.919	0.963	1.000				
4	0.683	0.784	0.730	1.000			
5	0.739	0.840	0.877	0.866	1.000		
6	0.797	0.874	0.931	0.767	0.965	1.000	
7	0.313	0.350	0.328	0.405	0.388	0.356	1.000

注: 表 2 中 7 波段表示热红外波段

彩色显示,则可改善图像的颜色质量和分辨能力。

对括苍山地区的 TM 图像所作的处理结果,正说明这一问题。这个地区 TM 各波段的相关系数如表 2 所示。

可以看出各波段之间相关性都比较大,使直接用作彩色增强显示效果不佳。作饱和度 S 拉伸的“彩色增强”处理后,彩色图像质量得到很大改善。在括苍山 TM-542 彩色图上整个色调得到明显改善,出现了细微的色彩差异,丰富和突出了农作物和植被信息,以及河流两侧河滩的颜色,使朱溪盆地中各种细节显得一目了然。这和原来图像色调平淡、模糊不清,截然不同,饱和度拉伸效果十分明显,饱和度 S 增强前后彩色图像见图 2 与图 3 (图版 I)。饱和度增强前后的相关矩阵见表 3。

表 3 饱和度增强前后相关系数矩阵

Table 3 Correlative matrixes of the original and the saturation enhanced images

	R	G	B
R	1.000	0.639	0.571
G	0.866	1.000	0.444
B	0.840	0.784	1.000

表中下三角为原图像的相关矩阵,上三角为 S 增强后新图像的相关矩阵。可见这时输入 R 、 G 、 B 三通道的图像相关性较小,合成的图像色彩鲜艳。通常对相关性大的图像,用常规彩色增强时,不能获得色调丰富的图像(色调或偏灰或偏某一基色)。饱和度增强处理框图如下(图 4)。

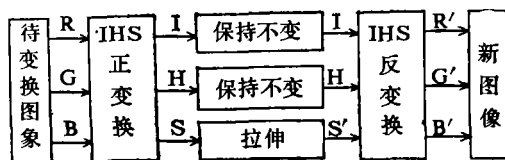


图 4 饱和度增强处理流程图

Fig. 4 The flow chart of saturation enhancement

五、不同分辨率遥感图像复合显示

如果直接把不同分辨率图像输入 R 、 G 、 B 通道作假彩色复合显示,则图像质量不但受几何配准精度的影响,而且也受不同分辨率的影响。若把它们分别看作 I 、 H 、 S , 然后进行 IHS 反变换,求出 R 、 G 、 B 再作假彩色复合显示,那么情况就会完全不同。试验中采用四组不同分辨率的图像,其分辨率分别为 30, 60, 90, 120 米, 每组有三个波段, 将这些图像分别记为 $T_{ij}(i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4)$ 。

若将不同分辨率的图像(如 T_{11}, T_{22}, T_{32}) 直接用 RGB 三通道合成显示,则图像分辨率就受到影响,若将它们分别作 IHS 变换,求出它们各自的 IHS 成分,记为

$$I_i, H_i, S_i (i = 1, 2, 3, 4)。$$

试验表明: 利用 I_1H_2 和 S_2 以及用 $I_1H_3S_3$ 作 IHS 反变换后显示的图像和原先($T_{11}T_{21}T_{31}$)显示的彩色图像没有什么区别。这就表明图像的分辨率主要由 I 决定, H 和 S 具有较低的分辨率时, 对复合显示的图像没有什么影响。

这点从表 2 中的公式也可以看出。因为 I, H, S 是三个独立的变量, 随着亮度 I 的变化, R, G, B 发生变化的比例和正负号皆相同, 它决定着复合图像的分辨率。这就表明, 在对不同分辨率图像进行复合显示时, 为了获得良好结果: (1) 可将具有最高分辨率的图像当作“ I ”成分, 次高分辨率的图像当作“ H ”成分, 最低分辨率的图像当作“ S ”成分, 然后作反变换, 求出 R, G, B 进行复合显示。(2) 把高分辨率图像当作 I , 对低分辨率图像作 IHS 变换, 求出 H, S , 然后将 I, H, S 作反变换求出 R, G, B 进行复合显示。

六、多源数据综合显示及其他处理工作

取自不同信息源的多种数据, 又称多源数据, 具有不同的特性和分辨率。为了综合分析, 对它们进行复合和综合显示是十分重要的。

如前所述, 按以往方法处理, 不但受图像配准精度而且受不同分辨率的影响。利用 IHS 变换, 可把具有高、中、低分辨率的图像分别作为 I, H, S 成分进行反变换, 然后作彩色显示, 就可以很好地解决这一问题。

试验中利用地球物理信息(航磁平剖图)和地球化学信息(Be, Zn, Pb 等元素含量等值图)和 TM 的 CCT 数据进行了如下两种试验。

(1) 三类信息彩色显示。一类以 TM-5 作 I 成分, 其他两类以物探和化探数据分别作为 H 和 S 成分。

(2) 二类信息彩色显示。这时饱和度 S 置常数。

综合显示框图见图 5。

试验结果表明, 上述方法所获得的彩色图像, 不仅具有很高的地物分辨率, 显示出清晰的 TM 图像所具有的地形、地貌、地质等方面的地学信息, 而且在这个背景上又清晰和准确地反映出地球物理和地球化学信息。这种高质量的综合显示图对综合解译和综合分析很有用。

括苍山地区在以 TM-5 作为 I , 航磁作 H 和化探元素(Be)作 S , 按上述流程作 IHS 反变换进行综合显示得到彩色图见图 6(图版 II)。从图中可以清楚地看到, 在 TM 地学信息背景上, 航磁正负异常和化探元素 Be 的分布规律, 清楚地显示出地质线性和环形构造与航磁异常和化探元素分布的对应关系, 航磁强度的变化也可以从色调变化上得到满意的显示, 括苍山主峰东南侧 TM 线性形迹和航磁色调突变线吻合。还可清楚看出, 在东南部这条色调突变线的二侧各存在一个圆形色块, 东南边为紫色圆块, 表明存在磁异常区, 西北边为红色圆块, 表明为航磁负异常区(色调与航磁数据间的对应关系见表 4)。

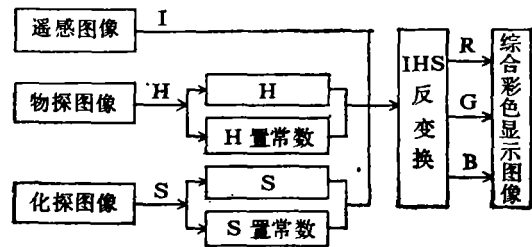


图 5 多源数据综合显示框图
Fig. 5 The flow chart of integrated display of multi-source data

这些现象在以饱和度为常数 ($S = C$)、航磁数据为 H 、TM-5 为 I 的综合显示图上见图 7 (图版 II) 得到更加清楚的显示。

表 4 色调和航磁数据对应关系

Table 4 Correspondence of hues to aeromagnetic data

色调	红	黄	绿	青	蓝	紫	红
H 值	0	42	85	127	170	212	255
航磁强度	-30.0	-20.8	-11.7	2.5	6.6	15.8	25.0

以上情况表明,在括苍山主峰东南侧存在线性构造。图中地学信息与航磁信息吻合, IHS 变换获得十分满意的结果。

此外,在研究工作中,除上述各项试验外,同时还进行了其他一些处理工作,如:

(1) 色调 H 分段拉伸,以突出某一色调或加大某一范围内的色调之间的差异。

(2) H 不变, I 和 S 置常数,以突出地物色调在空间上的分布。

(3) H 、 S 不变, I 置常数,以减少地形起伏的影响,突出阴影区内部分地物信息等。

(4) H 、 S 不变, I 用其他高分辨率的图像代替,以便在保留 H 、 S 特点的条件下,提高图像分辨率等等。

以上处理各具特点。表明 IHS 变换处理具有很大地灵活性和实用性,能满足某些具体要求。

七、处理结果的解译

如上所述,通过 IHS 变换的各种处理如饱和度拉伸,多源数据的综合显示等等,可以获得分辨率高和影像细节清楚,色彩层次丰富的图像。另外,由于 TM 图像本身光谱和地面分辨率的提高,结合 IHS 变换处理,更可使不同地质构造和岩性地层在色调差异和纹理结构方面的微小变化,得到充分显示。借助色、形、纹分析区内主要构造和岩性地层,基本上都能有效地加以识别。如岩性的解译可以分辨到组,与 MSS 图像仅能分辨到群相比,有了明显改善。试验区地质解译图见图 8。

现将图 8 中主要构造和岩性地层分布简述如下:

(1) 从图中可以看出区内线性断裂构造,主要为近东西向和北东向二组。其中位于括苍山主峰东南侧一条近东西向线性构造呈 $N75^\circ E$ 走向(定名为双溪-石鼓断裂)。这条断裂在 IHS 综合显示图见图 7 (图版 II) 上,显得非常突出(其他图上,显示不明显),具有鲜明的线性色界,西北边为黄色,东南边为绿、蓝色,反映出在这条构造线的二侧,存在着明显的磁性差异。此构造线向西延伸控制着仙居盆地的南界,这是一条区域性断裂。

(2) 图中东北部环形构造为括苍山复合火山锥体。主峰脊构成负向环(内部低)。外围次级环为由 J_{3r} (高坞组火山岩)构成的正向穹形环。

(3) 分布在东北部和东南部的侏罗系上统高坞组(J_{3r} 为粗屑、晶屑凝灰岩)和西山头组(J_{3s} 由玻屑熔结凝灰岩和凝灰质砂泥岩组成),前者呈“粗团块状纹理”,具有沟谷密度

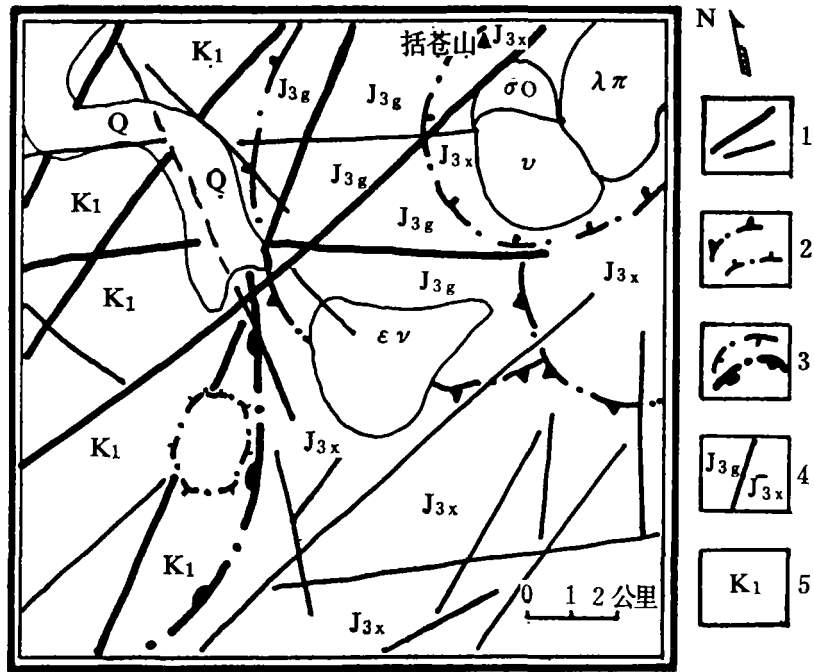


图 8 试验区地质解译图

- 1. 线性构造 2. 正向火山构造 3. 负向火山构造
- 4. 侏罗系上统火山岩 5. 白垩系下统火山岩

Fig. 8 The geological interpretation map of the study area

低,切割深度大(阴影面积大),结构十分粗糙,后者呈“粗斑状纹理”,地貌上为中—深切割的中低山,结构比较粗糙。

分布在试验区西部的白垩系下统朝川组(K_1 以晶玻屑角砾凝灰岩为主),纹理结构较细,并可见到不太明显的条带状影像。上述本区主要火山岩地层从图 3(图版 I)中都能根据纹理特征和色调差异有效地加以区分和识别。

其他如第四系 Q ,花岗岩 γ ,钾长花岗岩 $\epsilon\gamma$,石英闪长岩 δ_o ,流纹斑岩 $\lambda\pi$ 在图像的色、形、纹方面也各具特点,能加以综合解译。

以上试验区解译结果表明: IHS 变换处理,能为地学综合分析提供重要图件资料。

八、结 语

IHS 变换及其在浙江括苍山地区的应用研究已初见成效。利用 IHS 变换可使遥感数字图像处理取得令人满意的结果,能为图像的综合分析和解译提供理想的图件资料,研究表明:

- (1) 利用色度坐标,便于阐明 IHS 变换关系。研究过程中提出和使用的公式定义严格,计算方便。设计和编制的有关 IHS 变换的应用软件,运算工作量少,功能灵活,使用方便。

(2) 利用这种软件,可以有效地处理和显示不同分辨率的遥感数据,获得具有最佳地面分辨率和光谱分辨率的彩色图像。

对一幅彩色图像或任意三个波段的假彩色图像作 IHS 变换,可根据需要在新的 I、H、S 空间中作各种处理,然后再反变换到 RGB 空间作彩色显示,以获得理想的彩色图像。

可以直接对多源数据有效地进行综合显示,得到具有某类(如 TM)图像的地物分辨率和地学信息的清晰背景,并在此背景上又能完美地显示出其他两类图像特性的综合图像。

(3) IHS 变换处理,方法灵活,能充分利用图像显示系统的颜色动态范围,信息综合能力强,它不仅为图像彩色增强提供了一种新颖而实用的方法,而且能为不同分辨率的多种遥感和非遥感数据的复合和综合显示开辟了一条新的途径,为遥感信息综合处理和综合分析增加了一种新的有效手段。

Color Transformation and Its Application in Kuochang Mountain Area of Zhejiang Province

Zhao Yuanhong

(Dept. of Earth Sciences, Zhejiang University)

Abstract

In this paper the IHS transformation with the chromatic coordinate was discussed and a transformation method which can be conveniently used in the remote sensing digital image processing was designed and tested.

The study results in the KUOCHANG Mountain Area of Zhejiang Province are very satisfactory. It is shown that the IHS transformation not only provides a new and effective approach for image color enhancement but also open up a new and ideal path for the combination and integrated display of various remotely sensed images and non-remotely sensed images.

Keywords: IHS transformation Chromatic enhancement Image overlap Integrated display



图2 括苍山实验区T M-5、4、2 (R、G、B) 合成图像

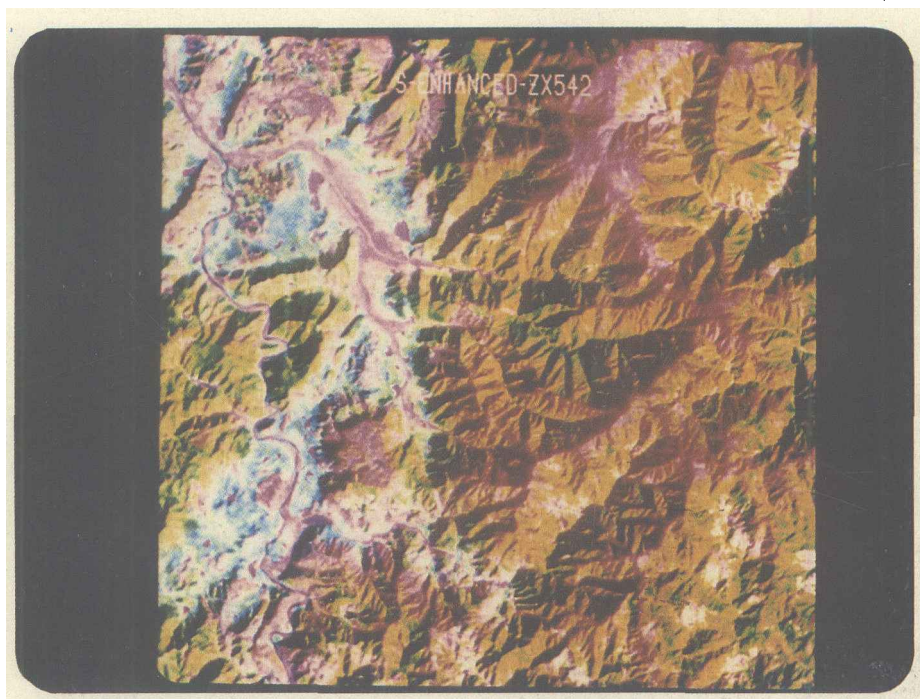


图3 饱和度S 拉伸增强后彩色图像

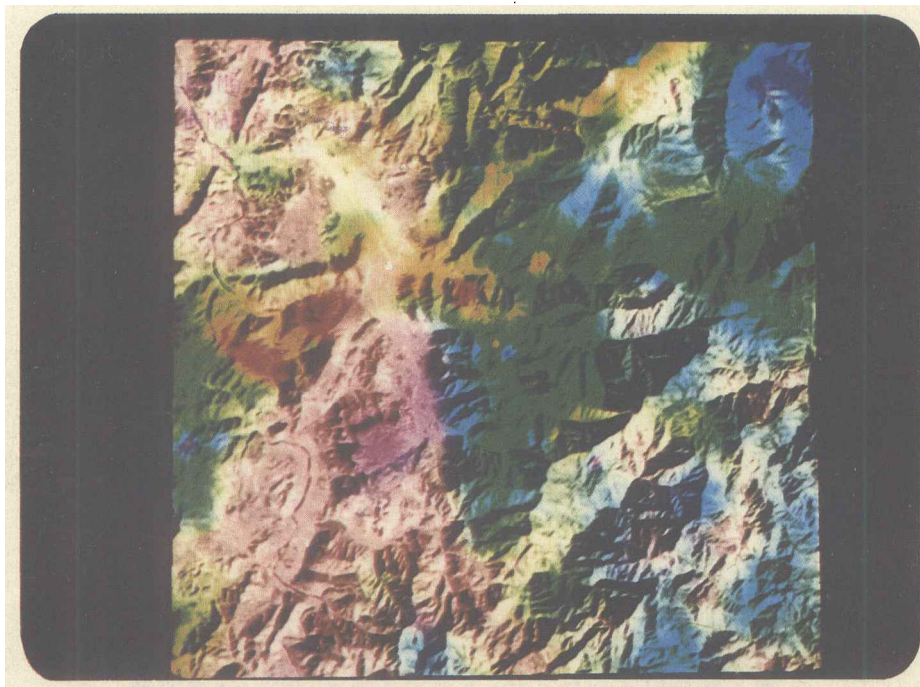


图6 TM-5 为I, 航磁为H, 化探元素Be 为S 进行IHS 变换后的彩色图像

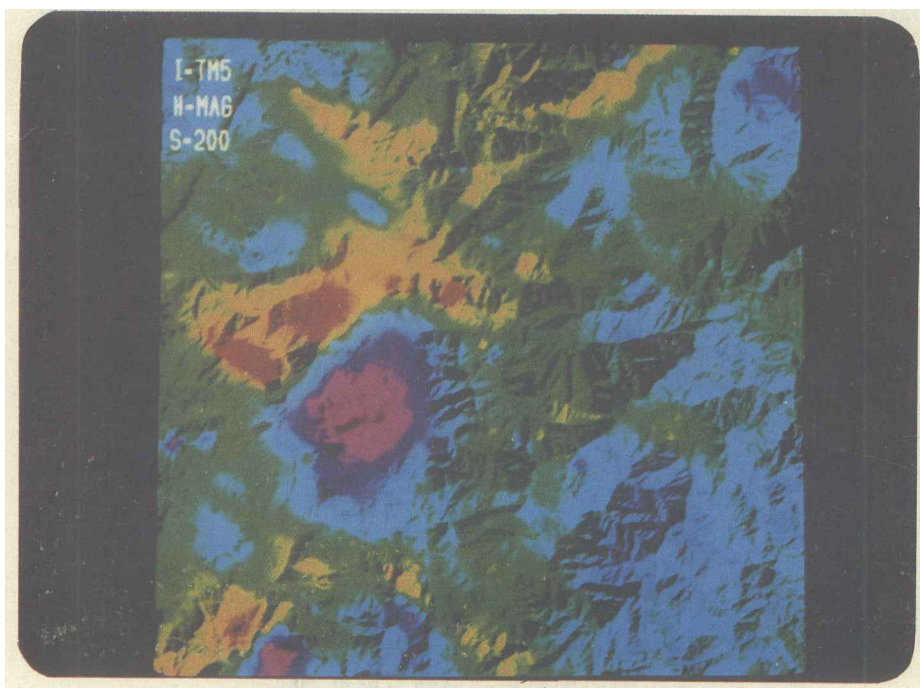


图7 TM-5 为I, 航磁为H, 恒饱和度的IHS 变换彩色图像