

遥感影像反立体纠正方法研究

周爱霞¹, 高连峰²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098; 2. 解放军理工大学指挥自动化学院, 南京 210007)

摘要: 以四川省广元市某区遥感影像为例, 尝试了一种基于 DEM 和 IHS 变换的遥感影像反立体纠正方法。该方法首先对 IHS 变换得到的亮度分量 I 进行滤波处理, 将反映地物反射率差异的亮度信息与地形因子信息分离, 然后用 DEM 制作的地形阴影图替换原图像中的地形因子信息, 最后进行 IHS 反变换。试验结果表明, 该方法能有效纠正遥感图像上的反立体现象, 并基本保持与原图像色彩一致。

关键词: 反立体; 遥感影像; DEM; IHS 变换

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0020-03

0 引言

随着遥感技术的发展, 遥感影像以其信息量丰富和表达直观而越来越受到重视, 并为不同领域、不同阶层的人所利用。但传统的遥感影像(如 Landsat 系列、IRS 系列和 SPOT 系列等)大多以太阳同步卫星作为传感器搭载平台, 而这类遥感平台在北半球获取的影像往往存在反立体现象。国内外已有不少专家和学者注意到反立体现象的存在, 并提出了一些纠正方法。Rudnicki 提出的将影像旋转 180° 纠正反立体的方法^[1]得到了广泛应用, 但这种方法纠正的结果是得到一幅上南下北的影像, 这种影像与人们长期形成的上北下南的地图认知模式产生了冲突, 而且, 旋转后的影像看上去就像是另外一个地区的影像, 特别是当影像的解译需要参考其它的图像或地图时, 被参考的图像也必须旋转 180° , 这给用户带来了诸多不便。我国学者张守林等也于 2004 年提出了一种基于太阳高度角和方位角变换与影像融合相结合的纠正方法, 取得了很好的效果^[2]。本文在分析反立体现象成因的基础上, 提出了一种基于 DEM 和 IHS 变换的遥感影像反立体纠正方法, 并以四川省广元市某区的遥感影像为例, 对该方法进行了试验研究, 验证了该方法的纠正效果。

1 反立体影像成因

1996 年, Saraf 首先探讨了遥感影像的反立体效果^[3], 随后, 人们广泛认识到遥感影像反立体现象的存在, 但对于反立体现象形成的原因还未达成共识。Saraf 认为, 反立体现象(False Topographic Perception Phenomenon, 简称 FTTP)是由相互关联的多种因素所致, 如地形阴影、太阳高度角、太阳方位角、观察者观察的角度以及山坡上的纹理等, 他认为, 某一崎岖地区的遥感影像一旦获取, 除观察者观察的角度外, 其它引起反立体效果的因素就已经确定; Rudnicki 认为^[3], 卫星影像大多为上午成像, 这时太阳光是从东南方照射的, 而人类的视觉习惯于太阳光位于西南方向来构想阴影, 这种差异导致了反立体效果的产生; 我国学者张守林与 Rudnicki 观点相似, 他认为, 反立体现象主要是由于我国大部分领土位于北回归线以北, 日照主要来自南方, 所以阴影落在山的北方, 与一般人对于光影应该位于物体下方的立体视觉习惯正好相反, 导致了反立体现象的产生。Rudnicki 和张守林都从太阳方位、地形阴影与人类立体视觉习惯等方面来寻找反立体现象的成因, 作者认为, 他们的解释更具合理性。

收稿日期: 2006-07-25; 修订日期: 2006-10-17

基金项目: 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放基金项目(2006411911)资助。

2 IHS 变换及其反变换

彩色图像的表现形式主要有2种方式,一是红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色坐标系统,即RGB混色系统;二是亮度(I)、色调(H)和饱和度(S)坐标系统,即IHS显色系统。对于RGB空间来说,彩色图像常用R、G、B 3个分量值来表示,但图像的3个通道是非线性相关的,使得对色彩的定量操作较为困难;相反,IHS空间比较接近人眼对颜色的视觉感知,反映光照明暗给物体颜色带来直接影响的亮度分量(I)与色彩本质特性的两个参数——色调(H)和饱和度(S)分开。亮度(I)与彩色信息无关,而色调(H)和饱和度(S)与人感受彩色的方式紧密相连。IHS彩色坐标系统对显色属性易于识别和量化,色彩调整方便、灵活。

IHS变换能有效地将RGB图像分解成代表空间信息的亮度(I)和代表光谱信息的色调(H)、饱和度(S)3个分量,其转换公式为^[4,5]

$$\begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{3} \\ 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{6} & -2/\sqrt{6} \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \arctg \left[\frac{v_2}{v_1} \right] \quad (2)$$

$$S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \quad (3)$$

式中,I表示亮度;H表示色调;S表示饱和度。 v_1 和 v_2 是计算色调和饱和度所需要的中间变量,其反变换公式为

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & 1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{3} & 1/\sqrt{6} & -1/\sqrt{2} \\ 1/\sqrt{3} & -2/\sqrt{6} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

3 纠正原理与方法

考虑到反立体现象的形成主要是由于太阳光从东南方向照射形成的阴影与人类视觉习惯形成的阴影存在差异,因此纠正须首先从阴影入手,通过改变光源的入射方向和入射角来形成符合人类视觉习惯的正立体阴影图,然后用正立体阴影图代替原图像的地形因子信息,即可得到正立体影像图。

由IHS变换得到I分量图像主要由2部分信息组成:一部分是地形因子信息,主要是地形产生的

阴影导致图像亮度的差异,在I分量图像中表现为高频信息;另一部分是地物反射率信息,反映了不同地物反射率不同导致图像亮度的差异,在I分量图像中表现为低频信息。前者导致了反立体现象的产生,是希望替换掉的信息,后者是有用信息,是希望保留的信息。因此,可通过对I分量进行低通滤波提取地物反射率信息,将地形因子信息和地物反射率信息进行分离^[6]。

将从I分量中提取的地物反射率信息与通过DEM制作得到的正立体阴影图组合成新的亮度分量(I_{new}),然后进行IHS反变换,即可纠正原图像上的反立体现象。具体技术路线如下:

(1)标准假彩色合成。选取研究区TM4、TM3和TM2三个波段的图像,分别赋予红、绿、蓝3种颜色,形成标准假彩色图像。

(2)DEM制作。首先将研究区地形图扫描后与遥感影像图精确配准,然后以遥感影像图为掩模(Mask),对地形图进行掩模处理,得到与遥感影像范围相同的地形图;将地形图数字化,得到数字等高线图,再利用数字等高线图在Arc/Info、ERDAS或ArcView等软件中制作GRID格式DEM。GRID的空间分辨率(Cell Size)需与遥感影像的空间分辨率相同。

(3)阴影图制作^[7,8]。DEM制作完成后,即可通过DEM得到一定光照条件下的地形阴影图SR(Shaded Relief)。需要指出的是,在阴影图制作过程中,太阳高度角和太阳方位角的选取必须慎重,太阳高度角应与遥感影像获取时的高度角一致,而太阳方位角则与遥感影像获取时的方位角相反,即为遥感影像方位角再加上180°。

选取相同的高度角和相反的方位角是为了在大致相同的光照条件下从相反的方位进行照射,以保证在对反立体现象进行纠正的同时,使纠正后的图像与原图像有相近的颜色。

(4)IHS变换。将假彩色图像作IHS彩色空间变化,得到图像的I、H和S分量。

(5)低通滤波。对I分量进行低通滤波,提取I分量中反映地物反射率差异的那部分亮度信息 I_R (Intensity of Reflectivity)。滤波器的选择要慎重,窗口过小,则不能完全剔除地形因子信息,使纠正后的图像受原图像的地形因子的影响;窗口过大,则会使图像模糊,丢失一些细节信息。

(6)新I分量制作。将阴影图SR与I分量的低通滤波部分 I_R 相加,形成新的亮度分量图像 I_{new} 。

将 I_{new} 与原图像 I 分量进行对比,若两者明暗程度差异太大,则以原亮度图像 I 为匹配图像,对新制作的亮度图像 I_{new} 进行直方图匹配。

(7) IHS 反变换。以新亮度分量 I_{new} 代替原亮度分量 I , H 、 S 分量不变,进行由 IHS 到 RGB 空间的 IHS 反变换,得到纠正后的图像。

上述整个过程均在图像处理软件 ERDAS 8.4 下进行。整个处理过程如图 1 所示。

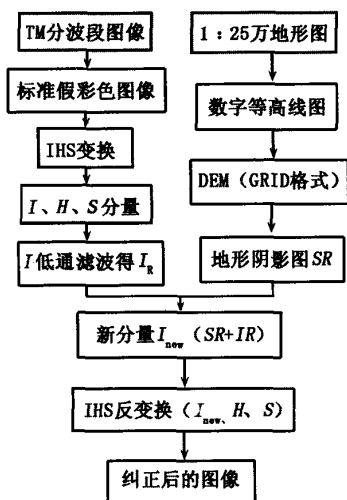


图1 反立体纠正方法流程

4 试验结果

为了验证本文方法的纠正效果,选取四川省广元市某区的 TM 影像为试验数据,对该地区影像的反立体现象进行纠正。该地区位于 $104.45^{\circ}\text{E} \sim 106.62^{\circ}\text{E}$ 和 $32.49^{\circ}\text{N} \sim 33.89^{\circ}\text{N}$ 之间,区内多为海拔 $1\,000 \sim 2\,000\text{ m}$ 的中山地带,图像反立体现象非常明显(插页彩片 2)。影像获取时间为 1992 年 9 月 1 日,获取时太阳高度角为 52° ,方位角为 124° 。试验区 DEM 数据由该区 1:25 万地形图处理制作而成。插页彩片 3 为旋转 180° 后的图像,彩片 4 为应用本文所述方法纠正后的图像。纠正过程的中间变量如图 2~4 所示。

在图像反立体纠正过程中,有几处细节对于纠正方法的成功与否起着关键作用:

(1) 为使纠正后的图像与原图像具有同样的空间分辨率,制作 DEM 时,GRID 的像元大小应与被纠正图像的空间分辨率相同,本例取 28.5 m ;

(2) 在阴影图制作过程中,太阳高度角和太阳方位角的选取必须慎重,太阳高度角应与遥感影像获取时的高度角一致,而太阳方位角则为遥感影像



图2 由 DEM 得到的 SR

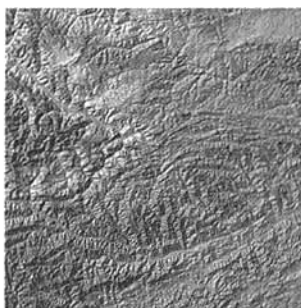


图3 SR 与 I_r 相加结果

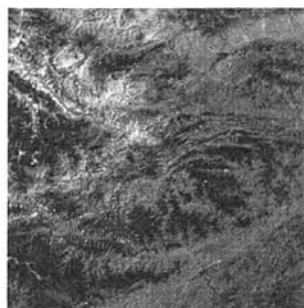


图4 原图像亮度分量 I

方位角再加上 180° ,本例太阳高度角取 52° ,方位角取 304° ;

(3) 对原图像 I 分量进行低通滤波提取地物反射率差异亮度信息时,滤波器窗口大小的选择非常关键,滤波器窗口过小则不能完全剔除原来反立体地形因子信息,使纠正后的图像受原图像的地形因子的影响;滤波器窗口过大,则会使图像变得模糊,丢失部分地物反射率信息,本例滤波器窗口大小为 $10\text{ 像素} \times 10\text{ 像素}$ 。

对比插页彩片 2 和 4 可以看出,彩片 2 上反立体现象已经得到了有效纠正,而且纠正后的图像在

一定程度也消除了由于地形影响所带来的图像色调变异,立体感更强,图像色彩与原图像一致。

5 结论

反立体现象是由于太阳光从东南方向照射形成的阴影与人类立体视觉习惯存在差异而形成的。本文从分析反立体现象的成因出发,在 DEM 基础上制作正立体阴影图,并通过低通滤波有效地将 I 分量中反映地物反射率差异的有效信息与导致反立体现

(下转第 43 页)

Abstract: Based on simulations using the SAIL bidirectional canopy reflectance model coupled with the PROSPECT leaf optical properties model, the authors have obtained the vegetation LAI. The FLAASH model is used to ensure the accuracy of atmospheric correction. The LOPEX93 database and the JHU spectral library are employed to identify the input value of the model. The canopy reflectance is the key node to relate the PROSPECT + SAIL model and the remote sensing data, and hence the LAI can be retrieved from leaf biochemical properties, LAD and remote sensing data. In situ measurements of LAI are used to test the simulation results, and the error sources are analyzed.

Key words: PROSPECT + SAIL model; LAI; Atmospheric correction; Leaf biochemical properties

第一作者简介: 蔡博峰(1977 -),男,博士研究生,主要从事生态遥感研究。

(责任编辑: 刁淑娟)

=====

(上接第 22 页)

象形成的错误地形信息分离,然后用正立体阴影图替换错误的地形信息,从而有效地纠正了图像上的反立体现象。这种方法操作简单,易于推广,在有效纠正反立体现象的同时,能够较好地保持原图像的色彩。同时,该方法还能在一定程度上增强图像的立体感,有利于图像的判读和应用。

参考文献

[1] Rudnicki W. The New Aapproach to the Relief Shading Applied in Satellite Image Maps[J]. Proceedings of High Mountain Cartography,2000,18:105 - 106.
[2] 张守林,付水兴,王润生,等. 正地貌遥感影像图制作方法[P]. 中国专利,200410037631. 7,2005 - 11 - 02.

[3] Saraf A K, Das J D, Agarwal B, et al. False Topography Perception Phenomena and Its Correction[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996,17:3725 - 3733.
[4] 李军,周月琴,李德仁. 小波变换用于高分辨率影像与多光谱影像的融合研究[J]. 遥感学报,1999,3(2):116 - 121.
[5] 叶宝进,徐士进,吴俊奇,等. 基于 IHS 变换和小波变换相结合的 IKONOS 影像融合技术[J]. 江西科学,2005,23(4):154 - 158.
[6] 吴连喜. 一种保持光谱特征的图像融合方法——高通滤波融合法[J]. 国土资源遥感,2003,(4):26 - 29.
[7] 杨存建,魏一鸣,王思远,等. 基于 DEM 的 SAR 图像洪水水体的提取[J]. 自然灾害学报,2002,11(3):121 - 125.
[8] 党安荣,王晓栋,陈晓峰,等. Erdas Imagine 遥感图像处理方法[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

A STUDY OF THE METHOD TO RECTIFY
THE FALSE TOPOGRAPHIC PHENOMENON

ZHOU Ai - xia¹, GAO Lian - feng²

(1. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Academy of Command Automation, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

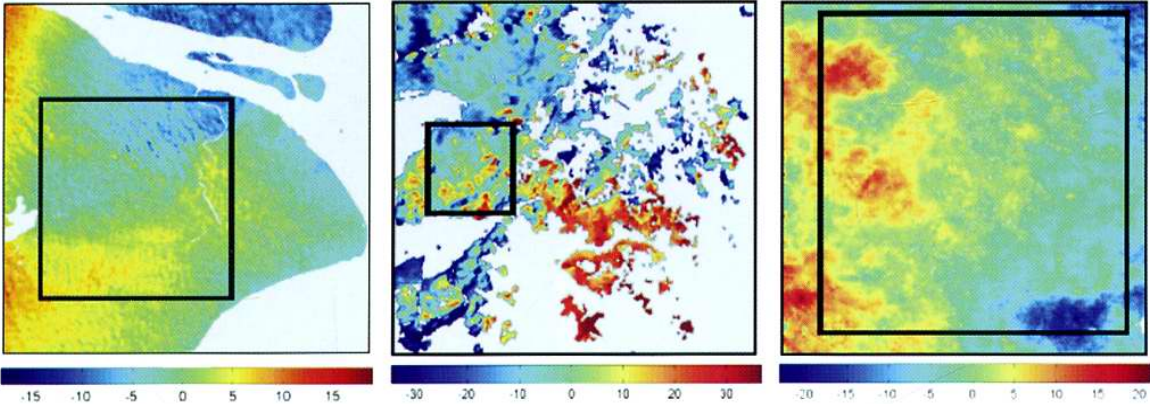
Abstract: The false topographic phenomenon is a common phenomenon existing in the remote - sensing images obtained by sun - synchronous satellites, which brings great trouble to image users. In order to remove the false topographic phenomenon of the remote - sensing images, this paper put forward a method based on DEM data and IHS transformation and made a case study of the image of Guanyuan City in Sichuan Province. By low - pass filtering of the intensity image obtained by IHS transformation, the reflectivity information (*IR*) was extracted from the intensity image. By adding *IR* to shade relief image (*SR*), which was produced by DEM, a new intensity image (*I_{new}*) was obtained. A back IHS transformation was done to acquire corrected RGB image after replacing the old intensity image by the new intensity image (*I_{new}*). The experimental results indicate that the method can remove the false topography effectively and preserve the primary color.

Key words: False topographic phenomenon; Remote sensing image; DEM; IHS transformation

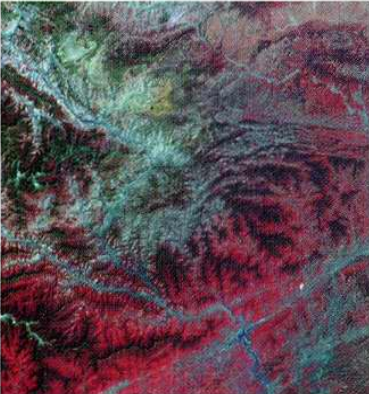
第一作者简介: 周爱霞(1978 -),女,河海大学在读博士生,主要从事遥感、地理信息系统及其在水文水资源等方面的应用研究。

万方数据

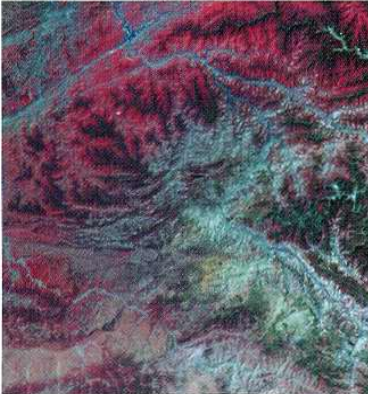
(责任编辑: 刁淑娟)



彩片1 只含有大气相位的SAR干涉图示例 (丁晓利等, 2004)
(左: 上海; 中: 香港; 右: New South Wales)



彩片2 TM4 TM3 TM2波段合成图像
(反立体现象非常明显)



彩片3 彩片2旋转180° 后的图像
(反立体现象已得到纠正)



彩片4 由IHS反变换得到的
反立体纠正图像



(a) 原始IKONOS多光谱影像



(b) 原始IKONOS全色影像



(c) HIS融合影像



(d) PCA融合影像



(e) MNF融合影像

彩片5 IKONOS影像的融合效果



彩片6 研究区SPOT 5融合影像(432波段)