

# 卫星影像数据构建山地植被指数与应用分析

吴志杰<sup>1,2</sup>, 徐涵秋<sup>2</sup>

(1. 龙岩学院资源工程系, 龙岩 364012; 2. 福州大学环境与资源学院, 福州 350108)

**摘要:** 本研究以 Landsat 影像为数据源, 在分析复杂地形山地植被在阳坡和阴坡反射率差异特征的基础上, 提出一种归一化差值山地植被指数 NDMVI (Normalized Difference Mountain Vegetation Index)。该指数模型无需辅助数据(如 DEM)的支持, 通过同时降低近红外波段(TM4)和红光波段(TM3)反射率的方法来消除或抑制地形的影响, 具有较强的可操作性。研究表明: NDMVI 与太阳入射角余弦值( $\cos i$ )的相关性相当小, 对地形起伏变化表现不敏感, 可有效消除或抑制地形的影响; 比 NDVI 值动态变化范围更宽, 对地物有更强的遥感识别能力; 该模型抑制地形影响的效果比用 C 校正模型的效果更佳, 不会出现过度校正的问题。

**关键词:** 遥感; 山地; 地形校正; 植被指数; NDVI; NDMVI

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2011.00656

## 1 引言

遥感植被指数 (Vegetation Index, VI) 是通过多光谱遥感数据波段的线性或非线形组合来描述地表植被状况的一种光谱特征度量指标<sup>[1]</sup>。由于植被大量分布在地形复杂的山地, 不规则的地形会导致遥感影像中同种或相似地物呈现不同的光谱反射特征, 这种反射特征的差异会给植被的生物量估算带来误差<sup>[2]</sup>。地形起伏引起的光谱信息变化严重影响了山地植被信息的提取精度, 成为山地植被遥感信息准确解译的主要障碍<sup>[3-4]</sup>。

目前, 解决复杂地形对山地植被信息影响的主要方法有两类: 一类是对遥感影像进行坡度坡向地形校正后计算植被指数。其旨在去除由地形引起的光照变化, 使两个反射特征相同的地物在影像中具有相同的反射率值。如果能有效进行坡度坡向校正, 那么我们在看山区影像时所产生的三维地形效果应该在某种程度上有些减弱。当前常用的地形校正有余弦 C 校正、SCS-C 校正、Minnaert 校正和 Shepherd 等模型<sup>[5-9]</sup>。此类地形校正模型参数较多或计算过程较为复杂, 要求 DEM 和影像的分辨率一致, 且配准精度要高。因此, 其应用受制于 DEM 数据来源和配准精度。第二类是直接构建无需异源数据支持的植被指数。江洪等<sup>[10-11]</sup>提出两

种具有地形校正效果的植被指数, 一是基于四种指数而构建的复合植被指数 (简称为 VBSI), 该指数可在一定程度上削弱遥感影像中的阴影、土壤背景、岩石、建筑用地等背景信息, 以突出植被信息; 二是采用多光谱遥感影像数据非线性组合计算方法来构建的地形调节植被指数 (Topography Adjusted Vegetation Index, TAVI), 通过对山体阴坡部分植被指数值的非线性补偿, 而对山体阳坡部分植被指数值的非线性抑制来恢复植被指数在复杂地形山区的正常表现, 为复杂山地植被覆盖度的遥感监测提供了一种新的有效方法。但此类模型由于需要人为确定阴坡、阳坡和地形调节参数因子, 增加了模型的不确定性, 在某种程度上也影响了模型对影像的处理速度和精度。

本文提出一种能准确地提取山地植被信息的归一化差值山地植被指数 (Normalized Difference Mountain Vegetation Index, NDMVI)。该模型仅依据植被光谱特征和遥感影像数据本身, 不需要 DEM 数据的支持。

## 2 新植被指数的构建原理与方法

### 2.1 基本原理

归一化植被指数 (NDVI)<sup>[12]</sup> 是在植被指数中应

收稿日期: 2011-01-12; 修回日期: 2011-08-08.

基金项目: 福建省教育厅重点项目 (JK2009004) 资助。

作者简介: 吴志杰 (1971-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事环境与资源遥感的教学与研究。E-mail: wuzhijiefj@163.com

用最为广泛的一种指数。最早由 Rouse 等在 1974 年提出,它是以太阳光谱在红光波段处被植被叶绿素强烈吸收,而在近红外波段处被植被叶细胞结构强烈反射的植被生物物理机理而提出的。*NDVI* 的公式如下:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

(1)

其中: $\rho_{nir}$ 和 $\rho_{red}$ 分别为近红外波段和红光波段的反射率

虽然 *NDVI* 没有考虑大气环境、土壤背景、植被本身的光化学变化等内外界因素,但通过比值法可以抑制部分由太阳光入射角不同所引起“同物异谱”的现象,在一定程度上能消除大气环境和地形等因素的影响。尽管如此,许多研究仍表明复杂地形对 *NDVI* 的影响不能忽视<sup>[1,3-4]</sup>。*NDVI* 是植被强反射的近红外波段与弱反射的红光波段的反射率差值与二者之和的比值形式。根据这一原理,笔者考虑通过减小 *NDVI* 的分母值或增加分子值,来抵消阴、阳坡之间植被指数的差异,提高植被指数的提取精度。

2.2 地形复杂山地的植被光谱特征

为考察在地形阴坡和阳坡上的植被光谱特征及其变化规律,选择福建省龙岩市上杭县古田镇境内梅花山自然保护区为实验区。该实验区的地形复杂,平均海拔 960m,最大相对落差达 1 070m,属亚热带气候,常年森林茂密,天然植被覆盖度高,植被类型相似。遥感影像为 2002 年 10 月 8 日获取的 Landsat ETM+ 影像,空间分辨率

30m,太阳方位角 142.19°,太阳高度角 52.15°,实验区中心坐标为东经 116.49°,北纬 25.16°,像元数为 400×400。

根据日照差异纠正模型(illumination correction model,ICM)将影像灰度值统一到像元在卫星传感器处的反射率来对影像进行辐射校正<sup>[13]</sup>,形成实验区辐射校正后 RGB:432 合成假彩色影像(图 1)。从图中可见影像中阴阳坡差别明显,存在明显地形纹理和阴影区。通过实地考察分别在影像中提取对应的阳坡和阴坡同类植被为实验样本数据,分别统计 6 个波段(热红外波段除外)阴坡和阳坡的植被光谱反射率均值及全实验区影像的反射率最小值,制作成光谱特征曲线图(表 1,图 1)。

统计结果显示同类植被在阴坡的光谱反射率值全部比阳坡低,尤其在近红外波段表现得更为敏感,二者差异更大,使得阴坡植被光谱曲线的红边斜率随之降低;它们的 *NDVI* 值表现出较大的偏差,阳坡比阴坡的 *NDVI* 均值高 0.102。显然造成阳坡和阴坡反射率或 *NDVI* 值偏差是由地形起伏因素所引起的。

表 1 实验区阳坡与阴坡植被反射率均值  
Tab. 1 Statistics of reflectance differences of the same vegetation between sunny and shaded mountain slopes of the test site

ETM+波段	1	2	3	4	5	7	NDVI
阳坡均值	0.086	0.068	0.044	0.301	0.15	0.057	0.732
阴坡均值	0.082	0.056	0.035	0.142	0.07	0.029	0.630
实验区最小值	0.069	0.041	0.022	0.025	0.006	0.004	

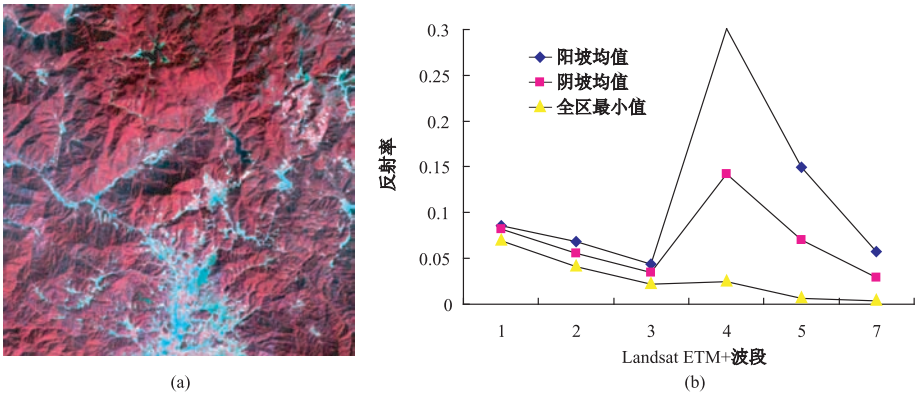


图 1 实验区影像图与光谱特征曲线图  
(a: RGB:432 假彩色合成影像;b: 阳坡和阴坡植被光谱特征曲线图)

Fig. 1 Landsat ETM+ image of the test site (a, RGB: 432) and signatures of vegetation on sunny and shaded slopes and mean values of each ETM+ bands (b)

### 2.3 新植被指数模型的构建

根据山地不同坡向的植被反射光谱差异特征,消除或抑制地形因素的影响对 NDVI 模型进行改进的思路:在不改变多光谱曲线基本特征的前提下,采取降低其分母值,提高其分子值来提高 NDVI 的值,而且要让阴坡比阳坡的 NDVI 值提升的幅度更大,最终使不同坡向相同植被类型的 NDVI 值接近,达到消除地形影响的目的。由于太阳入射角差异造成阴坡植被的光谱反射率均低于阳坡相同植被的光谱反射率,阴坡 NDVI 的分母值(TM3+TM4)比阳坡的分母值小,那么,在分子值不变(或变化很小)的条件下,阴、阳坡的 NDVI 分母减去一个相同值,势必使阴坡的 NDVI 值比阳坡的 NDVI 值提高得多,从而使二者趋于相近。其物理意义就在于通过引入调节参数,使具有相同植被覆盖状况的阴坡和阳坡的植被指数值相近,减少由地形坡向差异引起的植被指数差异。因此,通过引入不同的参数来调整红光波段和近红外波段的反射率,从而达到对 NDVI 指数模型进行改进,构建新的植被指数。考虑到新指数模型主要基于 NDVI 对复杂山地的地形影响进行校正,因此,模型称为归一化差值山地植被指数(Normalized Difference Mountain Vegetation Index, NDMVI)。新模型如下:

$$NDMVI = \frac{(\rho_{nir} - n) - (\rho_{red} - r)}{(\rho_{nir} - n) + (\rho_{red} - r)} \quad (2)$$

其中: $n$  为近红外波段调整参数, $r$  为红光波段调整参数,且  $n > 0, r > 0$ 。式(2)可进一步变换为:

$$NDMVI = \frac{(\rho_{nir} - \rho_{red}) + (r - n)}{(\rho_{nir} + \rho_{red}) - (r + n)} \quad (3)$$

从模型构成来看,NDMVI 是在 NDVI 指数模型的分子加上一个数值,而在分母减去一个正数值,由此计算的 NDMVI 都会有一定程度的上升,其值都会比 NDVI 值大。显然要消除阴阳坡的差距,就必须使阴坡的 NDMVI 值比阳坡的 NDMVI 值上升得更快,达到消除或抑制地形因素影响的目的。

为达此目的,关键的问题是参数  $r$  和  $n$  的确定。首先,应考虑到参数  $(r+n)$  的值在一定范围内越大越有利,其次,要避免因改变 NDMVI 的正负值,而产生新的噪音信息,导致新模型得不偿失,失去构建的意义。故要求  $(r+n) \leq (R_{\min} + NIR_{\min})$  (其中: $R_{\min}$  表示红光波段反射率最小值, $NIR_{\min}$  表示近红外波段反射率最小值),而  $(r-n)$  可在 0 和  $(R_{\min} - NIR_{\min})$  之间取值。现分别用未经辐射校正的原

始影像和辐射校正后的影像进行实验测试,求取  $r$  和  $n$  的参数值。经实验测试表明,用统计方法获取整个研究区影像的红光波段的反射率最小值( $R_{\min}$ )和近红外波段的反射率最小值( $NIR_{\min}$ ),当  $r = R_{\min}, n = NIR_{\min}$  时,阴阳坡的新植被指数值最接近,抑制地形影响的效果最好(图 2)。这样,式(3)可进一步变换成式(4),即:

$$NDMVI = \frac{(\rho_{nir} - \rho_{red}) + (R_{\min} - NIR_{\min})}{(\rho_{nir} + \rho_{red}) - (R_{\min} + NIR_{\min})} \quad (4)$$

其中: $R_{\min}$  为红光波段反射率最小值, $NIR_{\min}$  为近红外波段反射率最小值。

### 2.4 NDMVI 模型数学变换与分析

为便于对模型进一步的讨论,对式(4)可作如下变换:

令: $x = (\rho_{nir} - \rho_{red}), y = (\rho_{nir} + \rho_{red}), a = (R_{\min} - NIR_{\min}), b = (R_{\min} + NIR_{\min})$ , 则:

$$NDMVI - NDVI = \left( \frac{b}{y-b} \right) NDVI + \frac{a}{y-b} \quad (5)$$

对同一幅影像而言,式(5)中  $a$  和  $b$  是常量。若以 NDVI 为自变量,以  $(NDMVI - NDVI)$  为因变量,则因变量与自变量是一元线性函数关系。其中,表达式  $(b/(y-b))$  是该直线的斜率,表示植被指数的变化速度  $((NDMVI - NDVI)/NDVI)$ ,这个斜率的变化主要取决于  $y$  值。由于同一植被类型在阴坡的  $y$  值都低于阳坡的  $y$  值,故阴坡的直线斜率要大于阳坡的直线斜率。经过植被指数模型改进后,同类植被在阴坡的植被指数增速明显要快于阳坡(表 2),促使阴坡和阳坡的 NDMVI 值趋于接近。需要注意的是,新指数模型是在近红外波段和红光波段分别减去一定数值,并没有改变不同地物在两波段间光谱特征相对关系。因此,该模型可以使阴坡和阳坡的 NDMVI 指数值更趋于接近,消除或抑制地形因素造成的植被信息偏差。

现用两幅影像分别计算阳坡和阴坡的 NDMVI 和 NDVI 值,制作 NDMVI 和 NDVI 指数影像,并统计各影像阴坡和阳坡的植被指数的差值( $C$ )和植被指数增幅( $VI$ )进行对比评价, $VI$  值越大或  $C$  值越小表明消除地形影响效果越好(表 2,图 2)。统计结果显示:阳坡和阴坡的 NDMVI 差值比 NDVI 差值小,阴坡的植被指数增速是阳坡的 2 倍左右;NDVI 指数影像表现有明显的地形纹理特征,而在

NDMVI 的指数影像上地形纹理特征不明显,同一植被类型呈现出“面状”展开的特征,如图 2c 中正方形圈定的区域;辐射校正后影像阳坡与阴坡的 NDMVI 差值更小,说明辐射校正有助于增强 ND-

MVI 消除地形影响的效果。可见新植被指数模型能使阳坡和阴坡的植被信息相接近,较好地消除或抑制植被信息因地形差异而失真的现象,如图 2 中长方形圈定的区域。

表 2 实验区植被指数均值变化统计  
Tab. 2 Statistics of the differences between NDVI and NDMVI in the test site

影像类型	阳坡			阴坡			C1	C2	C2/C1
	NDMVI	NDVI	VI	NDMVI	NDVI	VI			
原始影像	0.669	0.397	68.51%	0.596	0.230	159.13%	0.073	0.167	2.29
辐射校正影像	0.835	0.732	14.07%	0.790	0.631	25.40%	0.045	0.102	2.24

注:VI=(NDMVI - NDVI)/NDVI; C1=NDMVI<sub>阳坡</sub> - NDMVI<sub>阴坡</sub>; C2=NDVI<sub>阳坡</sub> - NDVI<sub>阴坡</sub>

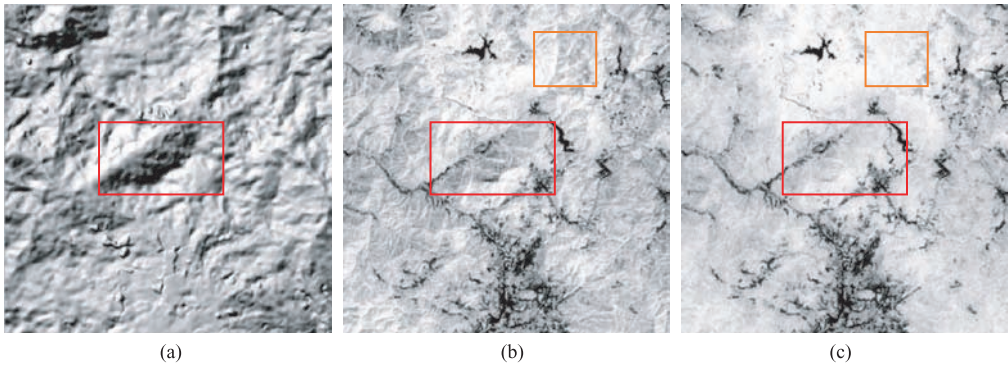


图 2 cos i/NDVI/NDMVI 指数影像  
(a 为太阳入射角余弦值(cos i)影像;b 为 NDVI 指数影像;c 为 NDMVI 指数影像)  
Fig. 2 Images of cos i (a), NDVI (b), and NDMVI (c)

2.5 植被指数对地形敏感性分析

在地形复杂山地不同坡向和坡度的像元,太阳入射角是分析植被指数对地形敏感性强弱的关键指标,因为太阳入射角余弦值 cos i 是遥感影像地形校正的一个重要参数,太阳入射角余弦值 cos i 的计算公式<sup>[14-15]</sup>:

$$\cos i = \cos \delta \times \cos \theta + \sin \delta \times \sin \theta \times \cos (\beta - \omega)$$

(6)

式中:i 为像元太阳入射角,δ 是像元所处地表的坡度角,β 是像元所处地表的坡向方位角;θ、ω 分别是影像获取时的太阳天顶角与太阳方位角。

以 DEM 为数据源,计算实验区太阳入射角余弦值(cos i),并制作成影像灰度图(图 2a)。将 NDVI、NDMVI 和 cos i 归一化后,建立植被指数值与 cos i 的一元线性回归方程,提取方程斜率 k,并计算植被指数值与 cos i 的决定系数 R<sup>2</sup>(表 3,图 3)。通过分析植被指数与入射角余弦值的关系来定量说明植被指数对地形的敏感性。

2.5.1 视觉检验定性分析

从图 2 中可以看出,NDVI 指数影像可一定程度消弱地形影响,但其影像中仍存在明显的地形纹理,与入射角余弦值影像图(图 2a)有较大相似性,表明 NDVI 与太阳入射角存在较大相关性,说明 NDVI 对地形起伏变化表现敏感;而 NDMVI 图中地形纹理不明显,具有面状展开的特征,如图 2c 中矩形圈定的区域,说明 NDMVI 对地形起伏表现不敏感,能有效地消除或抑制地形的影响。

2.5.2 统计检验定量分析

首先,从图 3 中可以看出,NDMVI 对地形起伏影响表现不敏感。NDMVI - cos i 线性回归趋势线呈近水平分布,回归方程的斜率仅为 0.004,决定系数 R<sup>2</sup> 只有 0.032,说明 NDMVI 与 cos i 相关性较小,NDMVI 值基本不受入射角余弦值变化影响,因此,NDMVI 对地形的变化敏感性很小;而 NDVI - cos i 线性回归趋势性呈倾斜分布,线性回归方程的斜率达到 0.229,决定系数 R<sup>2</sup> 为 0.089,说明 NDVI 与 cos i 相关性较大,NDVI 随入射角余弦值变化而变化,因此,NDVI 对地形的敏感性较大。



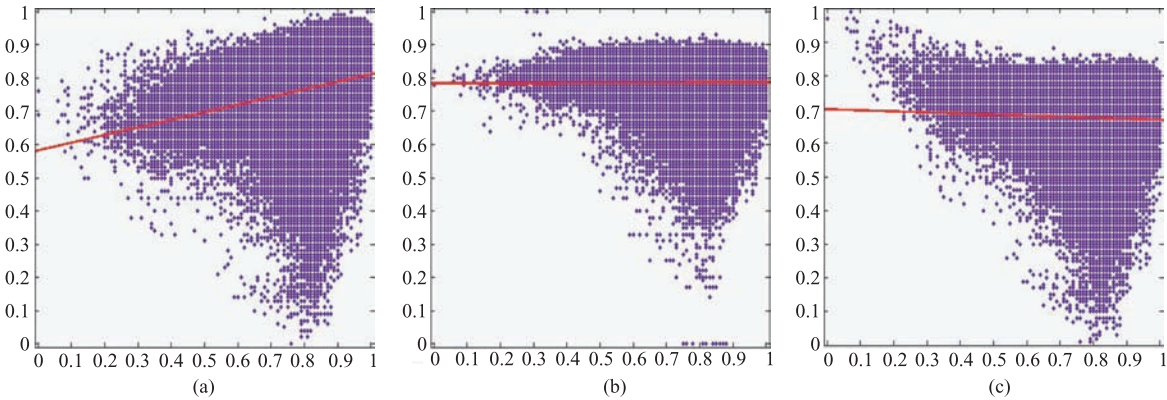


图3 植被指数与太阳入射角余弦值散点图  
(a:  $NDVI-cos i$  散点图及趋势线, b:  $NDMVI-cos i$  散点图及趋势线, c:  $C\_NDVI4-cos i$  散点图及趋势线,  
其中横坐标为  $cos i$ , 纵坐标为植被指数)

Fig. 3 Scatter plots of (a)  $NDVI$  ( $y$ -axis) vs.  $cos i$  ( $x$ -axis); (b)  $NDMVI$  ( $y$ -axis) vs.  $cos i$  ( $x$ -axis);  
and (c)  $C\_NDVI$  ( $y$ -axis) vs.  $cos i$  ( $x$ -axis).

其次,与C地形校正模型相比,NDMVI抑制地形影响的效果更好。经C校正模型校正后的影像计算的NDVI值(用C\_NDVI表示)。C\_NDVI值归一化处理后与 $cos i$ 建立一元线性回归方程(表3,图3)。其线性回归趋势线斜率为-0.032,说明C\_NDVI随太阳入射角增大(即 $cos i$ 减小)有轻微地上升,致使在太阳辐射较弱的阴坡有轻微地过度校正现象。高永年等<sup>[15]</sup>、杨燕等<sup>[16]</sup>的研究也表明,在森林植被覆盖率较大的山地,C校正模型的校正结果会出现过校正的问题。而NDMVI没出现过度校正问题,且在地形阴影区NDMVI比阳坡的NDMVI略低(图3b中,当 $cos i < 0.3$ 时),体现了地形阴影区植被生长状况不如阳坡植被生长状况。

最后,NDMVI比NDVI具有更宽的动态变化范围(表4),对植被和非植被地物的遥感识别能力更强。在-1~1的区间范围里,NDMVI的数值范围较NDVI的增加了0.988。如将其换算(拉伸)至256个灰度级,NDMVI的数值动态范围可比NDVI的增加126个灰度级。这一动态范围的增加就使得植被、裸土、城镇建筑区、水体这4种地类在NDMVI影像中会比在NDVI影像中更容易区分。当归一化后的 $cos i$ 值介于0.7与0.9之间时,因地表近水平(太阳入射角与太阳天顶角接近),NDMVI低值区呈倒三角形分布的小群点为农村居民建设用地和水体等地物(图3b)。

总之,NDMVI具有较强地消除复杂地形影响的能力,且比C地形校正模型更具有优势。

表3 植被指数与入射角余弦值回归参数  
Tab. 3 Regression equation of vegetation indices and  $cos i$

回归变量	斜率 $k$	截距 $b$	决定系数 $R^2$	回归方程
$NDVI - cos i$	0.229	0.582	0.089	$NDVI = 0.229 cos i + 0.582$
$NDMVI - cos i$	0.004	0.783	0.032	$NDMVI = 0.004 cos i + 0.783$
$C\_NDVI - cos i$	-0.032	0.700	0.002	$C\_NDVI = -0.032 cos i + 0.700$

表4 NDMVI与NDVI数值范围比较  
Tab. 4 Comparison of dynamic ranges between NDMVI and NDVI

	最小值	最大值	动态范围
NDMVI	-0.9926	0.9389	1.9315
NDVI	-0.1397	0.8031	0.9438
NDMVI-NDVI			0.9877
换算为256级			126.43

### 3 NDMVI模型的物理机理

该模型能达到消除或抑制地形影响的物理机理是通过消减掉大气程辐射、邻近地形反射辐射和环日各向异性散射辐射,然后用比值法消除因坡度不同引起的太阳直射辐射和天空各向同性漫散射辐射差异来抑制地形效应影响。

许多研究<sup>[5,17-21]</sup>表明在复杂山地目标地物接收到的太阳光谱辐射由四部分组成,即太阳直射辐

射( $E_s$ )、大气的漫散射辐射( $E_d$ , 包含天空各向同性散射辐射与环日各向异性散射辐射)、邻近地形反射辐射( $E_a$ )和大气程辐射( $L_p$ ), 那么传感器瞬时视场入瞳辐射可以表示成如下公式<sup>[5]</sup>:

$$L = \Theta \frac{(E_s + E_d K) \cos i}{\pi \cos \theta_s} \rho_T e^{-\tau / \cos(\theta_v)} + \left\{ \left[ \frac{E_d (1 - K) V_d}{\pi} + \frac{E_a}{\pi} \right] \rho_{DT} e^{-\tau / \cos(\theta_v)} + L_p \right\} \quad (7)$$

式中,  $L$  为传感器入瞳辐射,  $\rho$  为反射率,  $\theta_s$  太阳天顶角,  $i_s$  为太阳相对坡面的入射角,  $\tau$  为当时大气光学厚度,  $V_d$  为天空观测因子;  $K$  为各向异性指数, 表示占天空漫散射的权重;  $\Theta$  为判断目标是否被太阳直射的二值因子, 当  $\Theta = 1$  认为目标处于光照面, 反之  $\Theta = 0$  则处于阴影面为无太阳直射辐射。

在没有太阳直射辐射的阴影面处(即当  $\cos i < 0$  时,  $\Theta = 0$ ), 传感器入瞳辐射值等于公式(7)右边第二大项的值。在复杂山地, 地表以坡面为主, 其天空观测因子( $V_d$ )变化幅度不大, 而且环日各向异性散射辐射占天空漫散射的比重很小。因此, 山地卫星遥感影像的每一像元接收到近似相等的大气程辐射、邻近地形辐射和各向异性漫散射辐射。那么, 实验区影像中各波段的最小辐射值(可换算为反射率或 DN 值)就表示阴影坡面地物接收的环日各向异性散射辐射、邻近地形反射辐射和大气程辐射总和。式(4)中参数  $NIR_{\min}$  和  $R_{\min}$  代表近红外波

段和红光波段的该部分辐射值。在 NDMVI 模型中, 经参数调整消减掉该部分辐射后, 仅有太阳直射辐射和天空各向同性散射辐射参与比值运算, 那么该部分辐射因坡度坡向变化而引起的差异, 可经比值运算进一步抵消。

由于 NDVI 模型的分子采用减法运算而抵消很大部分的大气程辐射、邻近地形辐射和环日各向异性漫散射辐射, 而其分母采用加法运算并无法抵消该部分辐射, 因此, NDVI 只能部分消弱地形影响。这就是以 NDVI 改进的 NDMVI 能进一步消除或抑制地形效应影响的机理。

从新指数模型的物理意义来看, 新指数模型适用于山地区域, 且当遥感影像中有完全没有接收到太阳直接辐射的像元时(即未经归一化的  $\cos i < 0$  时,  $i$  为太阳入射角), 效果最好。

4 新模型应用实验与分析

4.1 验证实验区及数据源

为了验证 NDMVI 指数模型的有效性, 避免出现偶然性, 选取三幅不同时相不同地形特征的 Landsat TM 或 ETM+ 影像, 分别采用未经辐射校正的原始影像和经日照差异校正(ICM)模型辐射校正的影像, 共 3 组 6 幅影像(表 5)。遥感影像处理采用的是 ER Mapper 7.1 和 Matlab R2010b 软件。

表 5 验证实验区与遥感影像数据源

Tab. 5 Images used for the validation of the NDMVI

影像分组	第一组		第二组		第三组	
影像类型	原始影像	ICM 影像	原始影像	ICM 影像	原始影像	ICM 影像
影像代码	FZ_DN	FZ_ICM	LY_DN	LY_ICM	XM_DN	XM_ICM
影像类型	Landsat TM		Landsat ETM+		Landsat TM	
成像日期	1994 年 5 月 12 日		2002 年 10 月 8 日		2006 年 11 月 5 日	
中心坐标	119. 13°E, 29. 53°N		117. 30°E, 25. 17°N		117. 57°E, 24. 41°N	
太阳方位角	98. 39°		142. 19°		151. 41°	
太阳高度角	59. 23°		52. 15°		45. 13°	
像元数	400×400		400×400		400×400	
平均海拔	280m		1060m		390m	
最大落差	900m		1350m		940m	
主要地物	植被、水体、居民点、裸土		植被、裸岩(土)		植被、水体、居民点、裸土	
地理位置	福州市闽侯县闽江南岸青口镇西部山区		龙岩新罗区东北部梅花山自然保护区		厦门市集美区北部和同安区西部山区	

4.2 MDNVI 与 NDVI 植被指数对比分析

以上述 6 幅影像为实验对象, 分别统计不同坡向植被变化情况, 并制作它们的 NDVI 和 NDMVI 指数影像(表 6, 图 4)。采用定性分析和统计定量

分析方法对 NDMVI 模型进行验证。

4.2.1 视觉检验定性分析

在所有实验区的 NDVI 指数影像中都存在较明显的地形纹理, 不同坡向的 NDVI 值差异较大, 地形越复

杂的地区地形纹理越明显。在对应的 NDMVI 指数影像中,地形纹理都不明显,较好地消除或抑制了地形的影响,且地形越复杂的地区消除地形影响效果越明显,其中使用经辐射校正影像的效果更好。

4. 2. 2 统计检验定量分析

(1)所有实验区每种影像 NDMVI 阴阳坡的差值都比其 NDVI 阴阳坡的差值要小很多,且仅为 NDVI 差值的二分之一到五分之一,不同坡向的 NDMVI 更为接近,表明新指数具有消除或削弱地形影响的效果。

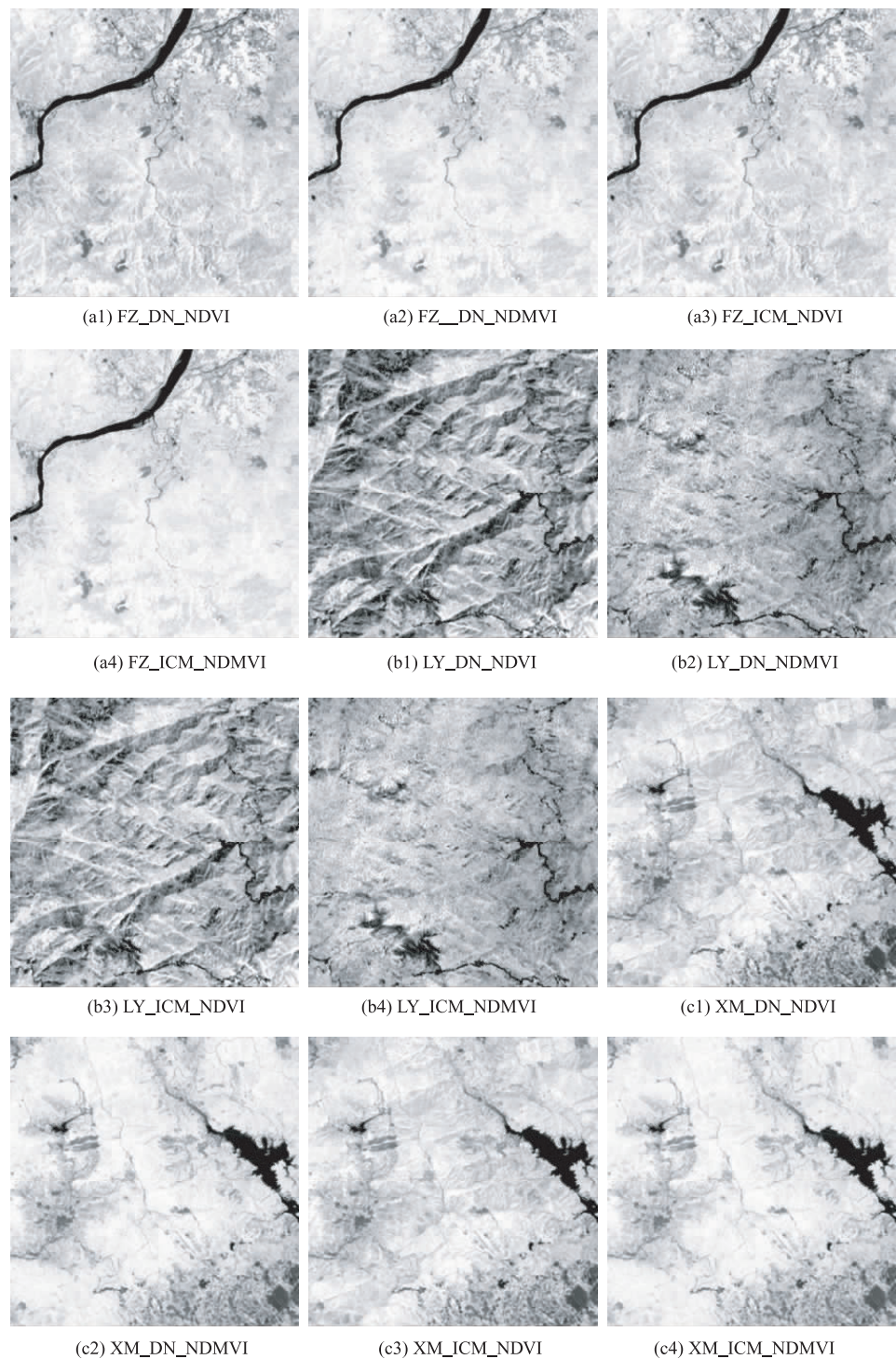


图 4 验证区植被指数影像图

Fig. 4 Images of the NDMVI and NDVI of the validation sites



(2)所有实验区的阴坡植被指数的增速都大于阳坡植被指数的增速。在地形越复杂植被阴坡植被指数的增速越快,如在龙岩新罗区梅花山自然保护区,地形最复杂,阴坡植被指数的增幅可达236.5%,而阳坡的增幅仅为80.7%;在地形比较平缓的地区,其阳坡和阴坡植被指数的增幅较为接近,如福州市青口地区仅相差4%~6%。NDMVI

能抑制地形的影响。

(3)经辐射校正后影像的阳坡和阴坡 NDMVI 差值比未经辐射校正的原始影像的 NDMVI 差值更小,说明日照差异辐射校正有助于提高 NDMVI 植被指数对抑制地形影响的效果。同时也表明 Landsat TM/ETM+ 遥感影像正规化在某种程度上具有抑制地形影响的效果。

表 6 实验区植被指数均值变化统计

Tab. 6 Statistics of the differences between NDMVI and NDVI of the validated images

影像代码	阳坡			阴坡			NDMVI	NDVI	C2/C1
	NDMVI	NDVI	VI	NDMVI	NDVI	VI	差值 C1	差值 C2	
FZ_DN	0.752	0.527	42.69%	0.740	0.497	48.89%	0.012	0.030	2.500
FZ_ICM	0.796	0.613	29.85%	0.786	0.587	33.90%	0.010	0.026	2.600
LY_DN	0.616	0.341	80.65%	0.562	0.167	236.53%	0.054	0.174	3.222
LY_ICM	0.820	0.697	17.65%	0.798	0.588	35.71%	0.022	0.109	4.955
XM_DN	0.760	0.596	27.52%	0.709	0.487	45.59%	0.051	0.109	2.137
XM_ICM	0.821	0.675	21.63%	0.789	0.580	36.03%	0.032	0.095	2.969

注:VI=(NDMVI-NDVI)/NDVI; C1=NDMVI<sub>阳坡</sub>-NDMVI<sub>阴坡</sub>; C2 = NDVI<sub>阳坡</sub>-NDVI<sub>阴坡</sub>

5 结论

NDMVI 模型通过同时降低近红外波段和红光波段的反射率来抑制地形的影响,其值不受地形起伏变化的影响,大大提高山地植被信息遥感解译精度。研究表明:

(1)NDMVI 抑制地形影响的效果明显。NDMVI 基本不受太阳入射角大小的影响,对地形变化表现不敏感;比 C 校正模型的效果更好,在地形阴影区不会出现过度校正的问题;比 NDVI 值的动态变化范围更宽,对地物的遥感识别能力更强。

(2)NDMVI 最大优势是无需辅助数据的支持,仅源于遥感影像数据本身,操作性强。

(3)对遥感影像进行绝对辐射校正是必要的。相对于未经辐射校正的原始影像,用经辐射校正后的影像计算的 NDMVI 消除或抑制地形影响的效果更好。既可用日照差异校正模型 ICM 进行辐射校正为传感器处像元的反射率,也可直接用辐射定标后的辐射亮度值来计算 NDMVI。因为 ICM 模型中用于反射率反演的其他参数(如大气顶部太阳辐射度、日地距离、太阳天顶角余弦值和圆周率等)可通过比值运算抵消。

(4)通过实验统计获取红光波段和近红外波段的最小值作为 NDMVI 模型调节参数,在实际应用中可能会存在一定的局限性和随机性问题。根据

NDMVI 的构建原理及太阳辐射传输的物理机理, NDMVI 模型适用于山地区域,且当遥感影像中有完全没有接收到太阳直接辐射的像元时(即  $\cos i < 0$  时),效果最好。

参考文献:

[1] 姚晨,黄微,李元华. 地形复杂区域的典型植被指数评估[J]. 遥感技术与应用,2009,24(4): 496-501.

[2] 王培娟,孙睿,朱启疆,等. 复杂地形条件下提高 BEPS 模型模拟能力的途径[J]. 中国图象图形学报,2006,11(7): 1017-1026.

[3] 段四波,阎广建. 山区遥感图像地形校正模型研究综述[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2007, 43(3): 362-366.

[4] 闻建光,柳钦火,肖青,等. 复杂山区光学遥感反射率计算模型[J]. 中国科学(D辑:地球科学),2008, 33(11): 1419-1427.

[5] Covico D L. Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1989, 55(9): 1303-1309.

[6] Teillet P M, Guindon B, Goodenough D G. On the Slope-aspect Correction of Multispectral Scanner Data[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 1982, 8(2): 84-106.

[7] Smith J, Lin T, Ranson K. The lambertian assumption and landsat data[J]. Photogrammetric Engineering and



- Remote Sensing, 1980, 46(9): 1183.
- [8] Shepherd J D, Dymond J R. Correcting Satellite Imagery for the Variance of Reflectance and Illumination with Topography [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(17): 3503 - 3514.
- [9] 张兆明, 何国金, 刘定生, 等. 一种改进的遥感影像地形校正物理模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1839 - 1842.
- [10] 江洪, 王钦敏, 汪小钦. 福建省长汀县植被覆盖度遥感动态监测研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 126 - 133.
- [11] 江洪, 汪小钦, 吴波, 等. 地形调节植被指数构建及在植被覆盖度遥感监测中的应用[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2010, 38(4): 527 - 532.
- [12] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, *et al.* Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS [C]. Proceedings of Third Earth Resources Technology Satellite 21 Symposium Greenbelt, 1974, 1: 48 - 62.
- [13] 徐涵秋. 基于影像的 Landsat TM/ETM+ 数据正规化技术[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(1): 62 - 66.
- [14] 黄微, 张良培, 李平湘. 一种改进的卫星影像地形校正算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(9): 1124 - 1128.
- [15] 高永年, 张万昌. 遥感影像地形校正研究进展及其比较实验[J]. 地理研究, 2008, 27(3): 467 - 477.
- [16] 杨燕, 田庆久. 森林覆盖区山地遥感地形校正的方法研究[J]. 遥感信息, 2008(1): 22 - 26.
- [17] Sandmeier S, Itten K I. A Physically-Based Model to Correct Atmospheric and Illumination Effects in Optical Satellite Data of Rugged Terrain[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(3): 708 - 717.
- [18] 闫广建, 朱重光, 郭军, 等. 基于模型的山地遥感图象辐射订正方法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(1): 11 - 15.
- [19] 程伟, 田庆久, 王黎明. 光学遥感的山地像元反射率反演模型研究[J]. 遥感信息, 2008(1): 31 - 36.
- [20] 段四波, 阎广建, 穆西哈, 等. 基于 DEM 的山区遥感影像地形校正方法[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(6): 18 - 22.
- [21] 史迪, 阎广建, 穆西哈. 光学遥感影像表观辐亮度地形效应纠正物理模型[J]. 遥感学报, 2009, 13(6): 1030 - 1046.

## A New Index for Vegetation Enhancements of Mountainous Regions Based on Satellite Image Data

WU Zhijie<sup>1,2</sup>, XU Hanqiu<sup>2</sup>

(1. Department of Resources Engineering, Longyan University, Longyan 364012, China;

2. College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** In this study, a normalized difference mountain vegetation index (NDMVI) is proposed using Landsat TM/ETM+ images. The new index aims to correct terrain influence on the vegetation measurements of the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Through analyzing the different spectral reflectance characteristics of vegetation between sunny and shaded slopes in the complex mountainous region, we developed a new index to introduce two parameters to adjust values of the near-infrared and red bands of the Landsat TM/ETM+ image. The newly developed index has advantages over the NDVI in correcting terrain impact and over the other similar terrain correction vegetation indices in that it does not need other supplement data such as DEM for the model. The study shows that the NDMVI has nearly no significant correlation with cosine value of solar incidence angle and is not sensitive to the terrain changes. Therefore, this new index can more effectively suppress the influence to vegetation observations due to terrain difference better than does the NDVI. In addition, the NDMVI has a wider dynamic range than the NDVI does, and thus, could distinguish different land cover types more effectively than the NDVI. We concluded that, compared with the C-correction model, the new index can achieve a better performance because it has avoided the over-correction bias.

**Key words:** remote sensing; mountainous region; terrain correction; vegetation index; NDMVI; NDVI