基于低空可见光谱的植被覆盖率计算

卞 雪, 马群宇, 刘楚烨, 赵言文
(南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: [目的] 将低空遥感技术应用到水土保持设施验收中,从可见光谱遥感影像提取区域植被信息,提出可准确、客观计算水土保持设施验收指标中植被覆盖率的方法,以减少工作人员的业外工作量,提高测算效率。[方法] 将仅含有可见波谱信息的低空遥感图像作为研究对象,在利用植被指数红绿比指数(RGRI),过绿指数(EXG),可见光波段差异植被指数(VDVI),归一化绿蓝差异指数(NGBDI)和归一化绿红差异指数(NRGRDI)分析图像波谱特性的基础上,采用双峰直方图法和最大熵值法确定各植被指数的阈值,再使用 ENVI 软件提取图像的植被信息,并计算植被覆盖率,与参照结果进行比对。[结果] 利用可见光谱差异指数(VDVI)提取的植被信息精度高达 95.32%。由此计算得到的植被覆盖率为 54.43%,与实际情况最为接近。[结论] 基于可见光谱遥感影像计算植被覆盖率的方法具有可行性,该方法人工干预少,结果准确度高,可为水土保持设施验收提供实时的数据支撑。

关键词: 可见光谱; 水土保持设施验收; 植被覆盖率
文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2017)05-0270-06 **中图分类号**: S127

文献参数: 卞雪, 马群宇, 刘楚烨, 等. 基于低空可见光谱的植被覆盖率计算[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 270-275. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.046; Bian Xue, Ma Qunyu, Liu Chuye, et al. Vegetation coverage calculation based on low altitude visible spectrum[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 270-275. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.046

Vegetation Coverage Calculation Based on Low Altitude Visible Spectrum

BIAN Xue, MA Qunyu, LIU Chuye, ZHAO Yanwen
(*College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agriculture University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: [Objective] Applying low altitude remote sensing to the acceptance of soil and water conservation facilities so as to extract vegetation information based on visible spectrum from remote sensing image, and to propose an accurate and objective method to calculate the coverage rate which is an indicator of the soil and water conservation facilities evaluation in the hope of reducing workload and improving effectiveness. [Methods] The spectral characteristics of low-altitude remote sensing images containing only visible spectral information were analyzed by five vegetation indices as RGRI (ration vegetation index), EXG (excess green), VDVI (visible-band difference vegetation index), NGBDI (normalized green-blue difference index) and NRGRDI (normalized green-red difference index). And the threshold of each vegetation index was determined by the maximum entropy method or bimodal histogram method. Furthermore, with the help of ENVI, the vegetation information was extracted and the vegetation coverage were then calculated and compared with references. [Results] The accuracy of vegetation information extracted from the visible-band difference vegetation index (VDVI) was as high as 95.32%, and the vegetation coverage was 54.43%, which was the closest to the actual value. [Conclusion] It is feasible to calculate vegetation coverage from remote sensing image based on visible band. The method can provide real-time data as supporting information for the acceptance assessment of soil and water conservation facilities with its advantage of few artificial intervention and high accuracy.

Keywords: **visual spectrum; acceptance of soil and water conservation facilities; vegetation coverage**

收稿日期: 2017-03-07 **修回日期**: 2017-03-30
资助项目: 国家自然科学基金重点项目"农村发展中生态环境管理研究"(70833001)
第一作者: 卞雪(1991—),女(汉族),江苏省溧阳市人,硕士研究生,研究方向为水土保持、环境规划与评价。E-mail: bx19911229@qq.com。
通讯作者: 赵言文(1965—),男(汉族),江苏省徐州市人,博士,教授,博士生导师,主要从事水土保持、环境生态学、环境影响评价研究。E-mail: ywzhao@njau.edu.cn。

水土保持设施验收技术评估报告是水行政部门验收审批建设项目的重要技术支撑[1],新时期政策调整对水土保持工作提出了更高的要求,《关于贯彻落实国发[2015]58 号文件进一步做好水土保持行政审批工作的通知》(办水保[2015]247 号)中明确提出现场核查需在行政许可规定时间(15 个工作日)内完成,根据《关于印发<水利部水土保持设施验收技术评估工作要点(试行)>的通知》(水保监便字[2015]第 187 号)文件要求,新时期生产建设项目水土保持设施验收技术评估的内容中需要对生产建设项目水土流失防治任务完成情况进行评估,强调将防治效果量化。林草植被覆盖率作为防治任务 6 大指标中的一项,是评价水土保持工作是否合格的重要依据,而目前验收人员主要使用的核查方法仍以目测法和样方测算法等为主,这类方法主观随意性强、效率低,局限了水土保持工作的高效开展。《生产建设项目水土保持监测技术规程》中明确要求"线性项目山区(丘陵区)长度不小于 5 km,平原区长度不小于 20 km 的应增加遥感监测方法。"基于遥感技术和通讯技术发展起来的无人机低空遥感验收方法,也受到水行政主管部门的肯定与鼓励。

无人机遥感技术以其灵活性高、影像反馈及时、成本低廉、高危地区探测等优势,在森林资源调查、农情实时监测、灾情调查等方面发挥着巨大作用,如 Alistair 等[2]使用无人机对野外环境的进行多种类植被分析,李冰等[3]对冬小麦不同生长阶段的盖度进行无人机遥感监测,雷添杰等[4]利用无人机遥感系统获取了北川县地震后的高分辨率影像,为救灾工作提供详细信息。在水土保持领域,杨超等[5]通过无人机和 RT-GPS 分别获取研究区影像及地面控制点坐标,生成高精度 DEM,通过目视遥感解译和现场调查,快速估算研究区土壤侵蚀速率。而无人机遥感在植物措施核查方面的应用主要为简单的获取影像资料,其图像视角广、范围大、清晰度高的优点并未得到体现。章文波等[6],路炳军等[7]等利用数码相机拍摄的图像快速获取植被盖度,而对无人机影像的研究主要集中于地面信息的识别,在植被覆盖率的计算上研究较少。

近年来,随着各级城市电网的完善和环境保护政策的落实,输变电工程的数量迅速增多、距离越建越长,建设单位保护水土资源的意识也逐渐加强,这就要求水土保持工作技术不断创新、效率不断提高。利用无人机低空拍摄项目区的实时高分辨率影像,不仅可对人车难以到达区域进行空中取证,保证水土保持设施的核查率,而且通过提取影像的植被信息可计算验收结果,提高验收精度、避免人为因素干扰。无人机遥感影像的植被信息提取大多基于可见光—近红外波段,而常规无人机搭载的普通相机仅能拍摄可见光谱影像。为了提高可见光遥感图像的利用率和植被覆盖率计算的准确度,有必要完善可见光谱影像在植物措施核查方面的定量应用。

本文拟通过对基于可见光谱植被指数的分析,从遥感图像中提取植被信息并计算区域植被覆盖率,将 5 种植被指数计算得到的植被覆盖率与参照结果进行对比,旨在找到适用于低空遥感影像植被覆盖率的估算方法,为核查水土保持设施验收的植物措施效果提供更客观、高效的途径。

1　材料与方法

1.1　试验材料

本研究以泰州特高压变电站送出工程为例进行试验,该项目建设内容包括变电站和线路两部分。项目地处江苏省泰州市,属于苏北中部里下河平原区,地形平坦,线路沿线以农田为主,道路周边分散有少量自然生长灌木。输变电项目线路工程的因措施数量多、范围广,而使得现场核查工作量大、人工测算面积难度大。故本研究选用该项目的线路工程作为研究对象,使用无人机低空拍摄水土保持植物措施实施效果影像。

此次试验采用的是大疆精灵 4 号无人机,最大起飞重量 1 200 g,可续航 25 min,搭配实时图传后可以显示飞行高度和 GPS 定位等信息。无人机搭载的摄像机型号为 FC 330 相机,最大分辨率 4 000×3 000 像素。

1.2　试验方法

1.2.1　可见光遥感影像的获取　影像拍摄于 2016 年 8 月 30 日,拍摄期间天气状况良好,拍摄时飞行高度约 260 m,属低空飞行,获得的图像不受大气因素影响。拍摄时无人机相机镜头保持垂直向下,定点悬停拍摄。本研究对中心波长的位置和波段范围并无严格要求,故对所获取的影像没有进行的辐射定标[8]。因项目线路工程核查数量大,此次研究选取了拍摄影像中具有代表性的一张,试验所用的影像具有红、绿、蓝 3 个波段,空间分辨率为 4 000×3 000 像素。

1.2.2　基于可见光谱的植被指数　健康绿色植被在可见光谱的反射光谱具有蓝色、红色强烈吸收,绿色强烈反射的特征。植被遥感领域已提出大量基于可见光—红外波段计算的植被指数用于增强影像中的植被信息,如归一化植被指数 NDVI (normalized

difference vegetation index)、比值植被指数[9] RVI (ration vegetation index)、增强型植被指数[10] EVI (enhanced vegetation index)等。基于可见光谱的植被指数主要有红绿比指数 RGRI(red-green ratio index)、过绿指数[11] EXG (excess green)、可见光波段差异植被指数[12] VDVI (visible-band difference vegetation index)、归一化绿红差异指数[13] NGRDI (normalized green-red difference index)、归一化绿蓝差异指数 NGBDI(normalized green-blue difference index)等,计算公式如下:

$$\mathrm{RGRI}=\frac{R}{G} \tag{1}$$

$$\mathrm{EXG}=2G-R-B \tag{2}$$

$$\mathrm{VDVI}=\frac{2G-R-B}{2G+R+B} \tag{3}$$

$$\mathrm{NGRDI}=\frac{g-r}{g+r} \tag{4}$$

$$\mathrm{NGBDI}=\frac{g-b}{g+b} \tag{5}$$

式中:R,G,B——红、绿、蓝波段的像素值;r,g,b——归一化处理后的红、绿、蓝波段的像素值;$r=\frac{R}{R+GB}$,$g=\frac{G}{R+GB}$,$b=\frac{B}{R+GB}$。

其中可见光谱差异植被指数 VDVI,是借鉴了国内外使用最多且提取效果较好的归一化差值植被指数 NDVI 而构建得来。在可见光波段内,绿色植被对绿光波段的反射较强,利用该特性,VDVI 公式中用绿光代替了 NDVI 中近红外波段,用红光波段和蓝光波段的和代替 NDVI 中的红光波段,并将绿光波段乘以 2 使其在数值上与红蓝波段和相当。具体构造过程见公式(7)。

$$\mathrm{NDVI}=\frac{\mathrm{NIR}-R}{\mathrm{NIR}+R} \tag{6}$$

$$\mathrm{VDVI}=\frac{2G-(R+B)}{2G+(R+B)}=\frac{2G-R-B}{2G+R+B} \tag{7}$$

式中:NIR——近红外波段的像元值。

1.2.3 基于阈值的植被信息提取 利用可见光谱植被指数对遥感图像进行计算,在分析各植被指数计算结果的基础上,选用合适方法设定阈值,将植被指数计算值高于阈值的归为植被,小于阈值的归为非植被,从而提取出图像的植被信息。提取结果的精确度取决于阈值的设定。因此,本文根据各植被指数计算结果,采用双峰直方图法、最大熵值法得到各植被指数的阈值。

(1) 双峰直方图法。直方图中有 2 个明显的坡峰,2 个峰值对应于对象内部与外部较多数目的点,2 个峰之间的坡谷对应于对象边缘相对较少数目的点,坡谷一般即为阈值选取处[14]。

(2) 最大熵值法。若阈值为 t,则图像分为目标 O 和背景 B,当两者的总熵 $H(t)=H_O(t)+H_B(t)$ 取最大值时,所对应的 t 即为最佳阈值[15]。

1.2.4 植被覆盖率的估算 根据遥感图像的植被提取结果,分别统计各植被指数提取图中植被像素和整张图像像素的数量,计算植被覆盖度(即为植被像素数与图像总像素数之比)[16],并与实测结果进行分析比较,得到适用于植被覆盖率计算的方法。

2 结果与分析

2.1 可见光植被指数的计算

图像中地物类型简单,植被主要为农田和绿色灌木,且颜色差异不大,因此将其都归为植被。非植被地物分为塔基、水面、道路和其他 4 种类型。对每类典型地物各选取 10 个感兴趣区域分别统计红、绿、蓝 3 个波段的像元平均值和标准差,并分析地物各波段的像元值差异和像元波动范围。统计结果如表 1 所示。

表 1 典型物在红、绿、蓝波段的像元统计特征值

地物	红波段		绿波段		蓝波段	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
植被	71.156	20.553	100.268	22.233	68.064	17.400
塔基	137.526	59.090	149.129	57.749	173.508	57.500
水面	124.346	10.302	130.211	11.379	137.699	9.394
道路	176.586	26.609	172.227	18.891	200.995	21.069
其他	155.929	53.677	153.718	55.466	188.808	48.788

从表 1 中可看出,植被区域各波段的像元值呈现出:绿波段>红波段>蓝波段的规律,与健康绿色植被的光谱特性相符合。非植被区域各波段像素呈现:蓝波段>绿波段>红波段、蓝波段>红波段>绿波段的规律。但各地物波段数据标准差较大,数据离散程度高,所以均值相近的数据会有较多交集。在红波段,非植被地物的塔基和植被有部分重合;在蓝波段,植被与非植被没有重合;在绿波段,非植被类型的塔

基与植被有较大重合。说明只包含绿色波段、或是仅包含红色和绿色波段的植被指数无法较准确的区别图像的植被与非植被。利用公式(1)—(5)分别计算遥感图像可见光谱植被指数,得到各植被指数分布图(图 1)。VDVI,NGRDI 和 NGBDI 计算值范围为[−1,1],EXG 值范围为[−255,255]。



图 1　各植被指数分布

图 1 中,RGRI 分布图色调越暗的区域表示植被指数值越大,越亮的区域表示植被指数值越小,而其余植被指数分布图暗色区表示植被指数值小,亮色区表示植被指数值大。观察图 1 可发现 EXG,VDVI,NGBDI 指数分布图中植被与非植被灰度值差异较为明显,植被区域显示为亮白色,非植被区域显示为暗黑色。NGRDI 和 RGRI 指数中部分道路和植被灰度值相近而出现交界处分类混淆的情况,这易引起植被信息提取产生误差。

为了更细致地分析各植被指数计算结果,采用抽样法分别在各植被指数分布图(图 1)中选取与典型地物相同的 ROI 区域进行特征值统计,结果如表 2。

表 2　RGRI,EXG,VDVI,NGBDI 和 NGRDI 的植被指数分布图统计特征值

典型地物	RGRI		EXG		VDVI		NGBDI		NGRDI	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
植被	0.700	0.080	61.315	16.945	0.187	0.062	0.195	0.072	0.179	0.059
塔基	0.896	0.107	−12.775	11.728	−0.026	0.050	−0.090	0.066	0.059	0.086
水面	0.902	0.022	20.840	7.048	0.040	0.014	0.029	0.021	0.052	0.012
道路	1.021	0.065	−33.127	13.693	−0.045	0.018	−0.077	0.020	−0.010	0.032
其他	1.086	0.540	−37.302	49.961	−0.070	0.106	−0.119	0.086	−0.003	0.154

从表 2 可看出,RGRI 和 NGRDI 中非植被地物的其他与植被的指数值有重叠现象,会造成提取误差,故 RGRI 和 NGRDI 在进行无人机植被信息的提取时,准确度可能较低。EXG,VDVI,NGBDI 各地物的指数值没有交叉,都可用于植被信息提取,但 EXG 的植被指数范围大且标准差较大,可能影响植被提取效果。

2.2　植被提取与精度评价

除 RGRI 外,其他植被指数的直方图均具有较明显的双峰特征。RGRI 采用最大熵值法得到的阈值为 0.741,EXG,VDVI,NGBDI 和 NGRDI 通过双峰直方图法求得的阈值分别为 44.039,0.098,0.122,0.096。

利用确定的阈值从各植被指数分布图中提取植被信息,得到植被分布结果如图 2 所示,并与参照图进行精度验证(表 3)。为评价提取效果,本研究使用 ENVI 软件中的最大似然分类法,并结合局部人工分类,得到图 2a 作为精度评价的参考提取图。

结合表 3 和图 2 可看出,RGRI 和 NGRDI 提取结果总正确率较低,靠近道路的植被区域有明显的漏提现象。NGBDI 提取结果正确率较高、植被提取较为全面,但在植被稀疏区域提取效果不理想。EXG 和 VDVI 总体精度大于 93%,提取结果较其他植被指数更全面,植被与非植被交界处细节清晰,与参照图结果相近。所以 EXG 和 VDVI 更适合用于无人机低空可见光影像的植被提取。

表 3　各植被指数提取精度评价

植被指数	正确率/%			Kappa 系数
	植被	非植被	总正确率	
IRGR	70.99	98.32	80.60	0.62
EXG	90.10	99.00	93.38	0.86
VDVI	93.46	99.10	95.32	0.90
NGBDI	76.43	99.98	84.22	0.68
NGRDI	73.24	99.94	82.08	0.64

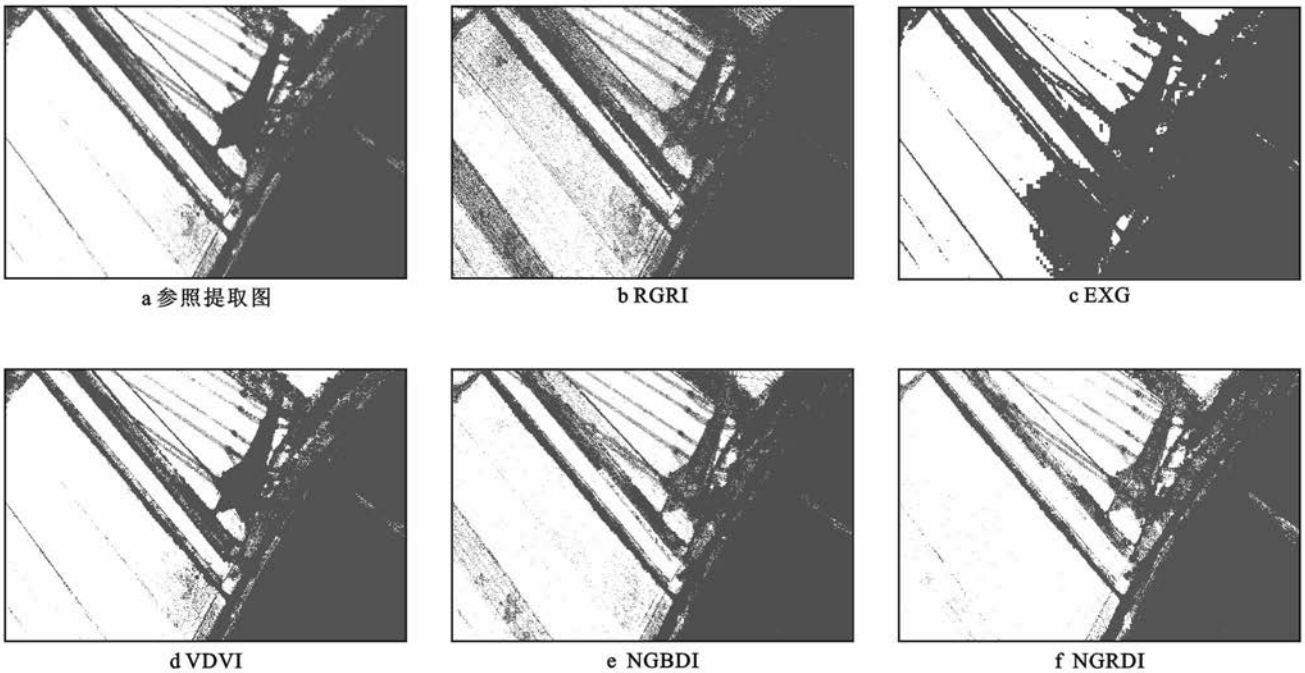


图 2 各植被指数提取结果

2.3 计算植被覆盖度

从提取结果图中统计植被像元数量，计算得到各个植被指数植被提取后的植被覆盖率，结果如表 4 所示。

表 4 各植被指数的植被覆盖率计算结果 %

植被指数	参照图	RGRI	EXG	VDVI	NGBDI	NGRDI
覆盖率	55.67	41.22	50.25	54.43	42.59	40.12

从表 4 中可看出，各植被指数提取的植被覆盖度均小于参照图的值，存在低估情况。其中 VDVI 与参照结果最为接近，EXG 次之。其由于 VDVI 的计算公式构造合理体现了植被在可见光波段的反射特点，并且充分利用了遥感图像可见光波段数据，所以，强化植被信息的效果较 EXG 更为显著，覆盖率计算结果的准确度更高。由于参照图是通过最大似然法加以人工纠正得到，而最大似然法在植被覆盖度低的区域，会将部分颜色接近植物的非植被信息归为植被，加上人工纠错的不全面性，所以由参照图而计算得到的植被覆盖率虽与实际情况接近，但略有高估。

综上所述，利用植被指数提取的植被信息来计算覆盖率的方法所得结果均与实际情况接近，其中 VDVI的估算结果最为准确，更适合无人机可见光影像的植被覆盖率计算。

2.4 验证试验

为验证该植被覆盖率计算方法的适用性和可靠性，选用与试验图像同一时间拍摄的，该线路另一处塔基区图像，利用同样的植被指数和分类方法获得该区域植被覆盖率和参照图与上述结论相同，EXG 和 VDVI 的提取效果更为良好。以参考图为基准，评估各植被指数提取精度如表 5 所示，精度评价结果显示 VDVI植被提取精度达到 97.47%，与其他植被指数提取结果结果相比，准确度最高。计算得到的植被覆盖率与现场实测结果如表 6 所示，由 VDVI 植被分类结果得到的植被覆盖率与实际数值最为接近。所以利用植被指数提取植被信息提取植被信息的方法可以高效、客观的计算植被覆盖率，且 VDVI 的估算结果较为准确。

表 5 验证试验提取精度评价

植被指数	总正确率/%	Kappa 系数
RGRI	82.04	0.56
EXG	95.90	0.82
VDVI	97.47	0.87
NGBDI	88.68	0.61
NGRDI	87.94	0.65

表 6 验证试验的植被覆盖率结果

植被指数	参照图	RGRI	EXG	VDVI	NGBDI	NGRDI
覆盖率/%	46.82	41.49	43.66	45.51	45.32	42.90

3 讨论与结论

本文利用可见光植被指数 RGRI，VDVI，EXG，NGBDI 和 NGRDI 处理可见光遥感图像，通过设定阈

值,提取植被信息的方法,计算区域植被覆盖率,并与最大似然分类法的参照结果相比较,结果得出利用VDVI得到植被覆盖率与实际最为接近。文中提出的植被覆盖率计算方法可有效提高测算效率,减少人为干预因素,用较小的成本获得较为准确可靠的结果,在水土保持设施验收方面有着广阔的应用前景。

本研究采用双峰直方图法和最大熵值法确定的阈值,在植被密度较低的区域植被信息提取结果不尽理想,若有可根据植被密度分布情况自动化确定阈值的方法,可大大提高植被覆盖率估算的准确度。

[参 考 文 献]

[1] 夏玉慧,王江,辛静.开发建设项目水土保持设施验收技术评估工作面临的问题及其对策[J].水土保持通报,2015,35(3):149-151.

[2] Alistair R, Fabio R, Salah S. Multi-class classification of vegetation in natural environments using an Unmanned Aerial system[C]// Robotics and Automation (ICRA), 2011 International Conference on IEEE, 2011: 2953-2959.

[3] 李冰,刘镕源,刘素红,等.基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测[J].农业工程学报,2012,28(13):160-165.

[4] 雷添杰,李长春,何孝莹.无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J].自然灾害学报,2011,20(1):178-183.

[5] 杨超,苏正安,马菁,等.基于无人机影像快速估算矿山排土场边坡土壤侵蚀速率的方法[J].水土保持通报,2016,36(6):126-130.

[6] 章文波,路炳军,石伟.植被覆盖度的照相测量及其自动计算[J].水土保持通报,2009,29(2):39-42.

[7] 路炳军,刘洪鹄,符素华,等.照相法结合数字图像技术计算植被覆盖度精度研究[J].水土保持通报,2007,27(1):78-80,85.

[8] 邓继忠,任高生,兰玉彬,等.基于可见光波段的无人机超低空遥感图像处理[J].华南农业大学学报,2016(1):16-22.

[9] 张正健,李爱农,边金虎,等.基于无人机影像可见光植被指数的若尔盖草地地上生物量估算研究[J].遥感技术与应用,2016,31(1):51-62.

[10] Verrelst J, Schaepman M E, Koetz B, et al. Angular sensitivity analysis of vegetation indices derived from CHRIS/PROBA data[J]. Remote Sensing of Environment, 2008,112(5):2341-2353.

[11] Mao Wenhua, Wang Yiming, Wang Yueqing. Real-time detection of between-row weeds using machine vision[C]// 2003 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2003.

[12] 汪小钦,王苗苗,王绍强,等.基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J].农业工程学报,2015,31(5):152-159.

[13] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. Remote Sensing of Environment, 1979,8(2):127-150.

[14] 梁华为.直接从双峰直方图确定二值化阈值[J].模式识别与人工智能, 2002,15(2):253-256.

[15] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985,29(3):273-285.

[16] 胡健波,张璐,黄伟,等.基于数码照片的草地植被覆盖度快速提取方法[J].草业科学,2011,28(9):1661-1665.

(上接第 244 页)

[参 考 文 献]

[1] 李婧.淤地坝监测技术初探[J].水土保持通报:2003,23(5):50-52.

[2] 喻权刚,马安利.黄土高原小流域淤地坝监测[J].水土保持通报:2015,35(1):118-123.

[3] 姚进忠,雷升文,张军,等.甘肃省淤地坝建设基本资料汇编[M]//甘肃省水利厅,2013:283-284.

[4] 李莉,王峰,孙维营,等.黄土高原淤地坝水毁问题分析[J].中国水土保持:2014(10):21-22.

[5] 崔少英,包腾飞,裴尧尧,等.基于模糊数学的大坝安全监测数据处理方法[J].水利水电能源科学,2012,30(11):45-46.

[6] 孔金玲,杨笑天,吴哲超,等.基于三维激光扫描技术的高速公路滑坡体建模及应用[J].公路交通科技,2015,132(12):12-13.

[7] 丁点点.三维激光扫描技术在滑坡变形监测中的应用[J].湖南城市学院学报:自然科学版,2016,25(4):3-4.