

园地植被覆盖度的无人机遥感监测研究*

刘峰¹ 刘素红² 向阳²

(1. 西安科技大学测绘科学与技术学院, 西安 710054; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要: 设计构建了基于无人直升机平台的遥感系统,以北京地区园地的板栗为研究对象,对其主要生育期进行监测。基于植被、土壤自身光谱特征差异,提出了一种无人机遥感影像植被覆盖度快速计算方法,利用多时相无人机遥感影像实现了板栗植被覆盖度年变化监测。采用计算机模拟的方式构建模拟场景,对板栗植被覆盖度统计尺度特征进行分析,进一步验证了无人机遥感影像植被覆盖度计算结果的有效性。

关键词: 园地 植被覆盖度 无人直升机 遥感监测 板栗

中图分类号: S127; Q948.15⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0250-08

引言

植被覆盖度(Fractional vegetation cover, FVC, fCover)通常定义为统计范围内植被(包括叶、茎、枝)的垂直投影面积所占的百分比^[1-2],它能够直观地反映陆表植被的生长状况,因而是区域生态系统研究的重要指标,作为生态模型、水文模型、气候预报模型、区域蒸散发模型和陆面过程模型等在内的众多模型的基本输入参数^[3-11],在各个领域有着广泛的应用。就农学领域而言,植被覆盖度能够反映作物的光截获能力,对于作物的生长及产量形成有着很好的指示作用^[12],因而准确实时地获取地表植被覆盖度信息,对于指导农业生产有着重要的意义。

传统的植被覆盖度获取方法通常采用地面测量的方式,如目测估算法、概率计算法、仪器测量法等^[13],此类方法由于受到人力物力的限制,仅能得到有限次数的观测数据,且地面观测范围较小,无法体现植被覆盖度的时空变异特性^[14]。相比而言,近年来逐渐发展起来的卫星遥感技术以其大范围、实时观测的特点,有着不可取代的优势,已经成为植被覆盖度获取的主要手段^[15]。遥感获取植被覆盖度的方法大致可以归纳为以下几类:统计模型法^[16-17]、物理模型法^[18]、混合光谱模型分解法^[19]、林冠密度模型法^[20]以及基于数据挖掘技术的估算方法^[21-22]。其中,NDVI作为表征植被的重要光谱指数,是上述植被覆盖度获取方法中的关键参数,其应用主要集中于统计模型法^[17,23]以及基于混合光

谱模型的像元二分法^[24]。尽管方法众多,但由于卫星遥感本身在很大程度上会受到大气条件的影响,无法确保获得影像的品质,进而会影响到植被覆盖度计算结果的准确性,同时就农田尺度的植被覆盖度变化监测而言,卫星遥感影像的时空分辨率难以同时满足研究需要。

无人机(Unmanned aerial vehicle, UAV)是一种由无线电遥控设备或自身程序装置控制,携带多种任务设备,执行多样任务,能重复使用的无人驾驶飞行器^[25]。无人机遥感具有灵活性高、云下飞行、影像分辨率高、时效性强、成本低等诸多优点,能够作为传统卫星遥感平台的有效补充^[26],就目前发展状况来看,尽管无人机遥感的大部分关键技术仍主要集中在军事应用领域,但由于无人机技术自身所特有的优势,在民用领域的需求正在不断增长^[27],其应用涵盖了资源调查与监测^[28-29]、气象监测^[30-32]、测量^[33-34]以及突发事件处理^[35-36]等多个方面,已取得了一定的研究成果,将其与卫星遥感技术相结合用于植被覆盖度变化监测,与以往单纯依靠卫星遥感技术相比,具有明显的优势。

本文设计构建基于无人直升机平台的低空遥感系统,监测北京地区园地植被覆盖度变化。以板栗为例,开展周期性长期飞行观测实验,利用无人机遥感系统获取的影像,对板栗生育期内植被覆盖度变化进行提取,进而对低空无人机遥感系统用于北京地区园地作物生长监测的可行性进行验证。

收稿日期:2013-11-27 修回日期:2013-12-28

* 国家自然科学基金资助项目(41171262)

作者简介:刘峰,博士生,主要从事植被定量遥感研究,E-mail: liufeng0422@gmail.com

通讯作者:刘素红,副教授,博士生导师,主要从事植被定量遥感研究,E-mail: liush@bnu.edu.cn

1 数据获取与预处理

1.1 无人机遥感系统构建

无人机遥感系统采用无人机作为飞行平台,在平台上搭载数字遥感设备对地表对象进行拍摄和记录以获取遥感影像资料,通过对影像的进一步分析处理,实现地表信息的实时调查与监测^[37]。本研究构建的无人机遥感系统的飞行平台采用遥控汽油无人直升机 Kyosho Caliber ZG(图 1),搭载的数字遥感设备为 ADC Air 冠层测量相机(图 2)。



图 1 遥控汽油直升机 Kyosho Caliber ZG

Fig. 1 Telecontrol gasoline helicopter Kyosho Caliber ZG



图 2 ADC Air 冠层测量相机

Fig. 2 ADC Air canopy measurement camera

Kyosho Caliber ZG 无人直升机体积小,载荷高,起降无需专用场地,非常适用于野外实验的飞行任务,飞行过程中漂移小,可随时空中悬停,有利于遥感影像的获取,其详细性能参数见表 1。ADC Air 冠层测量相机坚固耐用,操作稳定、精度高,可以适应恶劣天气条件,能够满足野外实验的需要,相机包含了可见光与近红外波段,波段设置可用于提取多种常用植被指数(NDVI、SAVI 等),适用于植被冠层相关研究,详细参数见表 2。

1.2 数据获取

实验点选取位于北京市密云县内的板栗种植园(40°35'13.2"N,116°50'3.84"E),如图 3 所示。实验点田块面积约为 100 m × 300 m,田块内板栗规则种植,行距约为 3 m。从 2011 年 4 月至 11 月之间,每隔 1 至 2 周开展一次飞行实验,共计获取 20 期的 1 000 多景影像,覆盖了板栗的各个主要生育期,飞行高度为 50 ~ 100 m,垂直拍摄,部分飞行影像快视

表 1 Kyosho Caliber ZG 性能参数

Tab. 1 Specifications of Kyosho Caliber ZG

参数	数值
发动机	26CC 汽油发动机
主桨长度/mm	1 770
尾桨长度/mm	270
机身长度/mm	1 570
机身宽度/mm	450
全高/mm	740
总质量/kg	6
有效载荷/kg	5
续航时间/min	40
飞行高度/m	500
飞行速度/(km·h ⁻¹)	100
抗风能力	5 级

表 2 ADC Air 相机性能参数

Tab. 2 Specifications of ADC Air camera

参数	数值
尺寸/mm × mm × mm	137 × 90 × 80
质量/g	630
传感器	320 万像素 CMOS 传感器
波段	绿色、红色与近红外波段
镜头	标准 8.5 mm 镜头,多种可选
接口	USB 接口
图像大小/MB	3
采集速度/s	2 ~ 5
输入电压/V	5 ~ 12

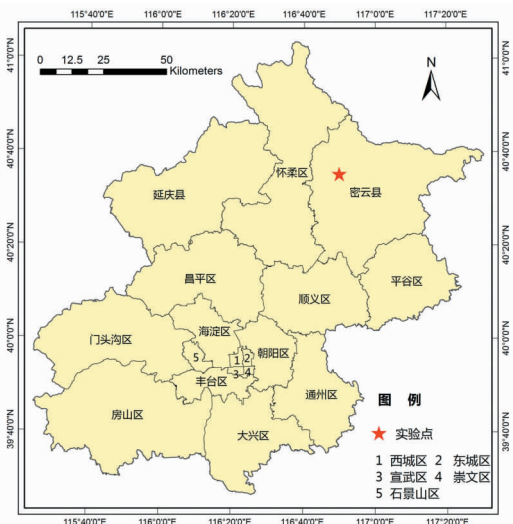


图 3 飞行实验点地理位置

Fig. 3 Location of experimental plot

图见图 4。

1.3 数据预处理

所采用的飞行平台并未搭载 POS 系统,为了减少由于平台自身的不稳定性(包括俯仰、侧滚、偏转等)所导致的图像畸变,首先需要对数据进行筛选,通过目视判读选取地面变形较小的影像进行计算。

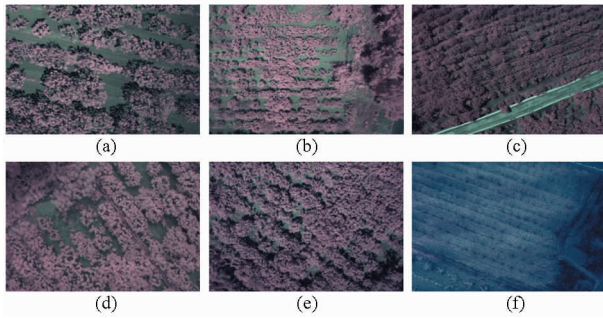


图4 飞行影像快视图(红色为植被)

Fig.4 Quickview of images

(a) 5月13日 (b) 6月3日 (c) 7月3日
(d) 8月12日 (e) 9月2日 (f) 11月6日

ADC Air 相机获取的原始数据为地面目标的 DN 值,数据存储为 raw 格式,影像像素数为 $2\ 048 \times 1\ 536$,采用 Bayer 模式排列,即相机传感器相邻 4 个像素所获得的分别是 3 个不同通道的数据,如图 5 所示。其中, R 、 G 、 B 通道分别对应可见光红、绿波段以及近红外波段,据此编写 IDL 程序对原始数据进行预处理,将 3 个通道的数据分离,具体方法为:将相邻 4 个像素合并为 1 个像素,该像素可见光红波段 DN 值为 R 通道数据,近红外波段 DN 值为 B 通道数据,可见光绿波段 DN 值为 $G0$ 与 $G1$ 通道数据的平均值,然后利用相机自带标准白板采用相对测量方法对数据进行辐射定标,即在相同观测条件下,分别记录地面目标与白板的 DN 值,地面目标的反射率计算式

$$R_i = \frac{D_i}{D_{bi}} R_{bi} \quad (1)$$

式中 R_i ——地面目标第 i 波段反射率
 D_i ——地面目标第 i 波段 DN 值
 D_{bi} ——白板第 i 波段 DN 值
 R_{bi} ——白板第 i 波段反射率

R_{bi} 采用实际测量值,定标结果保存为 3 波段 TIFF 格式文件,影像像素数为 $1\ 024 \times 768$,如图 6 所示。

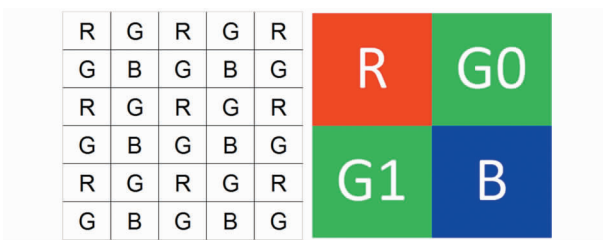


图5 Bayer 模式

Fig.5 Bayer mode

2 板栗植被覆盖度计算

实验点地物单一,仅有植被与土壤两种地物,且由于无人机影像空间分辨率能够达到厘米级,可以

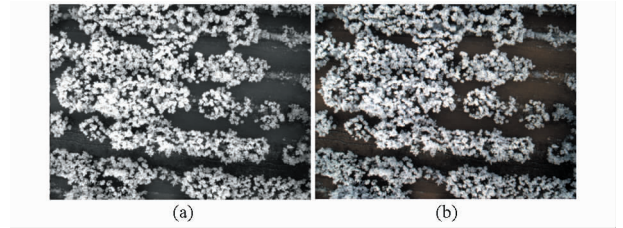


图6 处理前后影像对比

Fig.6 Comparison between processed and unprocessed images

(a) 处理前 (b) 处理后

认为影像中基本不存在混合像元,则根据植被覆盖度的定义,影像植被覆盖度计算式为

$$f = N_{veg} / N_{total} \quad (2)$$

式中 f ——影像的植被覆盖度
 N_{veg} ——影像中植被像元数
 N_{total} ——影像总像元数

对于无人机影像,由于影像中仅包含植被与土壤两种地物,因而像元总数又可表示为

$$N_{total} = N_{veg} + N_{soil} \quad (3)$$

式中 N_{soil} ——影像中土壤像元个数

根据式(2),由于 N_{total} 已知,无人机影像植被覆盖度计算的关键是 N_{veg} 的确定,进一步根据式(3)可知, N_{veg} 的确定实际上等价于植被像元与土壤像元的区分。

通过上述分析,影像植被覆盖度的计算就转化为影像中植被与土壤像元的区分问题。前文中已经提到,由于无人机具有云下低空飞行以及影像空间分辨率高的特点,可以认为无人机影像不受大气条件的影响,且基本避免了影像中的混合像元问题,本研究基于上述假设,通过植被与土壤在不同光谱波段的反射率特征将其加以区分。400 ~ 1 200 nm 波长范围内的植被与土壤光谱特征曲线如图 7 所示。

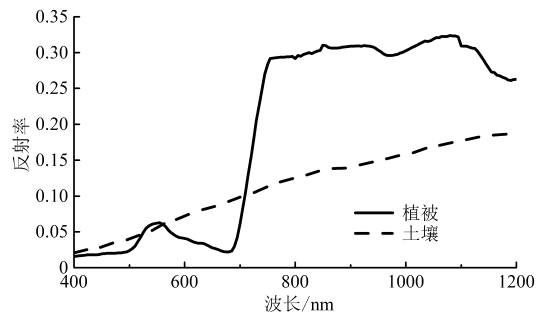


图7 植被与土壤光谱特征比较

Fig.7 Difference of spectral signature between vegetation and soil

从图 7 中可以看到,在 540 nm 波长附近的可见光绿波段存在绿色反射峰;而在 670 nm 波长附近的可见光红波段,属于叶绿素强烈吸收带,因而反射率

很低；在 740 nm 波长附近的近红外波段，植被反射率急剧增加，在 740 ~ 1 200 nm 的近红外波段内形成高反射。对于土壤而言，在可见光到近红外波段反射率曲线“峰谷”变化不十分明显，总的来看土壤反射率是随着波长的增加而逐渐增大，因此在 400 ~ 1 300 nm 波长范围的可见光波段到近红外波段内，植被与土壤光谱反射率变化差别明显，是用于区分植被与土壤的最佳波段^[38]。

根据本研究所采用的 ADC Air 相机的波段设置，上述植被与土壤反射光谱差异分析能够很好地适用于无人机影像。影像植被覆盖度估算流程如图 8 所示，首先在完成影像预处理的基础上，分别统计各个波段的反射率，通过对像元不同波段间的反射率进行比较，进一步判断像元是否为植被。理论上讲，根据植被与土壤的光谱特征曲线，仅比较可见光红波段与绿波段的反射率即可区分植被与土壤，植被绿光波段反射率高于红光波段，土壤则恰好相反，但在实际应用于无人机影像时，由于土壤在绿光、红光、近红外 3 个波段的反射率差异相对较小，受土壤湿度等条件的影响，部分土壤像元存在红光波段反射率低于绿光波段反射率的情况，经过多次尝试，由于植被近红外波段与红光波段反射率的差异远大于土壤，在像元类型判断条件中加入了像元红光波段反射率与近红外波段反射率的比较，从而能很好地将无人机影像中的植被与土壤加以区分。通过上述分析，本研究最终采用的无人机影像植被像元判断条件为：像元绿光波段反射率高于红光波段 ($R_G - R_R > 0$) 且像元近红外波段反射率高于红光波段 ($R_{NIR} - R_R > 0$)，植被提取结果如图 9 所示，最终统计植被像元总数，求取植被像元总数与影像像元总数的比值即为影像植被覆盖度。

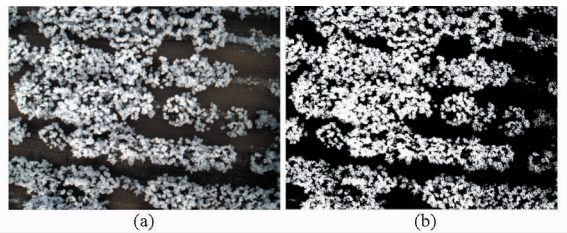


图 9 影像植被像元提取结果

Fig. 9 Results of vegetation pixels extracted from images

(a) 原图 (b) 提取结果

3 板栗植被覆盖度变化监测结果分析

3.1 板栗植被覆盖度变化监测结果

通过前文分析，确定了无人机影像植被覆盖度的计算方法，由于无人机飞行高度的限制，每一幅影像不可能覆盖整个实验地块，为了能够得到更准确客观的植被覆盖度结果，实验点每次飞行的植被覆盖度计算结果均采用空间位置各不相同的多幅影像的平均值。

无人机影像板栗植被覆盖度变化曲线如图 10 所示，从图中可以看到，植被覆盖度变化曲线能够很好地反映板栗在一年内的生长变化。图中，板栗植被覆盖度在 5 ~ 6 月逐渐升高，该时期板栗经历了从展叶期、开花期到果实生长期的 3 个生长阶段，7 ~ 8 月植被覆盖度达到最高，此时板栗处于果实成熟期，9 月初开始，植被覆盖度逐渐降低，到 11 月初，植被覆盖度基本达到最低值，板栗经历了落叶期进入越冬休眠期。

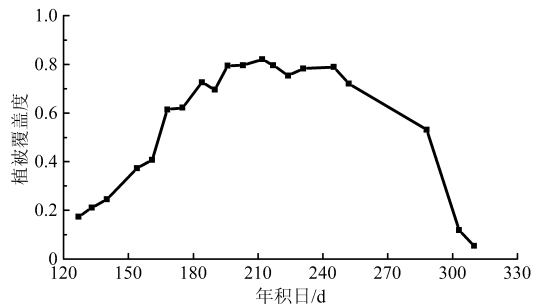


图 10 无人机板栗植被覆盖度变化曲线

Fig. 10 FVC of Chinese chestnut computed by unmanned aerial vehicles

3.2 植被覆盖度统计样方尺度分析

根据植被覆盖度的定义，统计范围大小直接影响着植被覆盖度计算结果，因而在计算植被覆盖度时，有必要对统计样方的选取进行探讨。考虑到实验获取的无人机影像所能代表的统计样方尺度有限，本文采用计算机模拟的方式建立板栗生长的模拟场景，对植被覆盖度统计样方尺度进行分析。具体方法为：①选取处于板栗各主要生育期内 6 d 的无人机影像，如表 3 所示。②从各天的影像中分别

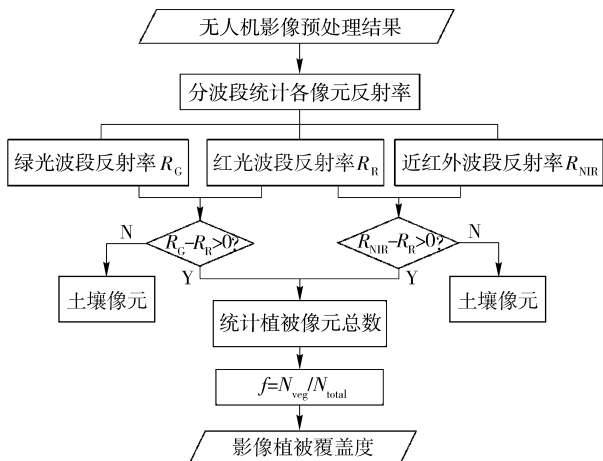


图 8 无人机影像植被覆盖度计算流程

Fig. 8 Flow chart of computing FVC by unmanned aerial vehicles

表 3 影像选取日期

Tab.3 Dates of selected images

生育期	日期	年积日/d
萌芽至展叶期	5月7日	127
展叶至开花期	5月20日	140
开花至果实生长期	6月24日	175
果实生长至成熟期	8月12日	224
落叶至休眠期	10月30日	303
越冬休眠期	11月6日	310

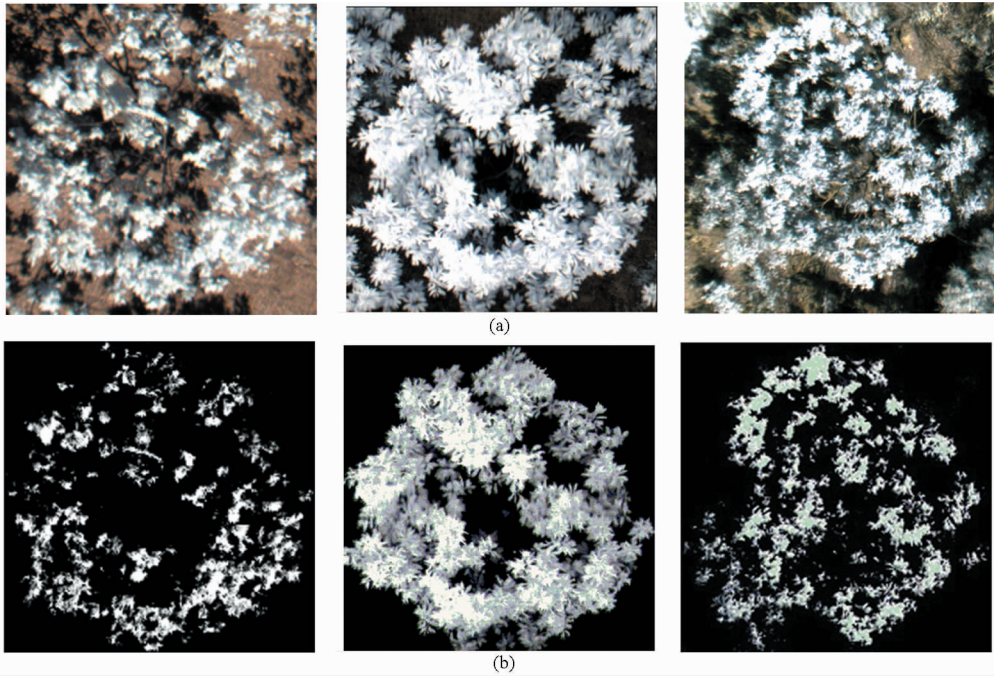


图 11 样本树原图及处理结果

Fig. 11 Original image and processed image of sample tree

(a) 原图 (b) 处理结果

大小 2~4 m, 板栗按行规则排列, 行间距 3 m) 以 3 m 为步长, 构建边长为 3~30 m 的统计样方模拟场景, 最终得到 6 d 的 10 种不同尺度统计样方的模拟场景, 如图 12 所示。模拟场景植被覆盖度计算式为

$$f' = S_{\text{tree}} / (S_{\text{tree}} + S_{\text{black}}) \quad (4)$$

式中 f' ——模拟场景植被覆盖度

S_{tree} ——树的面积 S_{black} ——背景面积

④计算所有模拟场景的植被覆盖度, 其中, 每种场景模拟 10 次, 最终植被覆盖度取其平均值, 计算结果如图 13 所示, 同时对每种场景 10 次计算结果的方差进行统计, 结果如图 14 所示。

根据图 13 的统计结果可以看出, 不同日期模拟场景的植被覆盖度与无人机影像计算结果趋于一致, 植被覆盖度会随着统计样方大小的改变而变化, 与实际情况相符。综合图 13、图 14 的结果, 当统计样方较小时 (≤ 20 m), 随着样方尺度的改变, 植被覆盖度变化相对比较显著, 高植被覆盖度相比低植被覆盖度更为明显, 且每种场景 10 次模拟结果的植

选取 3 棵能够代表当天板栗生长状况的垂直拍摄的板栗树, 将其作为样本, 命名为 T1、T2、T3, 采用 Photoshop CS2 软件对其进行处理, 提取样本树冠, 背景用黑色填充, 如图 11 所示, 可以看到在高分辨率的无人机影像中提取的样本树包含了板栗树冠的内部结构, 因而保证了所构建的模拟场景能够很好地反映板栗的实际生长状况。③将树冠提取结果作为基本单元, 根据实验点板栗实际种植情况 (树冠

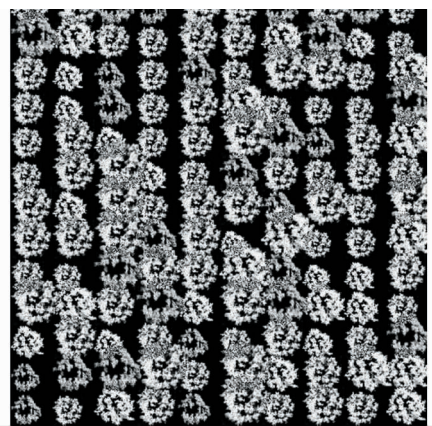


图 12 模拟场景(8月12日, 30 m x 30 m)

Fig. 12 Simulation scenes(August 12th, 30 m x 30 m)

被覆盖度方差较大, 可见植被覆盖度非常不稳定, 不具有代表性; 随着统计样方的增大, 植被覆盖度随统计样方大小变化的显著程度逐渐降低, 每种场景 10 次模拟结果的植被覆盖度方差逐渐减小。当统计样方边长大于 20 m 时, 植被覆盖度随样方大小的变化曲线接近于水平, 植被覆盖度变化已变得不十分明显,

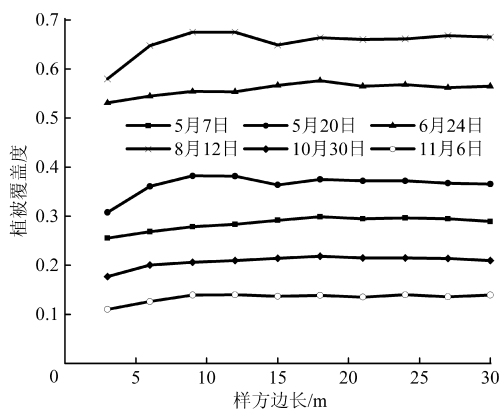


图 13 模拟场景植被覆盖度计算结果

Fig. 13 FVC computed from simulation scenes

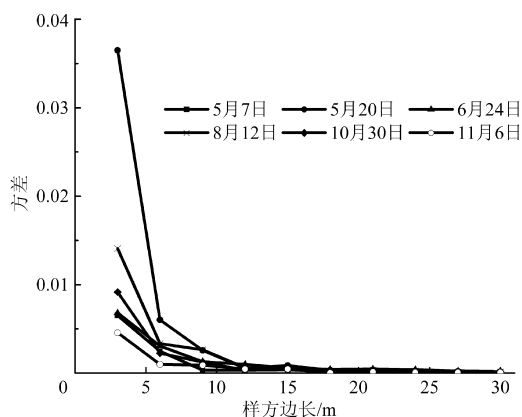


图 14 模拟场景植被覆盖度计算结果方差

Fig. 14 Variance of FVC computed from simulation scenes

且每种场景 10 次模拟结果的植被覆盖度也十分稳定,可见,此时计算得到植被覆盖度已具有一定的代表性。上述结果说明,对于规则分布的板栗树,在计算其植被覆盖度时需要满足一定的统计样方大小,

当样方足够大时,植被覆盖度计算结果将基本稳定,几乎不再与统计尺度及空间位置有关,此时的植被覆盖度计算结果将具有很好的代表性。本研究中采用的无人机影像所覆盖的范围均大于 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$,上述结果也进一步证明了本研究植被覆盖度计算结果的有效性。

4 结论

(1)以遥控无人直升机为飞行平台,搭载冠层测量相机构建了无人机遥感系统,在此基础上,运用该系统以北京市密云区板栗园地为研究对象开展了周期性长期飞行实验,充分发挥了无人机灵活、高时效性、高分辨率等优势,获取了大量板栗主要生育期的无人机遥感影像。

(2)提出了一种基于植被、土壤自身光谱特征的无人机影像植被覆盖度计算方法,该方法通过比较像元各波段反射率,对植被像元与土壤像元进行区分,进而得到影像的植被覆盖度,方法简单快速,便于理解和实现。在此基础上,利用实验获取的多时相数据实现了板栗植被覆盖度年内变化监测,很好地反映了板栗在一年中各个生育期的生长变化情况。此外,采用计算机模拟的方式对板栗植被覆盖度统计尺度特征进行了分析,进一步验证了植被覆盖度计算结果的有效性。

(3)研究表明,无人机遥感系统以其自身所具有的诸多优势,能够作为园地植被覆盖度变化监测的有效手段,有着很好的应用前景。

参 考 文 献

- Purevdorj T S, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(18): 3519 - 3535.
- Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1): 76 - 87.
- Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover [J]. *Remote Sensing Review*, 1994, 9(1-2): 161 - 173.
- de Roo A P J, Wesseling C G. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output [J]. *Hydrological Processes*, 1996, 10(8): 1107 - 1117.
- Marticorena B, Bergametti G. Factors controlling threshold friction velocity in semiarid and arid areas of the United States [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(D19): 23277 - 23287.
- Owen T W, Carlson T N, Gillies R R. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(9): 1663 - 1681.
- Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, FAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70(1): 29 - 51.
- 石生新. 高强度人工降雨条件下影响入渗速率因素的试验研究 [J]. *水土保持通报*, 1992, 12(2): 49 - 54.
Shi Shengxin. A testing study of factors affecting infiltration rate under artificial rainfall with high intensity [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1992, 12(2): 49 - 54. (in Chinese)
- 刘树华, 黄子琛, 刘立超. 土壤-植被-大气连续体中蒸散过程的数值模拟 [J]. *地理学报*, 1996, 51(2): 118 - 126.
Liu Shuhua, Huang Zichen, Liu Lichao. Numerical simulation of the evapotranspiration process in the soil - vegetation -

- atmosphere continuum[J]. *Acta Geographica Sinica*,1996,51(2):118-126. (in Chinese)
- 10 陈云浩,李晓兵,史培军. 中国西北地区蒸发散量计算的遥感研究[J]. *地理学报*,2001,56(3):261-268.
Chen Yunhao, Li Xiaobing, Shi Peijun. Regional evapotranspiration estimation over northwest China using remote sensing[J]. *Acta Geographica Sinica*,2001,56(3):261-268. (in Chinese)
- 11 郭忠升. 水土保持植被建设中的三个盖度:潜势盖度、临界盖度和有效盖度[J]. *中国水土保持*,2000(4):30-31.
- 12 李存军,赵春江,刘良云,等. 红外光谱指数反演大田冬小麦覆盖度及敏感性分析[J]. *农业工程学报*,2004,20(5):159-164.
Li Cunjun, Zhao Chunjiang, Liu Liangyun, et al. Retrieval winter wheat ground cover by short-wave infrared spectral indices in field and sensitivity analysis[J]. *Transactions of the CSAE*,2004,20(5):159-164. (in Chinese)
- 13 秦伟,朱清科,张学霞,等. 植被覆盖度及其测算方法研究进展[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*,2006,34(9):163-170.
Qin Wei, Zhu Qingke, Zhang Xuexia, et al. Review of vegetation covering and its measuring and calculating method[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*,2006,34(9):163-170. (in Chinese)
- 14 高彦华,汪宏清. 遥感技术在土壤侵蚀动态监测中的应用[J]. *中国水土保持*,2004(1):33-34.
- 15 胡明城. 卫星遥感技术的发展和最新成就[J]. *测绘科学*,2000,25(1):25-28.
Hu Mingcheng. An historical account of satellite remote sensing and its recent advance[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2000,25(1):25-28. (in Chinese)
- 16 Graetz R D, Pech R R, Davis A W. The assessment and monitoring of sparsely vegetated rangelands using calibrated Landsat data [J]. *International Journal of Remote Sensing*,1988,9(7):1201-1222.
- 17 苏琦,杨凤海,王明亮. 基于 TM 遥感数据的大庆市植被覆盖变化分析[J]. *国土资源科技管理*,2010,27(2):109-113.
Su Qi, Yang Fenghai, Wang Mingliang. An analysis of vegetation coverage change of Daqing city based on TM remote sensing data[J]. *Scientific and Technological Management of Land and Resources*,2010,27(2):109-113. (in Chinese)
- 18 Scarth P, Phinn S. Determining forest structural attributes using an inverted geometric-optical model in mixed eucalypt forests, Southeast Queensland, Australia[J]. *Remote Sensing of Environment*,2000,71(2):141-157.
- 19 廖春华,张显峰,刘羽. 基于多端元光谱分解的干旱区植被覆盖度遥感反演[J]. *应用生态学报*,2012,23(12):3243-3249.
Liao Chunhua, Zhang Xianfeng, Liu Yu. Remote sensing retrieval of vegetation coverage in arid areas based on multiple endmember spectral unmixing[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2012,23(12):3243-3249. (in Chinese)
- 20 李晓琴,孙丹峰,张凤荣. 北京山区植被覆盖率遥感制图与景观格局分析——以门头沟区为例[J]. *国土资源遥感*,2003(1):23-28.
Li Xiaoqin, Sun Danfeng, Zhang Fengrong. The application of remote sensing and landscape pattern analysis to vegetation coverage mapping in mountain areas of Beijing: a case study of Mentougou District[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2003(1):23-28. (in Chinese)
- 21 陈涛,牛瑞卿,李平湘,等. 基于人工神经网络的植被覆盖遥感反演方法研究[J]. *遥感技术与应用*,2010,25(1):24-30.
Chen Tao, Niu Ruiqing, Li Pingxiang, et al. An artificial neural network method for vegetation cover retrieval with "Beijing-1" microsatellite data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*,2010,25(1):24-30. (in Chinese)
- 22 Hansen M C, DeFries R S, Townshend J R, et al. Development of a MODIS tree cover validation data set for Western Province, Zambia[J]. *Remote Sensing of Environment*,2002,83(1-2):320-335.
- 23 Purevdorj T S, Tateishi R, Ishiyama T, et al. Relationships between percent vegetation cover and vegetation indices [J]. *International Journal of Remote Sensing*,1998,19(18):3519-3535.
- 24 刘玉安,黄波,程涛,等. 基于像元二分模型的淮河上游植被覆盖度遥感研究[J]. *水土保持通报*,2012,32(1):93-97.
Liu Yu'an, Huang Bo, Cheng Tao, et al. Vegetation coverage in upper Huaihe River basin based on binary pixel model of remote sensing[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*,2012,32(1):93-97. (in Chinese)
- 25 吕厚谊. 无人机发展与无人机技术[J]. *世界科技研究与发展*,1998,20(6):113-116.
Lü Houyi. Development and technology of UAV[J]. *World Sci-tech Research & Development*,1998,20(6):113-116. (in Chinese)
- 26 曾毅. 无人机遥感影像数据库研究与实现[D]. 长沙:中南大学,2011.
- 27 王峰,吴云东. 无人机遥感平台技术研究与应用[J]. *遥感信息*,2010(2):114-118.
Wang Feng, Wu Yundong. Research and application of UAS borne remote sensing[J]. *Remote Sensing Information*,2010(2): 114-118. (in Chinese)
- 28 朗城. 无人机在区域土地利用动态监测中的应用[D]. 西安:西安科技大学,2011.
- 29 孟庆志,李平. 无人机在水环境监测中的航迹规划[J]. *传感器与微系统*,2012,31(11):58-60,66.
Meng Qingzhi, Li Ping. Path planning of UAV in water environmental monitoring[J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2012,31(11):58-60,66. (in Chinese)
- 30 Holland G J, McGeer T, Youngren H. Autonomous aerosondes for economical atmospheric soundings anywhere on the globe bulletin[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*,1992,73(12):1987-1998.
- 31 Inoue J, Curry J A. Application of aerosondes to high-resolution observations of sea surface temperature over Barrow Canyon[J]. *Geophysical Research Letters*,2004,31(14):1-4.

- 32 沈怀荣, 邵琼玲, 王盛军. 基于微小型无人机的气象探测有效载荷研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2006, 17(5): 102 - 106.
Shen Huairong, Shao Qiongling, Wang Shengjun. Research on the meteorological-exploring payload based on a min-UAV[J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2006, 17(5): 102 - 106. (in Chinese)
- 33 郑团结, 王小平, 唐剑. 无人机数字摄影测量系统的设计和应用[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(5): 613 - 615, 627.
Zheng Tuanjie, Wang Xiaoping, Tang Jian. Design and application of digital photographic system based on the unmanned aircraft [J]. Computer Measurement & Control, 2006, 14(5): 613 - 615, 627. (in Chinese)
- 34 史占军, 于志忠, 郭志强. 无人机摄影测量在 1:2000 地形图的应用[J]. 吉林地质, 2011, 30(3): 133 - 136.
- 35 周洁萍, 龚建华, 王涛, 等. 汶川地震灾区无人机遥感影像获取与可视化管理系统研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 877 - 884.
Zhou Jieping, Gong Jianhua, Wang Tao, et al. Study on UAV remote sensing image acquiring and visualization management system for the area affected by 5·12 Wenchuan earthquake [J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(6): 877 - 884. (in Chinese)
- 36 马瑞升, 杨斌, 张利辉, 等. 微型无人机林火监测系统的设计与实现[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(5): 783 - 789.
Ma Ruisheng, Yang Bin, Zhang Lihui, et al. Design and implementation of a forest fire monitoring system using a miniature unmanned aerial vehicle[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2012, 29(5): 783 - 789. (in Chinese)
- 37 李冰, 刘榕源, 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.
Li Bing, Liu Rongyuan, Liu Suhong, et al. Monitoring vegetation coverage variation of winter wheat by low-altitude UAV remote sensing system[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(13): 160 - 165. (in Chinese)
- 38 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- 39 孙刚, 万华伟, 王昌佐, 等. 蒙陕甘宁能源金三角植被覆盖遥感监测与动态分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(增刊 2): 247 - 250.
Sun Gang, Wan Huawei, Wang Changzuo, et al. Vegetation monitoring and analyzing of golden triangle energy in Inner Mongolia, Shaanxi, Gansu, and Ningxia region[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 2): 247 - 250. (in Chinese)

Study on Monitoring Fractional Vegetation Cover of Garden Plots by Unmanned Aerial Vehicles

Liu Feng¹ Liu Suhong² Xiang Yang²

(1. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

2. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: A remote sensing system based on the unmanned aerial vehicles (UAV) was designed and established. The garden plot in Beijing was selected as a research object and the major growing period of Chinese chestnut was monitored. Based on this system, the experiment monitoring for the major growing period of Chinese chestnut was achieved and a large number of high resolution images was obtained. The preprocessing including selecting, band separation and calibration and so on was made and finally three main band (red, green, near infrared) reflectance data of Chinese chestnut in the major growing period was generated. According to the analysis of difference for spectral signature between vegetation and soil in the band range of 400 ~ 1 200 nm, the ratio of total number of vegetation pixels was counted for the imaging range, that was fractional vegetation cover (FVC). The fractional vegetation cover of unmanned aerial vehicles images could be computed rapidly. The annual variation of fractional vegetation cover for Chinese chestnut was monitored using multi-temporal unmanned aerial vehicles remote sensing images. The simulation scenes were formed by computer simulation method and the characteristic of statistics scale for Chinese chestnut fraction vegetation cover was analysed. The availability and effectiveness of the fractional vegetation cover computed from remote sensing images of unmanned aerial vehicles were validated.

Key words: Garden plots Fractional vegetation cover Unmanned aerial vehicles Monitoring Chinese chestnut