

基于无人机遥感影像的冬小麦倒伏面积信息提取

董锦绘^{1,2,3}, 杨小冬², 高林^{1,2}, 王宝山¹, 王磊^{1,2}

(1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 3. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要:倒伏是农业生产中造成减产、作物品质降低的主要原因, 基于无人机飞控平台农情监测系统的灾情严重程度实时监测以及及时采取防治措施提供科学依据。以人工目视解译统计得到的倒伏面积作为判别依据, 通过对比最小距离法、最大似然法、神经网络、支持向量机四种监督分类方法对单张无人机影像的分类效果, 择优用于无人机拼接数码影像, 估算江苏里下河地区小麦倒伏面积。结果表明: 最小距离法、最大似然法、神经网络、支持向量机四种方法的分类精度分别为 63.57%、98.15%、81.13%、85.04%, 最大似然分类法得到的精度最高, 其运算速度也最快, 与无人机遥感平台农情监测系统快速、便捷的需求相符。将最大似然法应用于整张拼接影像, 监测得到倒伏像元个数为 7 183 950, 估算面积为 353.810 8 m², 与人工目视解译结果的误差为 7.43%, 突出了无人机在信息获取方面方便、快捷的特点, 表明搭载数码相机无人机遥感平台对农情监测有一定可行性, 可以为精准农业深入开展提供新的契机。

关键词: 无人机遥感平台; 农情监测; 倒伏信息提取; 精准农业

中图分类号: S127; S512 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2016)10-0147-06 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2016.10.0147

倒伏是小麦种植比较常见的一种农业灾害, 其对小麦产量和品质都有一定影响其发生往往会引发一系列问题, 如植株水分、养分运转缓慢、叶片光合效率降低以及病虫害, 进而影响穗粒数和粒重, 造成减产。因此, 及时准确地监测小麦倒伏状况是掌控灾情、制定灾后生产管理和防控措施以及评估产量损失的关键。然而, 传统的倒伏信息获取方法(人工法)需要调查人员深入灾区测量倒伏面积和位置, 对大面积倒伏灾害来说, 其较低的工作效率往往无法满足实际需求。遥感技术的快速发展为大范围、快速监测倒伏面积提供了一种切实可行的手段, 刘良云等^[1]基于田间倒伏小麦的光谱变化, 提出归一化植被指数的倒伏监测模型, 并成功应用于 TM 影像的小麦倒伏监测; 杨浩等^[2]基于对 Radarsat-2 全极化影像中倒伏小麦与正常小麦在不同时间和极化下的雷达后向散射动态响应规律, 提出雷达极化指数监测小麦倒伏, 并取得了较好效果; 然而, 因卫星固定的过境地点、过长的重访周期以及影响分辨率不足等

原因往往造成倒伏区域可用的数据匮乏和统计的倒伏面积不准确。近些年, 科技的迅猛发展以及民用无人机生产商的大力推行, 多款轻型无人机出现在公众视野, 它机动灵活、起飞条件不受天气、地形影响的优势得到人们的肯定, 而基于无人机遥感的农业应用也相继得到报道, Aasen 等^[3]利用多旋翼电动无人机平台搭载 Cubert UHD185-Firefly(www.cubert-gmbh.de)画幅成像光谱仪对大麦种植区进行了数据采集, 基于处理得到的 3D 高光谱数据估测作物理化参数; 高林等^[4]对大豆试验田开展了无人机遥感农情监测, 基于 ADC Lite(www.tetracam.com)多光谱相机获取的大豆多光谱影像估测大豆叶面积指数。因此, 开展无人机载多或高光谱遥感的作物倒伏监测应能取得较好的效果; 然而, 如 Cubert UHD185-Firefly 画幅成像光谱仪(约合 80 万人民币)和 ADC Lite 多光谱相机(约合 3 万人民币)这样的轻量型光谱传感器过于高昂, 限制了无人机遥感作物倒伏监测技术的推广; 而最近 Feng 等^[5]报道的利用无人机高清数码影像开展城市绿化监测的试验方案为基于无人机数码影像的作物倒伏面积监测提供了新的思路。

本文尝试将数码相机搭载于无人机遥感平台上构建一套高性价比的无人机遥感监测系统, 基于获取到的高清冬小麦倒伏区遥感影像, 提取倒伏面积, 以期为田块尺度农业管理提供准确的依

收稿日期: 2016-08-05

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2013AA102303)

第一作者简介: 董锦绘(1990-), 女, 山西省长治县人, 在读硕士, 从事遥感图像处理、农业病虫害监测相关技术研究。E-mail: djh0528@126.com。

通讯作者: 杨小冬(1977-), 男, 湖北省潜江市人, 博士, 副研究员, 从事农业病虫害传播机理与模型研究。E-mail: yangxd@nercita.org.cn。

据。目前,此方面的研究还比较少。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

无人机遥感监测试验于 2014 年 5 月在江苏省扬州市里下河地区农业科学研究所小麦科实验基地开展。地理范围位于 N32°26',E119°31'。研究区属亚热带湿润气候,四季分明,气候温和,年降水量 961~1 048 mm,年日照时数 1 896~2 182 h,主要农作物为水稻、油菜。

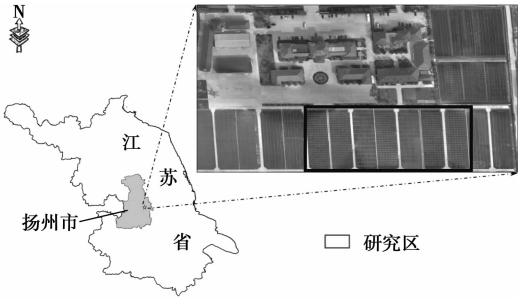


图 1 研究区地理位置
Fig. 1 Location of the experiment field

1.2 数据获取

本试验采用的无人机遥感系统主要包括:六旋翼电动无人机遥感平台(图 2 所示,机身直径 120 cm,机体总质量为 6 kg,最大有效荷载为 3.5 kg,最大飞行速度为 10 m·s⁻¹,续航时间为 15 min,最大飞行高度为 1 500 m)、飞行控制系统、惯性测量单元、无线遥控系统、地面站控制系统以及佳能 PowerShot G16 高清数码相机(主要参数见表 1)。在天气晴朗无云时进行无人机遥感试验,航高 50 m,飞行速度 3 m·s⁻¹。



图 2 多旋翼无人机
Fig. 2 Multi- rotor UAV

表 1 数码相机主要参数
Table 1 Parameters of digital camera

型号 Model	传感器尺寸/mm CCD size	焦距长度/mm Focal length	像素个数 Pixel number	瞬时视场角 Instantaneous field of view	地面分辨率/m Ground resolution
Canon PowerShot G16	7.530×5.647	6	4000×3000	64°13'00"	0.016(航高 50 m)

1.3 数据处理

基于无人机遥感影像的冬小麦倒伏面积提取主要包括无人机数码影像拼接和冬小麦倒伏面积提取两部分,技术路线见图 3。

无人机数码影像拼接采用俄罗斯 Agisoft 公司研发的 3D 扫描软件 Agisoft PhotoScan (www.agisoft.com)进行。将数码影像及其对应的 POS(Positioning Orentation System)数据导入,利用动态结构算法(Structure from motion algorithm,SFM)匹配影像重叠区域特征点对,通过密集多视角立体匹配算法(Dense multiview stereo algorithms,MVS)对影像进行定向点云提取,构建影像纹理,生成 DEM(Digital elevation model)和 DOM(Digital orthophoto map)。

遥感影像分类,是遥感影像特征识别的有效技术手段之一,是基于拼接生成的数字正射影像开展冬小麦倒伏面积提取工作的基础。监督分类又称为训练分类法^[6],本研究主要对最小距离法、

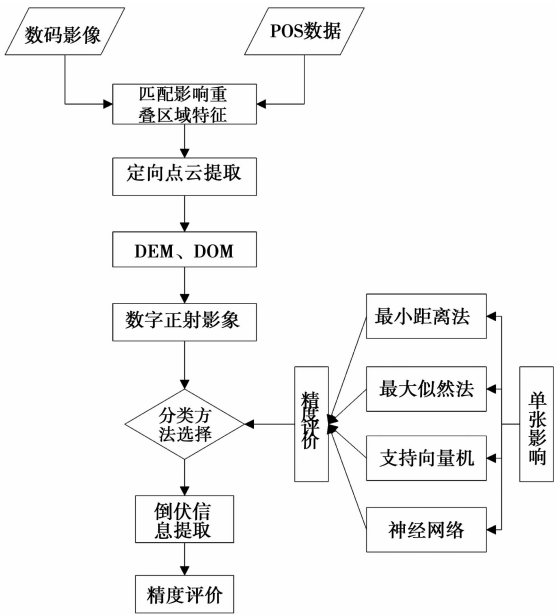


图 3 技术路线
Fig. 3 Schematic diagram of technical process

最大似然法、神经网络和支持向量机分类精度进行对比。

表 2 分类方法原理对比

Table 2 Classification method principle comparison

方法 Method	定义 Defintion	原理 Theory
最小距离法 Minimum distance	求出未知类别向量到要识别各类别代表向量中心点的距离,将未知类别向量归属于距离最小一类的一种图象分类方法	$d(x,y)=\sqrt{\sum_{i=1}^d(x_i-y_i)^2}$ <p>当:$d(x,\mu_A)<d(X,\mu_B)$时,x 属于 A; $d(x,\mu_A)>d(X,\mu_B)$时,x 属于 B。</p>
最大似然法 Maximum likelihood	假设每一个波段的每一类统计都呈正态分布,计算给定像元属于某一训练样本的似然度,像元最终被归并到似然度最大的一类中。	贝叶斯公式: $g_i(x)=P(w_i x)=P(x w_i)P(w_i)/P(x)$ <p>式中,$P(w_i x)$为x属于w_i的概率,$P(x w_i)$为似然概率,表示在w_i这一类中出现像元x的概率,$P(x)$为变量x与类别无关情况下出现的概率。</p>
神经网络法 Neural net	用计算机模拟人物结构,用许多小的处理单元模拟生物的神经元,用算法实现人脑的识别、记忆、思考过程应用于图象分类。	神经元的输入与输出间关系: $y=f(\sum_{i=0}^{n-1}W_ix_i-\theta)$ <p>式中,f为非线性变换函数,x_i为第i个输入元素,W_i为从第i个输入与处理单元间的互联权重;θ为处理单元的内部阈值;y为处理单元的输出。</p>
支持向量机 Support vector machine	一种自动寻找对分类有较大区分能力的支持向量,由此构造出分类器,将类与类之间的间隔最大化的机器学习方法。	线性判别函数: $g(x)=w^Tx+w_0$ <p>当$g(x)>0$时,x属于A类; 当$g(x)<0$时,x属于B类。</p>

1.4 精度评价

本研究采用各类地物地表真实感兴趣区 ROI 作为参考数据,与分类后影像中各类别的像元个数形成比较阵列,计算混淆矩阵。参考数据 ROI 来源于对研究区高分辨率影像的目视解译,并且通过现场实地调查数据对所采用的 ROI 进行了验证,ROI 中各类地物的可分离系数均大于 1.8。混淆矩阵是精度评价的核心方法,不仅可以描述分类精度,又表明了类别间的混淆性。针对误差矩阵的基本统计量包括:总体精度、用户精度、制图精度。Kappa 系数采用另一种离散的多元技

术,考虑了矩阵所有因素,用以综合评价分类的质量,其公式为:

$$K_{\text{hat}}=\frac{N\sum_{i=1}^rx_{ii}-\sum_{i=1}^r(x_{i+}x_{+i})}{N^2-\sum_{i=1}^r(x_{i+}x_{+i})}$$

式中, r 为误差矩阵中总列数(即总的类别数); x_{ii} 为误差矩阵中第 i 行、第 i 列上像元数量(即正确分类的数目); x_{i+} 和 x_{+i} 分别为第 i 行和第 i 列的总像元数量; N 为总的用于精度评估的像元数量。

表 3 误差矩阵统计量

Table 3 Error matrix statistics

名称 Appellation	定义 Definition	公式 Formula
总体精度 Allover accuracy	对每一个随机样本,所分类的结果与地面所对应区域的实际类型相一致的概率	$p_c=\sum_{k=1}^np_{kk}/p$
用户精度 User accuracy	从分类结果中任取一个随机样本,其所具有的类型与地面实际类型相同的条件概率	$p_{u_i}=p_{ii}/p_{i+}$
制图精度 Mapping accuracy	相对于地面获得的实际资料中的任意一个随机样本,分类图上同一地点的分类结果与其相一致的条件概率	$p_{A_j}=p_{jj}/p_{+j}$

2 结果与分析

2.1 分类方法选择

为了选择出一种操作最为简捷、精度最高,最有利于推广无人机农情监测的地物分类算法,本研究选择监督分类中使用频次最高的最大似然法、神经网络法、最小距离法以及支持向量机对获取的单张影像分别进行分类处理(见图 4)。

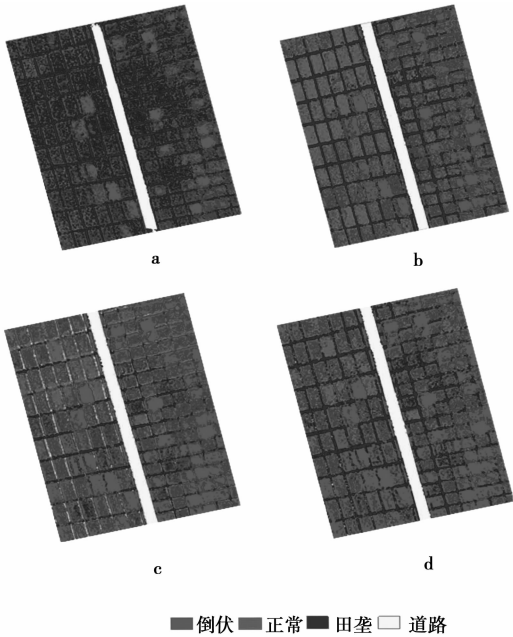


图 4 监督分类结果及图例

Fig. 4 Supervised classification and legend

表 4 中 4 种监督分类方法均使用同一组训练样本,从中可知,最大似然分类方法精度最高,支持向量机次之,最小距离法精度最低。支持向量机虽然也取得了较高的精度,但其原理是将向量映射至高维空间,建立最大间隔超平面来面对数

表 4 分类结果精度

Table 4 Accuracy classification

分类方法 Classification	结果编号 Result number	整体精度/% Overall accuracy	Kappa 系数 Kappa coefficient
最小距离 Minimum distance	a	63.57	0.55
最大似然 Maximum likelihood	b	98.15	0.97
神经网络 Neural net	c	81.13	0.76
支持向量机 Support vector machine	d	85.04%	0.81

据进行分类,计算复杂,运算速度较慢,影响分类速度。最小距离法和神经网络(ANN)算法也都是性能非常优良的算法,但是其分类效果更为依赖训练样本,要求训练样本的像元非常纯净,而实际地物中难以满足这一需求,且这两种算法的运算速度也较慢。因此,选用最大似然法对拼接完成的正射影像进行分类处理。

2.2 最大似然分类处理

最大似然分类(maximum likelihood classification)基于先验知识,根据训练样本的均值和方差来评价其它像元和训练类别间的相似性^[6],是监督分类算法中最为常用的方法之一。喻小倩等^[7]采用线性光谱混合分解和最大似然分类相结合的方法,对宁夏红寺堡灌区的土地覆盖情况进行了分类,取得了一定精度。刘怀鹏等^[8]基于呼和浩特 WorldView-II 数据,利用最大似然法对影像分类,识别了呼和浩特市绿化树种,并取得了高度一致性。梁友嘉等^[9]基于高分辨率卫星 SPOT-5 影像,使用最小距离法、马氏距离法、最大似然法、SAM、SVM 等算法,识别了张掖市灌区作物分布状况,与其它方法相比,最大似然法取得了最高精度。本研究利用 ENVI 软件中的最大似然分类流程化工具,以提前建立好的 ROI 感兴趣区为训练样本,对多旋翼无人机获取的高清数码影像进行了最大似然分类,并对分类图像做了分类后处理。

从混淆矩阵的计算结果(见表 5)看出,整体分类精度达到了 96.7%,Kappa 系数为 0.93,用户精度和制图精度均达到 90%以上,错分、漏分误差均小于 10%。在原始影像中,虽然地物类别比较简单,但小麦种植区域中,倒伏和正常生长的小麦之间,往往交叉点较多,田间田垄的位置往往也会有植被覆盖交叠,由于该影像获取时,处于小麦生长的灌浆后期,许多麦穗都已经被果实压弯,影像垂直获取时,易将正常小麦误认为倒伏,且该影像仅仅为数码相片,未含有作物光谱等特征信息,只能有图片自身的 RGB 特征来分辨识别地物。这些都是容易造成错分、漏分的因素。虽然整幅影像的整体分类精度略低于单张影像,但整体分类效果仍然非常良好,能够反映田间地物真实情况,可以用于倒伏信息的统计,整幅影像的总像元数为 66 075 027,由分类统计得知,倒伏小麦像元数量为 7 183 950,占总像元数的 10.87%,大约面积为 353.801 8 m²。

表 5 最大似然分类精度结果
Table 5 Maximum likelihood classification accuracy results

类别 Class		倒伏 Lodging	非植被 Novege	正常 Normal	总计 Total
真实地表 Ground Truth 像元(Pixels)	未分类 Unclassified	52	0	140	192
	倒伏 Lodging	24619	0	1292	25911
	正常 Normal	576	0	36052	36628
	非植被 Noovege	6	2513	66	2585
	总计 Total	25253	2513	37550	65316
真实地表 Ground Truth 百分比(Percent)	未分类 Unclassified	0. 21	0	0. 37	0. 29
	正常 Normal	97. 49	0	3. 44	39. 76
	倒伏 Lodging	2. 28	0	96. 01	56. 08
	非植被 Novege	0. 02	100. 00	0. 18	3. 96
	总计 Total	100. 00	100. 00	100. 00	100. 00
类别 Class	错分误差/% Commission	漏分误差/% Omission	错分像元 Commission(Pixels)	漏分像元 Omission(Pixels)	
倒伏 Lodging	4. 99	2. 51	1292/25911	634/25253	
正常 Normal	1. 57	3. 99	576/36628	1498/37550	
非植被 Novege	2. 79	0. 00	44/17207	0/2513	
类别 Class	制图精度/% Prod. Acc.	用户精度/% User Acc.	制图精度 Prod. Acc. (Pixels)	用户精度 User Acc. (Pixels)	
倒伏 Lodging	97. 49	95. 01	24619/25253	24619/25911	
正常 Normal	96. 01	98. 43	36052/37550	36052/36628	
非植被 Novege	100. 00	97. 21	2513/2513	2513/2585	

整体精度 Overall Accuracy=(63184/65316) =96.735 9%
Kappa 系数 Kappa Coefficient=0.937 6

3 结论与讨论

本研究采用多旋翼无人机搭载高清数码相机构成的小麦倒伏农情监测系统,针对江苏里下河地区农科所实验基地小麦倒伏较为严重的区域进行了监测。研究结果表明,无人机搭载高清数码相机所获得的影像数据针对小区域尺度的麦田倒伏情况,有非常精确的监测结果;多旋翼无人机无需跑道,起降安全性很高,操作方便快捷;以高清数码相机为传感器,地物分辨率高,能够直观得对农作物生长情况进行观测,且数码相机的价格与其它传感器相比较为实惠,降低了农情观测的成本,有利于在全国范围内推广遥感农情监测。小麦生产常常受到倒伏的威胁,倒伏不仅会对小麦收获产量造成极为严重的减产,而且也会降低小麦的籽粒品质^[11-12],高精度的倒伏监测结果可以为及时防治小麦倒伏奠定良好的基础。

精准农业是伴随着农业信息化的发展而提出

的一种全新的农业微观经营管理的思想,精准农业的目标是在区域内以最少的资源消耗和最优化的变量投入,实现最佳的产量、最优的品质、最低的农业环境污染和合理的生态环境,达到社会、经济、资源、环境协调,最终实现农业的可持续发展。基于高清数码相机的多旋翼无人机遥感监测系统,以最为简洁的设备快速、准确的获取了小麦的倒伏信息,遵循了精准农业可操作性强、保持生态系统的整体性^[13]的基本原则。

虽然该研究取得了不错的效果,但仍然存在一些问题:(1)只能针对小区域范围内地物类别较少、容易区分的情况,想要真正做到大范围的推广,还需要进一步提高该监测系统的普适性;(2)数码影像数据的分类处理采用了最大似然法,该方法的分类精度依赖于建立的 ROI 的像元的纯度,需要操作人员有丰富的人工解译经验且对现场情况非常了解。

参考文献:

- [1] 刘良云,王纪华,宋晓宇,等.小麦倒伏的光谱特征及遥感监测[J].遥感学报,2005(3):323-327.
- [2] 杨浩,杨贵军,顾晓鹤,等.小麦倒伏的雷达极化特征及其遥感监测[J].农业工程学报,2014(7):1-8.
- [3] Aasen H,Burkart A,Bolten A,et al. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,2015,108: 245-259.
- [4] 高林,杨贵军,王宝山,等.基于无人机遥感影像的大豆叶面积指数反演研究[J].中国生态农业学报,2015,23(7): 868-876.
- [5] Feng Q,Liu J,Gong J. UAV Remote sensing for urban vegetation mapping using Random Forest and texture analysis[J]. Remote Sensing,2015,7(1): 1074-1094.
- [6] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]北京:科学出版社,2003:160-168.
- [7] 喻小倩,刘娜,李红,等.基于线性光谱混合分解和最大似然分类相结合的土地覆被分类——以红寺堡灌区为例[J].国土资源遥感,2010(1):96-100.
- [8] 刘怀鹏,安慧君.利用最大似然法识别呼和浩特市绿化树种[J].东北林业大学学报,2014(7):157-160,169.
- [9] 梁友嘉,徐中民.基于SPOT-5卫星影像的灌区作物识别[J].草业科学,2013(2):161-167.
- [10] Setter T L,Laureles E M,azaredo A M. Lodging reduces yield of rice by self-shading and reductions incanopy photosynthesis[J]. Field Crops Research, 1997, 49 (2/3): 95-106.
- [11] Jackson L F,Wennig R W. Use of wheat cultivarbl ends to improve grain yield and quality and reducedisease and lodging[J]. Field Crops Research,1997,52(3):261-269.
- [12] Webster J R,Jackson L F. Management practices to reduce lodging and maximize grain yield and protein content of fall,so wnirrigated hardred spring wheat[J]. Field Crops Research,1993,33(3):249-259.
- [13] 刘金铜,陈谋谔,蔡虹,等.我国精准农业的概念、内涵及理论体系的初步构建[J].农业系统科学与综合研究,2001(3):180-182.

Information Extraction of Winter Wheat Lodging Area Based on UAV Remote Sensing Image

DONG Jin-hui^{1,2,3}, YANG Xiao-dong^{2,3}, GAO Lin^{1,2}, WANG Bao-shan¹, WANG Lei^{1,2}

(1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000; 2. Beijing Research Center For Information Technology For Agricultural, Beijing 100097; 3. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097)

Abstract: Lodging is one of the common disasters in agricultural production, it can make the crop yield and quality decrease, resulting in production and harvest. Real time monitoring of lodging can take preventive measures timely, to minimize the impact on yield. The UAV equipped with digital cameras to form agricultural monitoring system of remote sensing platform was adopted to capture the winter wheat lodging digital image in late filling stage of 2014 in Jiangsu Yangzhou Lixiahe region, four supervised classification methods for single wheat lodging classification accuracy were compared with the minimum distance method, maximum likelihood method, neural network and support vector machine. The results showed that the classification accuracy of minimum distance method, maximum likelihood method, neural network and support vector machine were 63.57%, 98.15%, 81.13% and 85.04%, the maximum likelihood method had the highest precision and the fastest computing speed, which could meet remote sensing platform agricultural condition monitoring system with fast and convenient. Therefore, maximum likelihood classification algorithm was used to extract the information of 2014 grain filling stage of winter wheat mosaic lodging area, stitching monitoring lodging pixel number was 7 183 950 and area estimation was 353.810 8 m², and artificial visual solution error translation result was 7.43%, the UAV in the information acquisition aspects, fast and convenient features was highlighted, that was equipped with digital camera without man-machine remote sensing platform feasibility of agricultural condition monitoring to provide a new opportunity for precision agriculture development.

Keywords: UAV remote sensing platform; crop monitoring; lodging information extraction; precision agriculture