

基于图像识别的作物分类种植面积车载测算系统设计

马 蓉¹, 毛恩荣¹, 杨邦杰², 焦险峰², 王素霞¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业工程研究设计院农业部农业资源监测总站, 北京 100026)

摘 要: 获取作物种植面积是农情监测的主要工作。车载系统进行作物面积测算是作物面积抽样调查的方法之一。文章提出了一种基于图像识别的作物分类种植面积车载测算系统 CAOES (Crop Acreage Onboard Estimation System), 分析了其原理与组成, 并进行了系统面积测算的视觉测距模型的推导和试验验证。试验验证结果表明: 1) 镜头焦距定为 8mm 能够兼顾纵向视野和图像细节两方面的要求; 2) 光圈和曝光系数通过软件自适应调节可以满足图像分析需求; 3) 经验测距模型较之二次多项式回归模型相关系数更大, 预测更稳定; 4) 该系统用于作物面积抽样调查可进一步降低野外调查结束后的工作量, 并最大限度地减少人为因素的影响, 提高调查的客观性和时效性。

关键词: 作物面积监测; 抽样调查; 视觉测距; 试验设计; 非线性回归

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)12-0103-05

马 蓉, 毛恩荣, 杨邦杰, 等. 基于图像识别的作物分类种植面积车载测算系统设计[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 103-107.

Ma Rong, Mao Enrong, Yang Bangjie, et al. Design of categorized crop acreage onboard estimation system based on image identification[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 103-107. (in Chinese with English abstract)

0 引言

获取作物种植面积是农情监测的主要工作之一。在农业生物技术没有重大突破且没有大的自然灾害时, 作物播种面积直接决定着当年的作物产量^[1], 为此, 有必要及时准确地统计全国范围内大宗农作物种植面积, 这对政府部门生产管理、国家粮食安全战略分析和国民经济发展与社会安定都有着重要意义。

目前获取作物面积的手段主要包括统计部门逐级上报, 实地调查和遥感监测。对不同来源数据的对比分析结果表明^[2], 长期以来沿用的部门逐级上报的方式, 一方面客观性和可靠性较差, 另一方面影响监测的时效性。遥感作物面积监测虽然在客观性、时效性与可靠性方面具有优势, 但由于以下几个原因, 仍然离不开地面调查, 地面抽样调查也可以用于独立计算作物面积。

1) 经济性与技术局限性的考虑: 一方面由于中国农户规模小、种植制度复杂、地块小, 部分地区即使有了遥感图像也很难分析, 再加上技术方面的原因, 有时很难在需要时获得所需要的卫星图像; 另一方面由于经济条件的制约, 采用大量的高分辨率图像在经费与时间方面是不允许的, 因此需要地面调查补充。

2) 建立遥感解译标志的需要: 遥感图像的解译需地面调查信息的支持, 即需要通过实地调查, 了解耕作制度、种植习惯、种植结构等, 建立解译标志^[3-5]。

3) 精度评估的需要: 遥感监测作物面积需要地面标定, 分析结果的精度也需要地面调查验证。

目前地面调查主要通过野外调查人员人工采样完成, 工作量大、效率低、成本高, 并且客观性取决于调查人员素质。针对这一情况, 中科院开发了一套 GVG 系统^[6-8]。该系统在野外采集时采用汽车为主要工作平台, 以各级公路为样线进行动态采样。系统工作时, 实时采集 GPS 信号, 捕捉视频影像, 同时根据 GPS 位置自动获得 GIS 属性信息并自动记录在后台数据库中。野外工作结束后, 系统提供的功能允许操作人员对每条记录的照片中各类农作物所占比例进行赋值, 统计单元内各种作物的分类成数, 但不能统计作物采样面积。

本项研究在国家自然科学基金项目大尺度农作物种植面积空间统计方法与可靠性研究的支持下, 开发基于图像识别的作物分类种植面积车载测算系统, 以下简称 CAOES (Crop Acreage Onboard Estimation System)。CAOES 采用车载图像采集系统, 并加入视觉测距的方式来测量样条的宽度, 通过人工和计算机自动识别两种方式确定视频图像内的作物分类成数, 结合 GPS 航迹信息, 测算样条内作物分类面积。一方面使得地面抽样样本更能反映总体, 另一方面进一步降低了野外调查结束后的工作量, 提高了调查的客观性和时效性。

1 CAOES 功能、原理与技术要点

1.1 功能与原理

CAOES 用于野外采集作物分类面积, 以越野车为主要工作平台, 对各级公路两侧的样条进行动态采样。工作中系统实时采集 GPS 信号, 同时捕捉视频图像, 一方面利用所开发的软件系统使 GPS 属性信息与图像匹配, 从而使采集到的图像定位到 GIS 底图上; 另一方面

收稿日期: 2005-08-03 修订日期: 2005-11-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30471009)

作者简介: 马 蓉(1974-), 女, 甘肃平凉人, 研究方向为农业机械化、车辆电子控制及智能化技术, 北京 中国农业大学工学院车辆工程系, 100083

通讯作者: 毛恩荣(1961-), 男, 山西新绛人, 主要研究方向为车辆人机工程学、车辆电子控制及智能化技术、智能交通, 北京 中国农业大学工学院车辆工程系, 100083

对所采集的图像进行识别,统计计算作物分类面积,包括样条、县级、农业区划级和省级单元。最后将相关数据和图像自动记录在后台数据库,以便野外工作结束后,允许操作人员回放录像,检查样条内作物面积的统计情况。

1.2 技术要点

其主要技术特点可归纳如下:

- 1) 利用车载 GPS 实时跟踪所经样条,同时记录时间和目标所在经纬度及海拔高度,并输入计算机存储为数据文件;
- 2) 控制车速和采样间隔,数字摄像机以一定角度拍摄道路一侧一定距离内的样条图像,存储为影像文件;
- 3) 影像文件通过时间与 GPS 的数据文件配准,标记摄像机所采集图像的经纬度等信息;
- 4) 通过图像识别和视觉测距方式确定采样区内各类作物的面积;
- 5) 结合 GIS 和已经完成的本地数据库,统计外推整个区域内各类作物的种植面积;
- 6) 将样条内农作物分类面积信息按省、县、区划单元进行统计汇总,并形成报表输出。

2 硬件设计

系统主要由越野车、计算机、视频采集模块、GPS 数据接收模块和纵向视野测量模块等组成。

2.1 越野车

选择三菱帕杰罗或切诺基,这些车型越野性能好,价格适中,工作中将车速控制在 40 km/h 左右,匀速前进。

2.2 计算机

为满足大的数据传输和图像处理运算量要求并且便于野外携带,本系统配置移动性能好的笔记本电脑一台,其基本配置为:CPU 主频在 1.6G 以上,内存至少 256M,80G 高速(7500r)硬盘,64M 显存。

2.3 视频采集模块

整个摄像装置由云台、数字摄像机和镜头组成,安装在车顶靠近待拍摄作物一侧大约 1.7~1.8m 的高度。装好镜头的数字摄像机以一定的角度和高度安装在云台上,与 GPS 同步,按固定时间间隔拍摄样条图像。通过计算机记录时间来使图像与 GPS 获取的数据对进行配准,并确定出摄像机采集的图像所在位置的经纬度和海拔高度。

与模拟摄像机相比,数字摄像机具有更强的稳定性和噪声信号抑制能力,能够获得更高性能的视频图像,没有像素抖动^[9],并且使用方便,因此本系统选择 DH1302UC 数字摄像机采集视频图像。该款摄像机性价比较高,技术支持比较方便,其主要特点是:采用 USB 2.0 接口,帧曝光,15 fps 时的分辨率为 1024 × 768,靶面尺寸为 2/3。现场拍摄试验表明,该款摄像机发热量小,工作稳定,按帧采集模式所得图像优于按场采集。

镜头的主要功能是完成光学成像。FA 镜头较之 CCTV 镜头图像质量好,成像畸变小,故而选择与摄像机性能匹配的 Computar M 0814-MP 镜头,其靶面尺寸为 2/3。根据纵向视野要求,通过实验确定焦距为 8mm。拍摄中发现一个问题,即由于目前数字摄像机没有自动光圈接口,所以须通过手动调节,但这样很难适应野外自然光照的频繁剧烈变化,导致图像质量很不稳定,于是考虑通过软件的方式进行补偿,实现光圈和曝光时间对光线的自适应调节。经过现场实验验证,该方法能够较好满足图像质量要求,基本消除了像元模糊现象。

2.4 GPS 数据接收模块

所采用的车载 GPS 接收机型号为 GARM N GPS 72 手持/车载卫星定位导航仪,它接收所经过样条待匹配点的经纬度及其对应时间,支持实时差分,并通过串口与计算机进行通讯。工作中,利用软件实时读取包括时间、经纬度、海拔高度等信息的坐标数据,并定位到 GIS 底图上,随时掌握走过的路线。有三种采点方式可供选择,即:按固定时间间隔、按固定间距和按轨迹点曲率变化突变点采集数据,工作中可根据需要进行设定选择合适的采集方式。

2.5 纵向视野测量模块

基于二维视觉测距,设备包括前述的 GPS 接收机、摄像装置,另加倾角传感器 XW QJ02。倾角传感器 XW QJ02 通过 RS232 接口实现数据通讯,输出传感器相对于水平面的倾斜和俯仰角度,60 度范围内误差 ±0.03 度。角度响应速度可达 20 Hz,内置温度补偿自动修正温度漂移。测距原理如图 1 所示,一般情况下某特定样方所经路线的坡度很小,因此可忽略俯仰角变化造成的影响,则纵向视野方向作物的实际覆盖宽度 |AB| 可按照(1)式计算:

$$|AB| = (L - l) \times [\tan(\delta + \gamma + \beta/2) - \tan(\delta + \gamma - \beta/2)] \quad (1)$$

式中 L——摄像机在车上的安装高度; l——作物冠层地面以上的高度; γ——车辆横滚角; δ——安装角,即车辆停放在水平面上时摄像机光轴与铅垂面的夹角; β——摄像机的垂直视角。

对田地的高度,采用 GPS 测量以便实时得到测量结果,从而车辆俯仰角 α 可以略去不考虑。

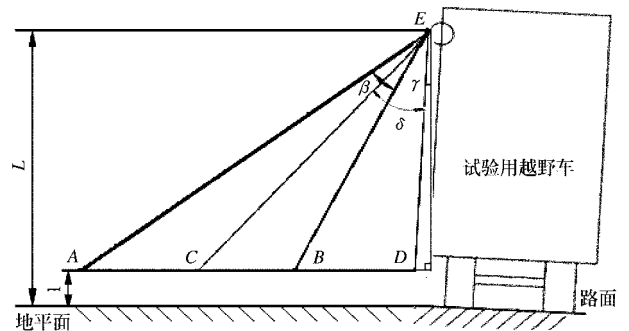


图 1 摄影几何关系示意图

Fig 1 Schematic diagram of shooting geometrical relation

3 系统标定

为补偿上述模型中的系统误差, 考虑通过试验的方法引入修正因子对系统进行标定以确定 CCD 摄像头拍摄纵向视野范围与拍摄角度和高度之间的实际对应关系。待标定模型记为:

$$y = (c_1 + x_1) \times [\tan\{(x_2 + c_2) \times \text{PI}() / 180\} - \tan\{(x_2 - c_2) \times \text{PI}() / 180\}] \quad (2)$$

式中 c_1, c_2 ——待修正因子; x_1 ——摄像头与作物冠层的落差测量值; x_2 ——光轴与铅垂面夹角的测量值, 安排单因素试验以确定待修正因子。

3.1 试验原理

摄像机通过云台固定在支架上, 用倾角传感器测量摄像机光轴倾角, 用卷尺测量当标杆上对应醒目标记恰

好位于图像上下缘时, 两标杆的水平间距。

3.2 试验条件与结果

试验装置包括: 1) 数字摄像机: DH1302UC 型, 采用 USB 2.0 接口, 帧曝光, 15 fps 时的分辨率为 1024 × 768, 靶面尺寸为 2/3; 2) 镜头: Computar M 0814MP 镜头, 靶面尺寸为 2/3, 焦距为 8 mm; 3) 倾角传感器: 星网迅达 XW QJ02, RS232 串口通讯; 4) 嘉杰车载室外云台 J2210T/X; 5) 笔记本电脑; 6) 支架; 7) 标杆: 设定有精确测定的若干分布适当, 成像易于辨识的点位标志; 8) 卷尺。

试验选在晴朗且光照不是很强的早晨或下午在开阔平坦区域进行, 以得到清晰度对比度最佳的图像, 试验因素水平编码及结果见表 1, 每个水平重复做 5 次。

表 1 CCD 测距试验因素水平编码及对应结果表

Table 1 Coding and result table of level and factor of CCD measuring test

水平	- 1. 414	- 1. 207	- 1. 000	- 0. 500	0. 000	0. 500	1. 000	1. 207	1. 414
x_1	1. 387	1. 419	1. 450	1. 525	1. 600	1. 675	1. 750	1. 781	1. 812
\bar{y}	49. 228	50. 260	51. 293	53. 784	56. 276	58. 768	61. 260	62. 292	63. 324
x_2	66. 010	66. 150	66. 300	66. 650	67. 000	67. 350	67. 700	67. 840	67. 980
\bar{y}	38. 336	38. 598	39. 672	45. 609	56. 276	71. 673	91. 800	101. 522	112. 056

对于上述结果, 可利用 Matlab 软件以最小二乘法拟合确定出两个待修正因子如下: $c_1 = 0. 4, c_2 = 21. 04$ 。然后利用二次回归正交旋转设计再进行一轮试验对模型拟合效果进行评价, 试验结果见表 2。方差分析结果(见表 3)表明: 较之二元二次回归模型, 此经验模型不仅相关系数更大, F 检验更显著, 且能直接反映对应的物理关系, 若增加数据也不会有多项式插值拟合带来的 Runge 现象和数值本身误差导致所确定函数关系不合理现象的发生^[10]。

表 2 纵向视野测量值和模型预测值

Table 2 Measured values and model predicted values of vertical visual field

拍摄高度编码	安装角度编码	纵向视野范围测量值/m	纵向视野范围模型预测值/m
1	1	94. 1	95. 47
1	- 1	45. 45	44. 11
- 1	1	83. 23	82. 15
- 1	- 1	37. 76	37. 95
1. 414	0	63. 53	62. 35
- 1. 414	0	48. 46	50. 37
0	1. 414	115. 97	117. 21
0	- 1. 414	35. 07	36. 68
0	0	57. 7	56. 37
0	0	58. 47	56. 37
0	0	55	56. 37
0	0	56. 18	56. 37
0	0	54. 88	56. 37
0	0	55. 4	56. 37
0	0	56. 5	56. 37
0	0	56	56. 37

表 3 方差分析结果

Table 3 Result of variance analysis

模 型	显著性检验	相关系数
二次回归模型 $y = 56. 12 + 4. 98x_1 + 26. 06x_2 + 9. 47x_2^2$	$F_2 = 196. 66 > F_{0. 05}(5, 10) = 6. 87$	$R = 0. 994$
经验模型 $y = (0. 4 + x_1) [\tan\{(x_2 + 21. 04) \times \text{PI}() / 180\} - \tan\{(x_2 - 21. 04) \times \text{PI}() / 180\}]$	$F_2 = 1664. 10 > F_{0. 05}(2, 13) = 3. 81$	$R = 0. 998$

4 软件设计

根据功能的不同, 系统分别构建了不同的模块: 图像定位、图像识别模块和统计计算模块。模块接口是统一的, 既便于使用, 又易于扩充。其中 GPS 数据读取和图像采集模块, 考虑到它们的通用性和可移植性, 采用了动态链接库的设计方式, 以便被其他应用程序调用。这样不仅降低了模块间的耦合度, 而且增强了软件的复用性。在这些模块的基础上, 由系统主程序模块进行整合, 并提供用户操作界面。系统软件在结构上形成 3 个层次, 如图 2 所示。

5 性能测试及结果分析

利用该系统对小麦图像的田间实测, 发现以下参数对于拍摄质量的影响比较显著。

5.1 焦距

焦距的大小决定着视场角的大小, 焦距数值小, 视场角大, 所观察的范围也大, 但距离远的物体分辨不很清楚; 焦距数值大, 视场角小, 观察范围小, 但如果选择

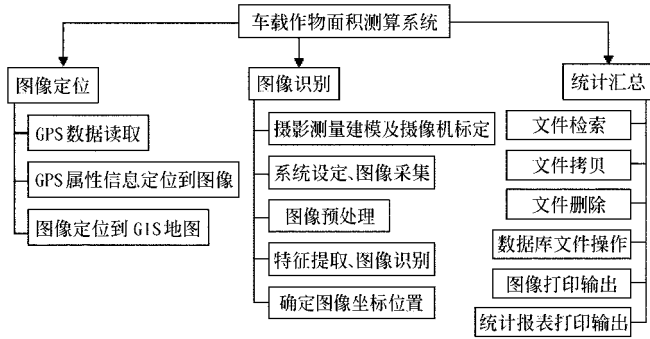


图2 软件系统结构框图

Fig. 2 Structured flow chart of software system

的焦距合适,即便物体距离很远也可以看得很清楚,考虑兼顾足够的视场和尽量清楚的图像细节,选择8 mm 焦距的镜头,当摄像机相对作物冠层高差为1.6 m,安装角 $\delta = 67^\circ$ 时,可以拍摄到纵向视野约60 m 的足够清晰的图像。

5.2 光圈与曝光时间的自适应调节

由于野外光线变化大且频繁,行驶中手动调节光圈的曝光时间难以满足要求,而自动光圈虽然可有较宽的动态范围,可使因光信号导致的模糊最小,且在要求整个视野有良好的聚焦时,有比固定光圈镜头更大的纵向视野,但目前数字摄像机没有自动光圈接口,因此考虑用软件补偿的方式自动调节光圈和曝光时间,减弱逆光和直射强光造成的图像质量恶化,使得纵向视野和图像清晰得以兼顾。

5.3 拍摄角度

由于道边树的干扰限制了拍摄高度不能太高,故而考虑调节角度。合适的拍摄角度可以获得丰富的图像细节,并尽可能多地去除干扰背景。但由于野外监测中越野颠簸较大,因此很难实现用云台根据传感器所测角度实时调整拍摄角度,于是考虑:(1)根据越野车高度,设计拍摄高度和角度在一定范围内可调的支架来固定摄像机,使之可根据作物的不同高度选择合适的初始拍摄高度和角度,保证纵向视野基本在所要求范围内;(2)对由于颠簸引起的纵向视野变化,根据测距原理采用图像进行计算。经过比较,确定摄像机相对作物冠层高差零水平为1.6 m, $\delta = 67^\circ$ 。这样为获得有效图像,可以有大约3 的允许摆动角度。

5.4 测距方式

由于实际中道边树木密度较大且距车较近,理想状况下激光测距虽然可直接测出摄像机光轴的旅行路径,

实时性强,精度高(± 50 mm),累积误差小,但干扰较多,如树木遮挡,地势起伏,数据处理时滤波比较困难。而摄像机相对作物冠层的高度差及车的横滚角度虽然发生变化,有时变化甚至很大,高度差达50 cm 以上,角度波动达20 以上(过大的摆动角度可作为异常值将对应图像剔除),但摄像机的高度可由GPS 给出,同一品种和同一时段的作物的高度基本差异不大,所以摄像机相对作物冠层的高度差可以测算出来,结合倾角传感器给出的横滚角,根据式(1)的原理可由摄测方式获得监测宽度。

6 结 论

利用基于图像识别的作物种植面积车载测算系统进行地面抽样是现阶段我国大尺度作物面积监测的一种有效手段,可减轻野外工作人员的工作负担,提高工作效率,有利于得到更加客观规范的统计结果。经过试验验证,镜头焦距定为8 mm 能够兼顾纵向视野和图像细节两方面的要求;光圈和曝光系数可通过软件进行调整;实际纵向视野的测算模型通过了系统标定的显著性检验,能够满足预测要求。进一步的工作包括大量的田间验证试验以不断完善系统。

[参 考 文 献]

- [1] 杨邦杰,裴志远,张松岭. 基于3S 技术的国家级农情监测系统[J]. 农业工程学报, 2001, (1): 154- 158
- [2] 黄进良,等. 农情遥感信息与其他农情信息的对比分析[J]. 遥感学报, 2004, (6).
- [3] 杨邦杰,等. 农情遥感监测[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005, 177.
- [4] 吴炳方. 全国农情与估产的运行化遥感方法研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 25- 35
- [5] 吴炳方,李强子. 基于两个独立抽样框架的农作物种植面积遥感估算方法[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 551- 569
- [6] 吴炳方. 执行野外信息采集、定位与处理的系统与方法[P]. 中国专利: 98125290.7, 2000-06-21.
- [7] 吴炳方. 一种集成化野外信息采集、定位和处理系统及方法[P]. 中国专利: 01144228 X, 2003-06-18
- [8] 吴炳方. GV G 农情采样系统及其应用[J]. 遥感学报, 2004, 8(6): 570- 580
- [9] 王 健. 数字摄像机[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2002: 257- 260
- [10] 同济大学计算数学教研室. 现代数值数学和计算[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004: 78- 89
- [11] 卢 杰,等. CCD 激光测距实验[J]. 物理实验, 2003, 06: 123- 126

Design of categorized crop acreage onboard estimation system based on image identification

Ma Rong¹, Mao Enrong¹, Yang Bangjie², Jiao Xianfeng², Wang Suxia¹

(1. *Engineering College, China Agricultural University, Beijing 100083, China;*

2. *Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing 100026, China*)

Abstract: Crops acreage estimating is the fundamental work for government's agricultural information monitoring on a national scale. Measuring with onboard estimation system is one of the approaches to perform ground truthing. In this article the authors propose a system, namely Categorized Crops Acreage Onboard Estimation System (CAOES) Based on Image Identification System, CAOES for short, and analyze its principle and configuration. Then the authors give the vision measuring model for acreage estimating and its precision evaluating. The test results indicate: 1) FA lens with 8mm fixed focus reach a balance between the two demands of vertical visual field and image detail; 2) with the software, the aperture and exposure index can be self-adapting to the natural light to meet the demands of image analysis; 3) the experiential model has bigger correlation coefficient and more steady predicted value than quadratic polynomial model; 4) this system may be more laborsaving, impersonal and in time.

Key words: crop acreage monitoring; ground sampling; vision measurement; test design; non-linear regression