

四波段作物冠层分析仪设计*

李修华 张 锋 李民赞 赵瑞娇 李树强

(中国农业大学现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室,北京 100083)

【摘要】 为解决当前作物氮素分析成本较高、分析过程复杂、分析时间长等问题,设计了一款基于光谱学原理的四波段作物冠层分析仪,通过快速检测作物冠层植被指数预测作物长势。分析仪主要由控制单元和测量单元组成。控制单元只含一个控制器,该控制器作为整个无线传感网络的协调器,负责将各个传感器节点发送的数据进行分类、显示以及存储等,并根据测量结果计算作物营养成分含量。测量单元则由多个光学传感器组成,主要负责光学信号的采集、放大、发送等。每个传感器可以在4个光学波段进行测量,分别是绿色植物可见光主要反射峰550 nm,可见光主要吸收波段650 nm,近红外波段766,850 nm。标定试验显示光学传感器工作稳定,仪器具有较高的精度。初步玉米田间试验表明,仪器的测量结果与玉米叶片全氮含量的相关系数达到0.884。

关键词: 作物长势 氮含量 植被指数 光学传感器

中图分类号: S237; TP216 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)11-0169-05

Design of a Four-waveband Crop Canopy Analyzer

Li Xiuhua Zhang Feng Li Minzan Zhao Ruijiao Li Shuqiang

(Key Laboratory of Modern Precision Agriculture Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In order to solve the problems encountered in analyzing crop nitrogen concentration by chemical methods, such as high cost, long and complicated process, etc., a new four-waveband crop canopy analyzer was developed based on optical principle to obtain some vegetation indices to evaluate the crop growth status. The analyzer was designed to work as a wireless sensor network with a control unit and a measuring unit. As the coordinator of the whole wireless network, the controller was used to receive, display and store all the data sent from different sensor nodes. The measuring unit which consisted of several optical sensors was designed to collect, amplify and transmit the optical signals. Each sensor node contained four optical channels, which allowed the instrument work at the wavebands of 550 nm, 650 nm, 766 nm and 850 nm. Calibration test was conducted and the result showed a good performance. An experiment in maize field was also performed, and the correlation between measured N and predicted N in crop leaves had high significance with R of 0.884. Those results showed the potential of the instrument in crop nutrition level diagnosis.

Key words Crop growth status, Nitrogen content, Vegetation indices, Optical sensor

引言

氮素是农业生产的重要因素,又是影响环境的重要因子之一,快速有效跟踪和监测作物氮素含量

状况,并据此确定科学的施肥管理措施,对提高氮素利用效率,合理利用资源,提高作物产量以及保护环境都有重要意义。传统的大田作物氮素管理方法是均匀施肥,但由于土壤肥力的空间不均一性,这种传

收稿日期: 2011-01-19 修回日期: 2011-02-25

* 国家自然科学基金资助项目(U0931001)、国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA100704)和高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20100008110030)

作者简介: 李修华,博士生,主要从事农作物生长状态遥感监测技术的设计与应用研究,E-mail: lixiuhua.pac@gmail.com

通讯作者: 李民赞,教授,博士生导师,主要从事农业信息化技术和精细农业系统集成研究,E-mail: limz@cau.edu.cn

统施肥方法会导致氮素利用率不均,农户为了保证较高的产量,通常以过量施肥作为产量保险,造成氮肥的浪费以及对环境的污染。以变量作业为核心的精细农业管理方式可以从根本上解决这个问题。精细农业需要获取详细的作物氮素信息来支撑变量作业决策,而传统的作物氮素分析方法均为实验室分析方法,其成本高、分析过程复杂、分析时间长,难以应用于大田变量施肥实时指导,因此设计开发能够快速无损检测作物氮素含量的仪器非常必要^[1-2]。

施氮量的变化会引起作物叶片生理及形态结构的相应变化,从而引起作物光谱反射特性变化^[3],这是通过光谱手段获取作物生化参量信息的理论基础。中国农业大学精细农业研究中心先后设计了两代工作在红光与近红外 2 个波段的作物长势监测仪^[4-7],检测作物的植被指数^[8],并具有较高的精度。为进一步拓展仪器的功能,实现仪器在多个波段处测量以获取更多的作物光谱信息量以及植被指数,本文设计四波段作物长势分析仪,实现波段的可更换性,提高仪器的精度与通用性。

1 作物长势分析仪的设计

1.1 仪器总体构造

图 1 为设计的四波段作物长势分析仪的总体结构图,主要由控制单元和测量单元组成,控制单元和测量单元之间采用 ZigBee 技术实现无线通信。控制单元只含一个控制器,负责将各个传感器节点发送过来的数据进行分类、计算、显示以及存储等。测量单元则由多个光学传感器组成,主要负责光学信号的采集、放大、发送等工作,传感器可以在 4 个光学波段处进行测量,分别是绿色植物可见光主要反射峰 550 nm、可见光主要吸收波段 650 nm 和 2 个近红外波段 766、850 nm。由于本装置采用太阳光作为光源,为了获得作物冠层的光谱反射率,除了对作物冠层反射光进行测量外,还需要对太阳入射光的各相应波长

的光强进行测量。各传感器节点的测量具有同时性,在某一时刻,当各个节点进行测量时,作为光源的太阳光光强是一致的。因此,分析仪只需要其中 1 个传感器含有太阳光测量通道(图 1 中 I 所示)。

1.2 传感器的设计

传感器主要负责光学信号的收集、光电转换以及电信号的处理、放大、采集、发送等工作。以图 1 中的传感器 I 为例,其结构框图如图 2 所示。主要包括光学系统、硬件电路及软件设计。

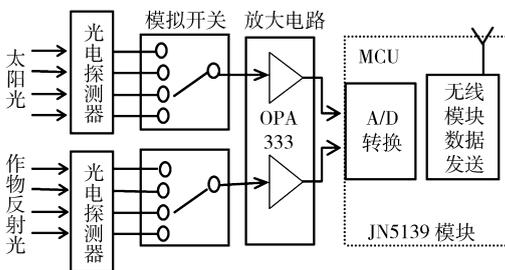


图 2 传感器结构框图

Fig. 2 Block diagram of the sensor

1.2.1 光学系统设计

一个完整的光学系统由上部测量太阳光的 4 个通道以及下部测量作物冠层反射光的 4 个通道组成。上、下 8 个通道分别在相同的波段处对太阳光与作物反射光进行测量,用以计算作物冠层的反射率。光学通道主要由凸透镜、滤光片、光电探测器以及密闭的机械外壁组成。凸透镜直径为 12.5 mm,焦距 12.5 mm,被放置在光学通道最外侧以扩大探测的目标范围。4 个通道内,滤光片的中心波长分别为 550 nm、650 nm、766 nm 及 850 nm,带宽均为 20 nm,波长范围在绿光-近红外之间,是测量作物光谱信息的常用波段。探测器采用 PIN 型 Si 光电二极管,其光谱响应如图 3 所示。

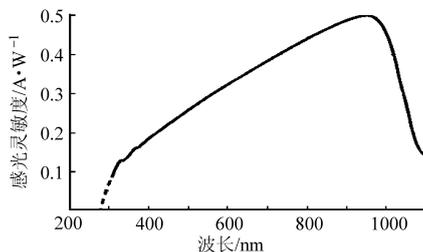


图 3 光电探测器光谱响应图

Fig. 3 Spectral response of the photodiodes

1.2.2 传感器硬件电路设计

传感器的硬件电路主要由操作单元和信号处理单元两部分组成。操作单元中采用 JENNIC 公司的 JN5139 无线模块作为主控芯片。JN5139 无线模块集成了一个片上 32 位 RISC 微处理器,时钟频率最高达 32 MHz;内置了 4 路 12 位 A/D 转换

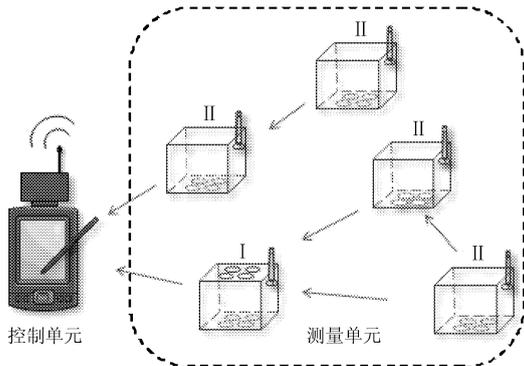


图 1 四波段作物长势分析仪的总体结构

Fig. 1 Structure of the four-waveband crop growth analyzer

器,满足信号采集的要求;另外还集成了一块 128KB 的 Flash 存储器和天线接口。JN5139 无线模块内嵌 ZigBee 无线通信协议,非常方便用户实现无线组网功能。

信号调理单元电路如图 4 所示。为了提高光电探测器的响应速度,在其负极增加了一个 3V 的反向偏置电压,当光线照射至光电二极管的敏感面上

时,将会从正极产生一个感应电流,并通过负载 R01 转换成电压信号。S1 ~ S4 分别代表从 4 个光学通道内的各个光电探测器出来的电压信号。采用 4:1 模拟开关 ADG704 对 4 路信号进行选择,从而实现了后续的放大采样电路进行分时复用,使电路变得更加紧凑、简洁与实用。放大电路采用 3V 单电源供电的放大器 OPA333。

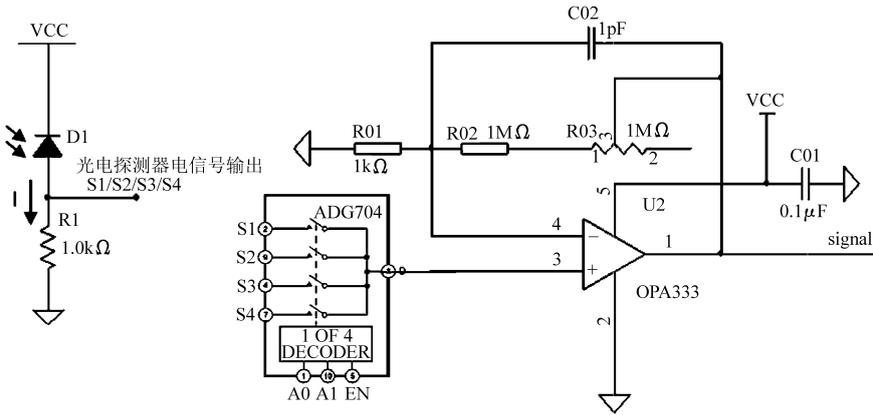


图 4 信号调理单元电路图

Fig. 4 Schematic of the signal conditioning unit

1.2.3 传感器软件设计

传感器程序启动初始化后打开定时器,当时钟溢出时产生中断,通过设置模拟开关的地址依次选择相应的通道进行数据采集。每个通道重复采集 10 次后求平均值。然后选取下一通道继续采集,当所有通道信号都采集完毕,将采集的数据信息通过 RF 射频无线发送至控制器,最后再次打开定时器,开始下一轮的测量。根据以上的工作流程编制了相应的软件程序。

1.3 控制器设计

1.3.1 控制器硬件电路设计

图 5 为控制器的硬件结构框图,主要包括操作单元、输入单元、显示单元、存储单元与电源调理单元。控制器不仅是组建整个无线网络的协调器,还负责将接收到的来自不同类型传感器的测量结果进行汇总,计算作物植被指数,并最终将计算结果进行显示及存储。

控制器主控单元也采用 JN5139 无线通信模块,除了无线通信功能,还负责处理、显示和存储数据,主要利用了 JN5139 的通用串行接口(UART)、通用数字 I/O 口以及闪存等。液晶模块与 JN5139 通过串行方式以 2 根通用数字 I/O 口连接(1 根数据线,1 根时钟线)。输入设备为 9 键矩阵式键盘,主要功能包括复位、开始存储、停止存储、改变存储序列号、查看上一条记录、查看下一条记录等。除了复位按钮不需要通过软件识别外,其他都以数字 I/O 口产生中断的方式进入相应的应用子程序。

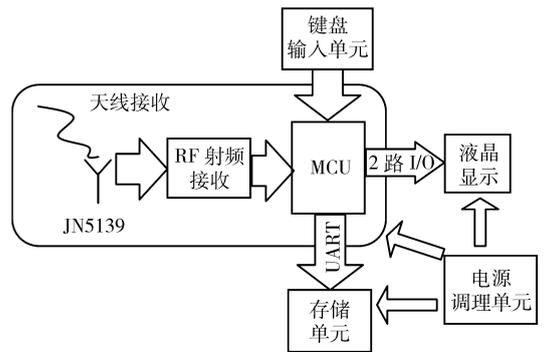


图 5 控制器硬件结构框图

Fig. 5 Block diagram of the controller

由于该装置传感器网络可以包含 1 个或多个传感器节点,在节点多、测量频率高的情况下,控制器接收到的数据量也会急速增加,模块内部集成的 128KB 闪存将无法存储数据的要求,因此通过串行接口外接一个 U 盘模块解决数据存储空间不够的问题,也使数据的存储方式变得更加灵活、便捷与通用。

1.3.2 控制器软件设计

控制器是无线网络中的协调器,负责组建整个网络。图 6 为控制器的软件流程图,图中主要体现了 2 个有代表性的中断。软件的具体流程为:控制器上电后立即初始化,搜索并组建一个独立 ZigBee 网络,然后进入等待中断的空闲模式。当有无线数据接收时程序自动转到数据接收子程序,如果是外部键盘产生的中断,程序先进行 10 ms 的去抖,然后判断中断的来源,最后转到与其相应的中断

处理子程序。

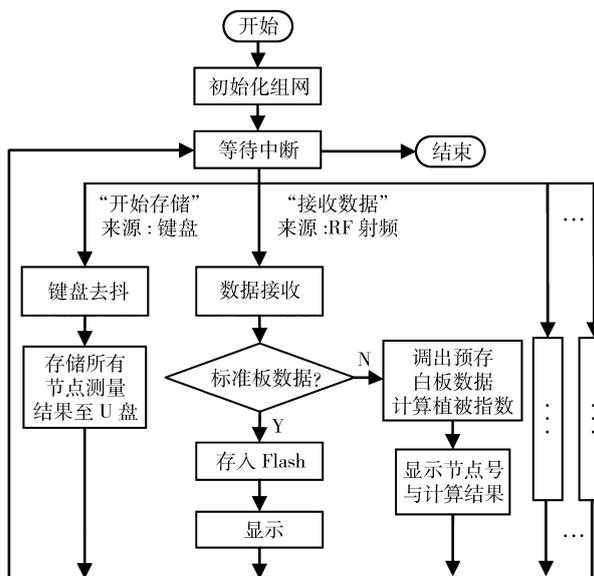


图6 控制器软件流程图

Fig.6 Flow chart of software in controller

2 试验与结果分析

2.1 标定试验

标定试验于2010年6月在中国农业大学校园内进行,天气晴朗,测量环境适宜。试验中采用照度计测量太阳光强度,同时使用分析仪对标准白板进行测量,并将所测得的太阳光值及白板反射光值分别与照度计所测得的值进行相关性分析。测量从9:00到15:00,每隔10 min测量一次,共计36组测量值。分析仪距离标准白板的垂直高度为20 cm,每组重复测量5次取平均值。表1是相关分析结果。

仪器的标定试验取得了满意的结果。其中测量太阳光的4个入射通道的相关系数最好,最高达0.982,最低为0.970;测量标准白板反射光的4个反射通道的相关系数最高为0.980,最低为0.955。标定试验结果说明仪器具有良好的稳定性及准确性。

表1 分析仪各通道与照度计测量值间的相关系数

Tab.1 Correlation coefficients between results of analyzer channels and an illuminometer

通道	波长/nm			
	550	650	766	850
入射	0.971	0.974	0.978	0.982
反射	0.955	0.980	0.978	0.966

2.2 田间试验

利用设计的仪器在北京市郊中国农业大学上庄试验站的玉米试验田进行了1次田间试验。玉米品

种为“郑单958”,试验主要目的是初步验证新设计的作物长势分析仪的功能。试验主要包括田间测量、采样及氮含量分析3部分。试验人员手持包含上、下光学通道的传感器节点与控制器组网完成测量,选取12个采样点。测量时,传感器垂直放置在距离冠层20 cm的高度,每个点重复测量3次后取平均。测量完成后对测量点的玉米叶片采样,并在实验室条件下通过凯氏定氮仪测量叶片的全氮含量。

将测得的4个波段处作物反射率进行回归分析,得到氮含量预测值,并与凯氏定氮仪所测得氮含量进行相关分析,所得结果如图7所示。两者之间的相关系数达到0.884。从试验结果还看出,在氮含量较低时,线性相关度较好,随作物氮含量升高,模型出现一些偏差,说明两者之间存在非线性因素,下一步面向应用的试验中需要考虑进行非线性分析。

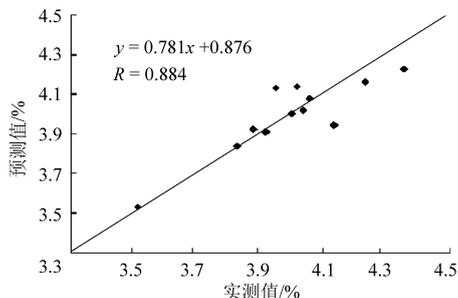


图7 作物反射率与叶片氮含量的建模分析

Fig.7 Correlation between measured N and predicted N in crop leaves

3 结论

(1) 分析仪采用无线通信技术实现了控制单元和测量单元的分体设计,并可测量4个波段,拓展了仪器的功能,可在多个波段处测量以获取更多的作物光谱信息量以及植被指数,并实现了波段的可更换性,提高了仪器的精度与通用性。

(2) 标定试验结果表明,仪器的各个测量通道都具有高的测量精度。其中测量太阳光的4个入射通道的相关系数最高达0.982,最低为0.970;测量标准白板反射光的4个反射通道的相关系数最高为0.980,最低为0.955。标定试验的结果说明此仪器具有良好的稳定性及准确性。

(3) 初步的田间试验结果表明,仪器的4个波段处作物反射率与叶片氮含量之间的相关系数达到0.884,在野外的实时测量以及遥感分析中处于较高水平。从试验结果还看出,在氮含量较低时,线性相关度较好,随作物氮含量升高,模型出现一些偏差,说明两者之间存在非线性因素。

参 考 文 献

- 1 田永超,朱艳,姚霞,等. 基于光谱信息的作物氮素营养无损监测技术[J]. 生态学杂志,2007,26(9): 1 454 ~ 1 463.
Tian Yongchao, Zhu Yan, Yao Xia, et al. Non-destructive monitoring of crop nitrogen nutrition based on spectral information [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(9): 1 454 ~ 1 463. (in Chinese)
- 2 郭建华,赵春江,王秀,等. 作物氮素营养诊断方法的研究现状及进展[J]. 中国土壤与肥料,2008 (4): 10 ~ 14.
Guo Jianhua, Zhao Chunjiang, Wang Xiu, et al. Research advancement and status on crop nitrogen nutrition diagnosis [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2008 (4): 10 ~ 14. (in Chinese)
- 3 李民赞,韩东海,王秀. 光谱分析技术及其应用[M]. 北京:科学出版社,2006:177 ~ 183.
- 4 李修华,李民赞,崔笛. 基于光谱学原理的无损式作物冠层分析仪[J],农业机械学报,2009, 40(增刊): 252 ~ 255,227.
Li Xiuhua, Li Minzan, Cui Di. Non-destructive crop canopy analyzer based on spectral principle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40 (Supp.): 252 ~ 255,227. (in Chinese)
- 5 Cui Di, Li Minzan, Zhu Yan, et al. Development of a crop growth monitor based on optical principle [C]//Proceedings of the International e-Conference on Computer Science 2006 (IeCCS 2006), 2006;309 ~ 312.
- 6 张喜杰,李民赞,崔笛,等. 温室作物长势的光谱学诊断方法研究与仪器开发[J]. 光谱学与光谱分析,2006,26(5): 887 ~ 890.
Zhang Xijie, Li Minzan, Cui Di, et al. New method and instrument to diagnose crop growth status in greenhouse based on spectroscopy [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2006, 26(5): 887 ~ 890. (in Chinese)
- 7 冯伟. 基于高光谱遥感的小麦氮素营养及生长指标监测研究[D]. 南京:南京农业大学, 2007.
Feng Wei. Monitoring nitrogen status and growth characters with canopy hyperspectral remote sensing in wheat[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007.
- 8 杨述平. 归一化植被指数测量技术研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2004,12(3):328 ~ 332.
Yang Shuping. A measuring technology for normalized difference vegetation index [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2004, 12(3):328 ~ 332. (in Chinese)