

# 基于虚拟仪器的果树重叠叶片 LAI 实时检测系统

吴伟斌<sup>1,2,3</sup>, 洪添胜<sup>1,2,3\*</sup>, 朱余清<sup>1,2,3</sup>, 代芬<sup>1,2,3</sup>, 李东东<sup>1,2,3</sup>, 张立俊<sup>1,2,3</sup>

(1. 华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642; 2. 国家柑橘产业技术体系机械研究室, 广州 510642; 3. 华南农业大学工程学院, 广州 510642)

**摘要:** 目前叶面积指数 (leaf area index, LAI) 检测中重叠叶片的辨别是一个难点。该文提出一种创新的重叠叶片 LAI 简易检测方法: 在室内直射平行光源照射下, 通过光电传感器检测叶片透射光能量, 传感器信号经过调理, 由数据采集卡采集至计算机, 利用 LabVIEW 软件平台进行程序设计, 自动判断重叠叶片层数。将叶片层数乘以传感器的接收面积即为该检测位置各层叶片面积, 将整个检测过程中的叶片面积累加即为各层叶片的总面积, 进而求出 LAI。根据试验结果选用近红外作为光源, 设计并制作用于检测的近红外光电传感器, 其短路电流  $I_1$ 、 $I_2$  分别与前置放大输出电压  $U_1$ 、主放大输出电压  $U_2$  均有良好的线性关系, 于 0.05 水平显著。数据采集试验结果表明, 在手动进行扫描、定位采集的方式下, 以方格法计算的 LAI 值作为准确值, 系统对 LAI 的计算最大相对误差绝对值为 14.8%。初步探讨了叶片间隔对透射辐射量的影响, 结果发现乘幂模型的拟合效果较好。

**关键词:** 传感器, 检测, 光学测量, 叶面积指数, 重叠叶片, 虚拟仪器

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.04.028

中图分类号: S237; TP274<sup>+</sup>.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-04-0169-06

吴伟斌, 洪添胜, 朱余清, 等. 基于虚拟仪器的果树重叠叶片 LAI 实时检测系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 169-174.

Wu Weibin, Hong Tiansheng, Zhu Yuqing, et al. Real-time detection system for LAI of fruiter overlapped leaves based on virtual instruments[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 169-174. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

探索和构建叶面积指数 (leaf area index, LAI) 与变量喷施的关系, 可为精细农业生产提供作物生物量的状态信息, 为作物变量喷雾机械的研究提供技术依据。果园果树树冠的形状、尺寸和叶面积指数是有差异的, 恒定喷施农药会造成非靶标沉积而污染环境和浪费农药。果树农药仿形精准喷雾是根据果树树冠的形状和尺寸、叶面积指数等冠层参数, 按照喷雾量控制策略控制仿形和喷雾机构, 适量地将农药精确的喷施到果树树冠。研究发现, 果树生物量是果树精确喷药施肥的重要参数之一。进一步的研究已经推导出具体果树生物量及可以相对快速简易实时获得的特征参数如树高、叶面积指数、叶投影面积等之间的关系<sup>[1-8]</sup>。

目前, 叶面积指数的检测方法中, 基于光学模型方法的研究较多。然而, 关于针对单一、孤立的果树 LAI 检测的研究相对较少, 在 LAI 值达到 5~6 的情况下, 利用普通

冠层 LAI 仪器检测往往存在较大误差, 原因是现有的冠层 LAI 分析仪是基于冠层树叶随机分布的假设, 而实际中的树叶存在大量重叠和聚集成簇分布的情况<sup>[9-14]</sup>。本论文提出一种创新的重叠叶片 LAI 简易检测方法: 室内直射光源照射下, 基于光辐射原理和重叠叶片多光谱透射试验结果, 采用自主设计的近红外光电传感器进行检测。利用虚拟仪器技术, 开发一个重叠叶片 LAI 实时检测系统, 以期可以对叶子重叠层数及果树 LAI 进行实时快速自动检测。

## 1 研究方法

### 1.1 系统方案与硬件构建

本文利用激光器产生直射平行光, 探究直射光随着叶片重叠层数增加而衰减的规律, 找出较为明显并可测的辐射波长, 据此设计制作检测用的光电传感器。最后, 利用虚拟仪器 LabVIEW 平台实现重叠叶片 LAI 实时检测系统的构建。基于虚拟仪器的重叠叶片 LAI 实时检测系统的原理框图如图 1 所示。

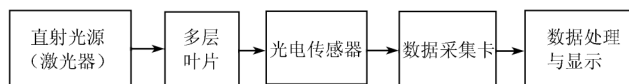


图 1 检测系统原理框图

Fig.1 Functional block diagram of detection system

### 1.2 光源的选择

#### 1.2.1 柑橘叶片可见近红外透射光谱测定

在光源波长的确定中, 需要就叶片透射光的特点进

收稿日期: 2011-06-12 修订日期: 2011-11-21

基金项目: 国家自然科学基金 (30871450)、现代农业产业技术体系建设专项资金 (农科教发[2011]13 号) 和国家公益性行业 (农业) 科研专项经费 (200903023) 项目资助

作者简介: 吴伟斌 (1978-), 男, 广东中山人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事电子、信息与计算机应用研究, 广州 华南农业大学工程学院, 510642. Email: wuweibin@scau.edu.cn

\*通信作者: 洪添胜 (1955-), 男, 广东梅县人, 博士, 教授, 博士生导师, 院长, 主要从事机电一体化、信息技术应用研究。广州 华南农业大学工程学院, 510642. Email: tshong@scau.edu.cn

行试验, 选用仪器包括: Maya 公司的 2000-Pro 光谱仪 (含积分球、光源和光纤) 和装有 SpecSuite 光谱分析软件及 SPSS 统计软件的个人计算机。2000-Pro 光谱仪具有高达 90% 的量子化率、较大的动态范围和优秀的紫外响应等特点, 适合低亮度和要求紫外灵敏度高的科学试验。

320~780 nm 连续波长的可见光和 780~1 100 nm 连续波长的近红外光分别透过 1~6 层叶子的光谱数据如图 2 所示。由图 2 可知, 可见光不能透过 2~6 层叶子, 而近红外光可以透过 2~6 层叶子。随着重叠叶片的增加, 近红外光透射率降低。选取 980 nm 波长处近红外各次的透射光谱进行分析, 对透过率取对数, 在 SPSS 软件里建立接收光强  $E$  与光源强度  $E_0$  比值的对数  $G = -\ln(E/E_0)$  与重叠层数  $L$  的散点图、一元线性回归模型。一元线性回归方程如式 (1)

$$G = 1.003L + 0.189 \quad (1)$$

相关系数  $R$  为 0.999, 相关性处于显著水平 ( $p < 0.05$ ), 方程系数处于显著水平 ( $p < 0.05$ ), 方程显著。从而验证了光强随叶片层数增加而指数递减的规律。

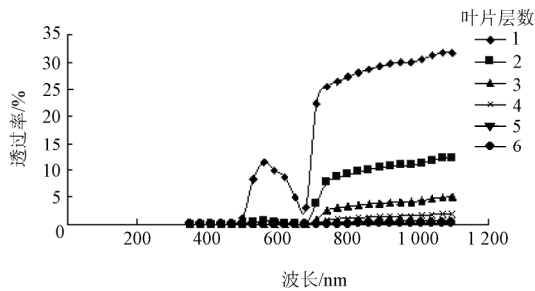


图 2 柑橘叶片重叠透射光谱

Fig.2 Transmission spectrum of overlapped citrus leaves

### 1.2.2 激光器的选用

在本设计中选用激光作为光源, 可以为透射检测提供足够强度、平行度高而且波长特定的直射光束, 与传感器形成点对点的测量。激光器是发射激光的装置, 其种类繁多。试验中选用的激光器为近红外激光器, 输出中心波长为 980 nm, 输出功率 150 mW。

## 1.3 光电传感器设计

### 1.3.1 检测元件

检测元件选择在短波近红外区相应敏感的硅光电池, 将其当作电流源的形式使用, 即利用短路电流与光照度成线性的特点。选用 PD34B 红外硅光电池, 其感应波长范围为 730~1 100 nm, 响应快速, 适合用于光电测量。由于硅光电池产生的短路电流与光强有良好的线性关系, 通过电流与电压 ( $I/U$ ) 转换, 可以得到提供模拟量与数字量 ( $A/D$ ) 转换的电压。

### 1.3.2 前置放大电路

前置放大电路是把检测元件输出的光电流转换成一定幅度的电压, 转换过程中电压与电流严格遵守线性关系。在多层叶片重叠 LAI 检测中, 检测元件输出的光电流在 mA 级以下, 必须通过多级放大器进行放大。前置放大器应有较大的信噪比, 并且属于电流接口形式, 其

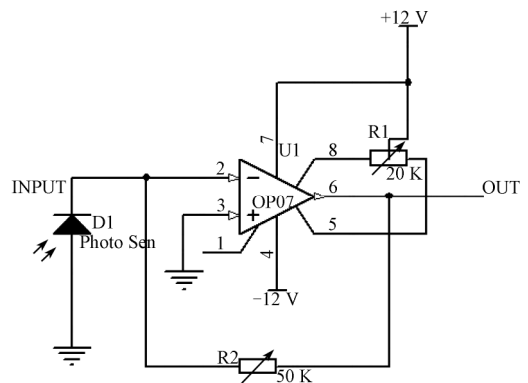
输入电阻应尽量小<sup>[15]</sup>。实际电路使用低噪声、非斩波稳零的双极性运算放大器集成电路 OP07 作为运算放大器, 如图 3a 所示硅光电池直接跨接在运算放大器的两端, 工作在零偏置模式, 实现精确的线性工作。硅光电池偏置由运算放大器的地线维持在零电位上, 短路电流被转换成电压。

### 1.3.3 主放大电路

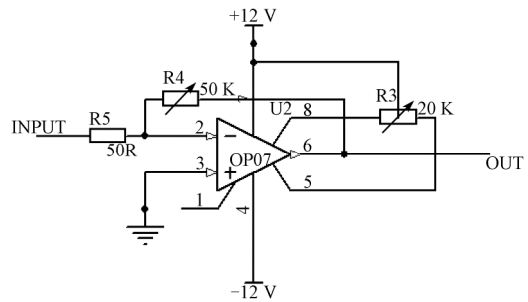
主放大电路用来放大来自前置放大器输出的小信号电压, 将前置放大器输出的信号放大到数据采集卡所需的信号电平。实际电路中仍然采用 OP07 作为运算放大器, 能够满足基本放大要求, 放大电路如图 3b 所示。

### 1.3.4 滤波电路

实际电路中, OP07 供电电源为正负 12 V, 为获得比较理想的直流电压, 利用具有储能作用的电抗性元件 (如电容、电感) 组成的滤波电路来滤除整流电路输出电压中的脉动成分, 确保 OP07 芯片的正常工作。



a. 前置放大电路



b. 主放大电路

注: 图中 1~8 为运算放大器 OP07 的输入输出引脚, INPUT 为放大电路的输入端, OUT 为输出端,  $D_1$  (Photo Sen) 为硅光电池,  $U_1$  为前置放大电路 OP07 芯片的标识符号,  $U_2$  为主放大电路 OP07 芯片的标识符号,  $R_1 \sim R_4$  为可调电阻,  $R_5$  为固定电阻 50  $\Omega$ 。

图 3 放大电路

Fig.3 Amplifying circuit

### 1.3.5 传感器标定试验

为了验证传感器的性能, 需要进行电流-电压的线性测量。同时, 由于传感器的接收面不是一个点, 而是 2.5 mm×2.5 mm 的面, 所以要对传感器的接收面积大小进行测试, 从而检验传感器输出电压与入射光量的线性关系。

#### 1) 电流-电压测量

采用近红外激光器作为光源, 调节传感器接收的光照量, 用万用表测量硅光电池产生的电流, 分别记下当

电流值为 0.01、0.02、0.03 mA 等对应的两级电压输出值，如表 1 所示。

表 1 传感器电流-电压线性测量值

Table 1 Linear measured values of current and voltage for sensors

电流值 $I/\text{mA}$	前置放大电压值 $U_1/\text{mV}$	主放大电压值 $U_2/\text{V}$
0.01	67.5	1.04
0.02	133	2.10
0.03	203	3.15
0.04	274	4.18
0.05	341	5.18
0.06	406	6.25
0.07	477	7.25
0.08	542	8.30
0.09	612	9.31
0.10	679	10.10

在 SPSS 软件里建立放大电路输入与输出关系的散点图、一元线性回归模型。一元线性回归方程分别为

$$U_1=6803.333I_1-0.733 \quad (2)$$

$$U_2=101.842I_2+0.085 \quad (3)$$

式中， $U_1$  为前置放大电路输出电压，mV； $U_2$  为主放大电路输出电压，V； $I_1$  为前置放大电路输出电流，mA； $I_2$  为主放大电路输出电流，mA。 $U_1$  与  $I_1$  和  $U_2$  与  $I_2$  线性回归  $R^2$  均为 0.999 以上 ( $p < 0.05$ )，方程系数处于显著水平 ( $p < 0.05$ )，方程显著。因此，传感器的两级放大均有良好的线性关系。

2) 均匀测量

将传感器接收面积  $S$  均匀分为 6 等份，采用近红外激光器作为光源，分别测量每等份面积受光时传感器的输出电压，每个受光位置测 3 次求出电压平均值。在 SPSS 软件分析中选择 Student-Newman-Keuls 法(简称 S-N-K)，因素受光位置的输出电压平均数比较的结果为显著值  $p = 0.1 > 0.05$ ，可以认为 6 个受光位置的输出电压均数无差异，电压最大与最小电压值差为 0.0234 V。

结果表明，传感器接收面积较为均匀，反映了传感器输出电压值与接收光量呈现良好的线性关系。

1.4 重叠叶片透射辐射测定

试验材料如下：1) 近红外激光器作为光源；2) 柑橘叶片若干；3) 近红外光电传感器；4) 5 V 直流稳压电源为红外激光器供电，12 V 直流稳压电源为传感器芯片供电。

具体的测定步骤为：1) 调整传感器与光源的位置，使激光器光束垂直照射在传感器敏感元件上，此时万用表显示电压值为 10 V（通过调整放大倍数可以调节电压值），光源与传感器之间的距离为 40 cm；2) 将柑橘叶片平张，置于传感器上方 5 cm 处，记下此时传感器对应的电压值，测量 3 次取平均值；3) 依次将 2~6 片柑橘叶子重叠，重复步骤 2)。

在 SPSS 软件里建立测量电压平均值与叶片重叠叶片数目的散点图及指数回归模型，测量电压值与重叠叶片层数的拟合方程如下

$$\bar{U} = 7.35e^{-0.91L} \quad (4)$$

式中， $\bar{U}$  为 3 次测量电压值的平均值，V。实际中光透过叶片后会散开，最终到达传感器的光量只是透射光量的一部分，故测得电压值会比理论上低，这就是系数为 7.354 而不是无叶片遮挡时的电压值初始值 10（电源供电电压 10 V）的原因。相关系数  $R$  为 0.998 ( $p < 0.05$ )，方程系数处于显著水平 ( $p < 0.05$ )，方程显著。由于式 (4) 中  $L$  是叶片层数，理论上是取整数，因此在实际测量中因对有测量值  $\bar{U}$  反演求得的  $L$  的非整数值，进行四舍五入取整处理。

1.5 考虑叶片间隔的重叠叶片透射辐射测定

在实际果树中，叶片之间存在不均匀的间隔，这会使透射辐射衰减规律发生显著变化，为了研究叶片之间间隔对透射辐射量的影响，需进行深入的试验。试验思路如下：在 1.4 试验基础上，保持最下端叶片与传感器的距离不变，测量 2 片叶子之间距离分别为 1、2、3 mm 等的输出电压值，初步探讨叶片间隔对透射辐射量的影响。在 SPSS 软件里对数据进行拟合，结果发现，乘幂模型的拟合效果较好，如图 4 所示。拟合公式为

$$Y=0.744X^{-0.816} \quad (5)$$

式中， $Y$  为考虑叶片间隔的重叠叶片透射时 3 次测量电压值的平均值，V， $X$  为叶子间距，mm。模型的相关系数  $R$  为 0.990，决定系数  $R^2$  为 0.980 ( $p < 0.05$ )，方程系数处于显著水平 ( $p < 0.05$ )，方程显著。

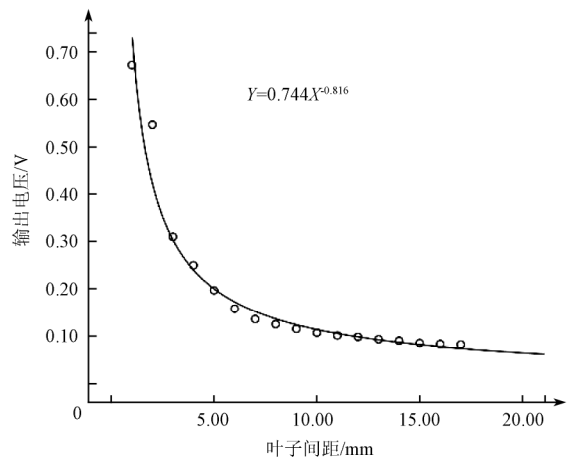


图 4 输出电压和叶子间距的乘幂拟合模型

Fig.4 Power fitting model of output voltage and leaves space

2 系统软件界面

2.1 系统软件

系统开发基于 LabVIEW2010 平台结合多功能数据采集卡美国国家仪器公司（简称 NI）的 DAQCard-6024E，主要完成对传感器电压信号采集、处理、分析和数据保存及显示等工作。系统的软件框图如图 5 所示。

2.2 界面介绍

图 6 为本系统软件操作界面。此界面分 3 部分，左边为参数设定部分，中间为实时数据显示，右边为实时波形图显示。当设定电压上限值为 7 V 时，如采集的电

压信号大于 7 V 则系统自动判断为“没有叶片遮挡光线”，此时统计光斑面积；如采集的电压信号小于 7 V，则系统判断为“有一片以上叶子遮挡光线”，根据公式计算重叠叶片数、叶片面积和总叶片面积。传感器的接收面积也可以在左边部分设定。

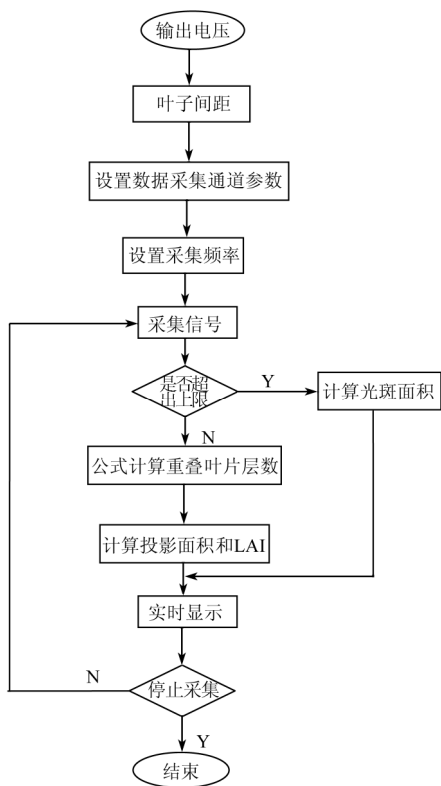


图 5 数据采集与处理系统主程序流程图

Fig.5 Flow chart of main program for data acquisition and processing system

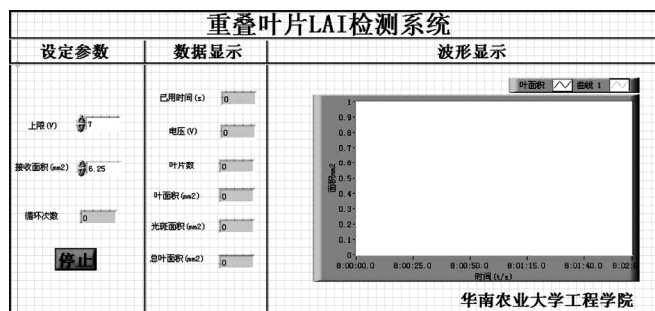


图 6 操作界面

Fig.6 Operation interface of detection system

### 3 数据采集试验与分析

#### 3.1 采集试验

数据采集的试验条件与重叠叶片辐射透射测定试验基本相同，而不同之处在于使用银白色平面铁线网格支撑叶片。传感器按 S 形路线对重叠叶片所在区域进行扫描，手动进行。横竖各 20 个点，总共扫描点数为 400 个。

#### 3.2 误差分析

采用方格法计算真实叶面积及 LAI。将叶片的轮廓描在标准计算纸（最小方格的规格为 1 mm×1 mm）上，统

计叶轮廓占的小方格数（达到或超过半个的算 1 格，不足半格的舍去），即得到用方格法测定的叶面积<sup>[16]</sup>。将测定的叶面积除以叶片占地面积，即为 LAI 的真实值。LAI 测量值与真实值的误差分析如表 2 所示。

表 2 叶面积指数测量值与真实值的误差

LAI 测量值	LAI 真实值	绝对误差	相对误差/%
1.155	1.278	-0.123	-9.6
1.259	1.426	-0.167	-11.7
1.346	1.370	-0.024	-1.7
1.608	1.640	-0.032	-2.0
1.390	1.620	-0.230	-14.2
1.337	1.381	-0.044	-3.2
1.522	1.787	-0.265	-14.8
1.997	2.197	-0.200	-9.1
2.033	2.240	-0.207	-9.2
2.140	2.468	-0.328	-13.3
2.459	2.808	-0.349	-14.2
2.631	3.069	-0.438	-14.3
3.200	3.691	-0.491	-13.3
3.339	3.918	-0.579	-14.8
3.941	4.585	-0.644	-14.0
误差绝对值的平均值		0.275	10.6

本系统用于计算重叠叶片 LAI 的最大相对误差的绝对值为 14.8%，相对误差绝对值的平均值为 10.6%。产生误差的主要原因有：1) 叶子的厚度和透过率有所不同，用上文的拟合方程进行计算本身存在一定误差；2) 传感器接收面并非一个点，而是一个 2.5 mm×2.5 mm 的面，测量中难免出现叶子没有完全挡住整个接收面的情况，而系统在每个采集均以传感器整个接收面面积进行相应计算，从而产生误差；3) 数据采集实验是用手动方式进行，无法保证定位精度，这是误差产生的主要来源；4) 光源距离的影响，当光源距离大于一定距离的时候，会产生误差不够准确，因此要保持适合的光源距离；5) 自然光源的影响会对测量反演造成一定的误差，可以外加一个测量自然光源的光传感器，抵消自然光源的影响。针对 4) 和 5) 的误差来源，下一步可以设计对 LAI 测量值影响因子正交试验，即光源的距离、叶片之前间隙及自然光强 3 因素多个水平的试验。

### 4 结论

在研究基于辐射的冠层叶面积指数 (LAI, leaf area index) 检测方法的基础上，选择了短波近红外作为透射辐射检测光，验证了短波近红外直射光随着叶片重叠层数增加而指数衰减的规律。利用虚拟仪器 LabVIEW 平台和数据采集卡实现重叠叶片 LAI 实时检测系统的构建，在手动进行扫描、定位采集的方式下，系统计算结果最大相对误差的绝对值为 14.8%，相对误差绝对值的平均值为 10.6%。初步探讨了叶片间隔对透射辐射量的影响，在 SPSS 软件里对数据进行拟合，结果发现，乘幂模型的拟合效果较好 ( $p < 0.05$ )。

## 5 讨论

由于本论文的数据采集试验是在手动方式下进行扫描, 系统计算误差相对较大。为了更好地利用本系统进行 LAI 检测, 在后续工作中, 可以尝试对大量果树冠层样本进行扫描实验, 进一步完善系统, 并利用校正样本检测系统的性能和精确度。

本论文证明了短波近红外可以作为基于透射辐射的 LAI 测量使用的光源, 但是, 在重叠叶片数目大于 6 层时, 短波近红外光透射量的下降并不明显, 这给重叠叶片数目的分辨带来了困难。在后续工作中, 可以考虑采用输出功率更强的近红外激光器进行进一步的实验, 也可以继续探究其他波长光源能否满足测量要求。另外, 试验表明测量叶片与传感器间距变化时, 传感器检测到的信号强度明显变化, 需要光强比较稳定的传感器。

初步探讨了叶片间隔对透射辐射量的影响, 进一步将深入研究叶片间隔、角度、新旧等多因素的影响。

### [参 考 文 献]

- [1] 何勇, 赵春江. 精细农业[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010: 1—4.
- [2] 吴伟斌, 洪添胜, 李震, 等. 基于 LAI 测试的精确人造果树模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊 2): 118—122.  
Wu Weibin, Hong Tiansheng, Li Zheng, et al. Precision manmade fruiter model based on LAI test[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(Suppl.2): 118—122. (in Chinese with English abstract)
- [3] 俞龙, 赵祚喜, 洪添胜. 果树冠层参数实时检测系统[J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊): 194—197.  
Yu Long, Zhao Zuoxi, Hong Tiansheng. Real-time measuring system for fruiter canopy parameters[J]. Transactions of the CSAM, 2009, 40(suppl): 194—197. (in Chinese with English abstract)
- [4] 吴伟斌, 洪添胜, 李震, 等. 果树生物量的间接测量方法[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2007, 28(4): 284—288.  
Wu Weibin, Hong Tiansheng, Li Zhen, et al. Indirect testing method of fruiter biomass[J]. Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition, 2007, 28(4): 284—288. (in Chinese with English abstract)
- [5] Vose J M, Sullivan N H, Clinton B D, et al. Vertical leaf area distribution, light transmittance, and application of the Beer-Lambert law in four mature hardwood stands in the southern Appalachian[J]. Canadian Journal of Forest Resource, 1995, 25(6): 1036—1043.
- [6] 蒙继华, 吴炳方, 李强子. 全国农作物叶面积指数遥感估算方法[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 160—167.  
Meng Jihua, Wu Bingfang, Li Qiangzi. Method for estimating crop leaf area index of China using remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(2): 160—167. (in Chinese with English abstract)
- [7] 吴彤, 倪绍祥, 李云梅, 等. 由冠层孔隙度反演植被叶面积指数的算法比较[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2006, 29(1): 111—115.  
Wu Tong, Ni Shaoxiang, Li Yunmei, et al. A comparison on the algorithms for retrieval of LAI based on gap fraction of vegetation canopy[J]. Journal of Nanjing Normal University: Natural Science, 2006, 29(1): 111—115. (in Chinese with English abstract)
- [8] 陈雪洋. 基于环境星 CCD 数据的冬小麦叶面积指数遥感监测模型研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
- [9] 张旭东, 蔡焕杰, 付玉娟, 等. 黄土区夏玉米叶面积指数变化规律的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 15—17.  
Zhang Xudong, Cai Huanjie, Fu Yujuan, et al. Study on leaf area index of summer maize in loess areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(2): 15—17. (in Chinese with English abstract)
- [10] 冯伟, 朱艳, 姚霞, 等. 基于高光谱遥感的小麦叶干重和叶面积指数监测[J]. 植物生态学报, 2009, 33(1): 34—44.  
Feng Wei, Zhu Yan, Yao Xia, et al. Monitoring leaf dry weight and leaf area index in wheat with hyperspectral remote sensing[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(1): 34—44. (in Chinese with English abstract)
- [11] 梁晓艳, 张旭峰. 基于虚拟仪器的近红外整粒小麦成分的测量系统[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2007, 19(4): 426—429.  
Liang Xiaoyan, Zhang Xufeng. Measuring system of NIR wheat component based on virtual instrument[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science, 2007, 19(4): 426—429.
- [12] Kucharik C J, Norman J M, Gower S T. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect asurements[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1998, 11(9): 9—88.
- [13] 吴伟斌, 洪添胜, 王锡平, 等. 叶面积指数地面测量方法的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(2): 270—275.  
Wu Weibin, Hong Tiansheng, Wang Xiping, et al. Advance in ground-based LAI measurement methods[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2007, 26(2): 270—275. (in Chinese with English abstract)
- [14] 吴伟斌, 洪添胜, 岳学军, 等. 果树 LAI 快速检测的随机分布模型构建[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 183—187.  
Wu Weibin, Hong Tiansheng, Yue Xuejun, et al. Random distribution model for quick test of fruiter leaf area index[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(10): 183—187. (in Chinese with English abstract)
- [15] 索雪松, 纪建伟. 传感器与信号处理电路[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008: 5—28.
- [16] 柏军华, 王克如, 初振东, 等. 叶面积测定方法的比较[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2005, 23(2): 216—218.  
Bei Junhua, Wang Keru, Chu Zhendong, et al. Comparitive study on the measure methods of the leaf area[J]. Journal of

## Real-time detection system for LAI of fruiter overlapped leaves based on virtual instruments

Wu Weibin<sup>1,2,3</sup>, Hong Tiansheng<sup>1,2,3\*</sup>, Zhu Yuqing<sup>1,2,3</sup>, Dai Fen<sup>1,2,3</sup>, Li Dongdong<sup>1,2,3</sup>, Zhang Lijun<sup>1,2,3</sup>

(1. Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Mechanical Laboratory of China Agriculture Research System, Guangzhou 510642, China; 3. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

**Abstract:** At present, distinguishing overlapped leaves is the difficulty of measuring *LAI* (leaf area index). In this paper, a new method for the detection of *LAI* of overlapped leaves was proposed. The citrus leaves were put under the direct parallel light and the photoelectric sensor was used to measure the transmitted light energy. The output voltage signal of the sensor was sent into the computer through the data acquisition card. Then, the amount of overlapped layers was determined automatically by LabVIEW software programming. The amount of overlapped layers multiplied by the area of the sensor receiver was the area of the leaves. The total area of the leaves was the cumulative leaf area in the whole testing process and the *LAI* could be calculated. According to the experimental results, near-infrared was chosen as the photosource and a near-infrared photoelectric sensor was designed. The short circuit current  $I_1$  and  $I_2$  had a good linear relationship with the preamplifiers output voltage  $U_1$  and the main output voltage  $U_2$ . The significant level of  $R^2$  was  $p < 0.05$ . The data acquisition experimental results showed that the absolute value of the maximum relative error between the value of *LAI* calculated by this platform and the real value of *LAI* obtained by grid method was 14.8%, in the mode of manual scanning. Moreover, the *LAI* with distant leaves was tested in preliminary stage showing a power function with the leaf distance significantly.

**Key words:** sensors, testing, optical variables measurement, leaf area index, overlapped leaves, virtual instruments