

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.038

基于三维点云颜色特征的苹果树冠层光照分布计算方法^{*}

马晓丹^{1,2} 郭彩玲¹ 张雪¹ 马丽¹ 张丽娇¹ 刘刚¹

(1. 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;

2. 黑龙江八一农垦大学信息技术学院, 大庆 163319)

摘要: 合理的果树冠层结构有利于获取充足的光照,对提升果实产量及品质具有重要意义。为了揭示果树冠层光照分布规律,以自由纺锤形苹果树为研究对象,以目标图像的颜色变化与光照强弱存在相关性为理论依据,首先利用 Trimble TX5 型地面三维激光扫描仪以“顶视法”获取叶幕稳定期苹果树冠层三维点云,按照实际苹果树冠层划分方法,提取三维点云空间不同区域的颜色特征,针对自然环境下苹果树冠层颜色特征具有复杂性和模糊性,不能采用精确、定量的符号对其进行描述的不足,构建以颜色特征为输入、相对光照强度为输出的模糊神经网络,以此作为苹果树冠层光照分布预测模型。试验结果表明:提出的基于三维点云颜色特征的光照分布计算方法具有较好的可行性,预测精度为 80.57%,能够为科学合理的苹果树修剪和整形提供技术支撑。

关键词: 苹果树冠层 颜色特征 三维点云 光照分布计算 模糊神经网络

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)06-0263-06

Calculation of Light Distribution of Apple Tree Canopy Based on Color Characteristics of 3D Point Cloud

Ma Xiaodan^{1,2} Guo Cailing¹ Zhang Xue¹ Ma Li¹ Zhang Lijiao¹ Liu Gang¹

(1. Key Laboratory for Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. College of Information Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: Study on light distribution of apple tree canopy is one of the important ways to optimize type of fruit trees and improve potential production. The reasonable and effective use of light energy and optimization of light distribution within fruit tree canopy have vital significance for the formation of fruit tree growth and fruit quality. Calculation method of light distribution of free spindle apple canopy was carried out. In recent years, there were several researches on light distribution of plant canopy on the basis of three dimensional morphology of plant canopy by using mathematical simulation methods which could not express the real light distribution. In order to reveal real light distribution rule of canopy intelligently and efficiently, apple trees of spindle shape were selected as research objects, and based on the correlation that the target image color changed with the light intensity. Firstly, 3D point cloud of apple tree canopy in leaf curtain stability period was captured by Trimble TX5 laser scanner; secondly, according to the actual canopy division method, color information of different areas in 3D canopy space was extracted; thirdly, aiming at the shortcomings of complexity, fuzziness and indescribability by precise and quantitative symbols under natural environment, the fuzzy neural network was constructed to predict light distribution with color characteristic as input and relative light intensity as output. The experimental results showed that the precision of the proposed method had good feasibility, the prediction accuracy was

收稿日期: 2015-04-02 修回日期: 2015-04-25

^{*} 国家自然科学基金资助项目(31371532)

作者简介: 马晓丹, 博士生, 黑龙江八一农垦大学副教授, 主要从事计算机农业应用技术研究, E-mail: bynd_mxd@163.com

通讯作者: 刘刚, 教授, 博士生导师, 主要从事电子信息技术在农业中的应用研究, E-mail: pac@cau.edu.cn

80.57%。The result of this study will provide theoretical basis for scientific pruning to get the best light distribution.

Key words: Apple tree canopy Color characteristic 3D point cloud Calculation of light distribution Fuzzy neural network

引言

苹果树冠层光分布是优化果树株型、提升生产潜力的重要途径之一。合理有效地利用光能、优化果树冠层内的光照分布,对果树生长发育和果实品质的形成具有重要的意义^[1-3]。其中叶幕稳定期的光照分布研究,对于指导果树的整形修剪、提升果实产量与品质具有重要意义。因此叶幕稳定期苹果树冠层空间光照分布情况的快速解析具有重要的探索价值。

传统光照测量方法是采用冠层分析仪,以“底视法”形式拍摄果树冠层的全天空照片,分析光斑、透光率等指标,来描述穿透辐射形式的太阳光照分布情况;冠层获取的太阳光照通常采用将冠层网格化的方法,使用光照度计测定果树冠层内每个测光点的光照分布^[4]。不足之处是信息获取速度较慢。近年来,在植物冠层三维形态分析基础上,开展了大量的植物冠层空间光能分布的研究^[5-8],其不足之处在于不易表达真实光照分布。而三维激光扫描技术的迅速发展较大地提高了目标物获取的速度和精度^[9-11],为获取苹果树冠层三维结构,开展光照分布计算方法研究提供了有力手段。

依据物理几何光学原理,光的传播和截获是在介质表面发生的。颜色是光的表现形式,受光体根据对光的吸收和反射能力呈现出不同颜色^[12]。冠层各个器官经太阳光照后,其光谱成分发生了变化,这种变化也会导致表面颜色发生相应的变化。而呈现在观察者眼中的图像由光亮度大小与受光体本身颜色构成。一些学者对此进行了研究^[13-15]。

以上光学理论及相关研究表明:光照强度与彩色图像中表现的颜色特征具有相关性。通过深入研究三维重建的苹果树冠层空间中颜色特征与光照度间关系,根据冠层三维空间中的颜色信息,快速获悉苹果树冠层三维空间光照分布特征,具有重要的探索价值。在快速重建苹果树冠层三维结构的基础上,针对叶幕稳定期的苹果树开展冠层光照分布计算方法的研究未见报道。本文采用 Trimble TX5 地面三维激光扫描仪获取苹果树冠层具有颜色信息的三维点云,并实测苹果树冠层空间的相对光照强度,利用模糊神经网络建立二者关系,提出基于三维点云颜色特征的苹果树冠层光照分布计算方法,实现苹果树冠层光照强度的预测,以期苹果树剪枝提供依据。

1 苹果树冠层相对光照强度获取及解析

1.1 苹果树冠层相对光照强度获取

2014年7—10月在已建立的苹果采摘机器人试验基地(北京市昌平区香堂村)内开展光照分布计算方法的研究。试材品种为富士,定植于2007年,行距4.5 m,株距3 m,树高3.5 m,树盘覆盖,行间生草,灌水条件良好,采用常规管理方式进行冬季修剪。选取长势良好、树势一致的自由纺锤形苹果树为研究对象,共设计3个处理样本。

相对光照强度的测定是构建光照分布预测模型的重要步骤,是模型的输入参数及预测目标。为评价冠层空间光照分布情况,以树干为中心,首先用细铁丝将处理样本的冠层空间进行网格划分。依据处理样本冠层的实际大小,冠层空间均被划分为5层,每层6个网格,每个网格为40 cm × 40 cm × 40 cm的立方体,划分效果如图1所示。



图1 冠层空间区域划分

Fig. 1 Division of canopy space

由于外界自然光强度具有随时间及天气变化的特性,为了能够快速获取苹果树冠层空间不同网格内同一时刻的相对光照强度,开发了光照度传感器节点,依据划分的网格数量,该节点设定为可同时连接6个光照度传感器,并将其固定于不易弯曲的矩形铝板上,传输线定制为4 m,将自主开发的光照度采集软件安装于便携式移动终端中,通过该软件实现多个光照度传感器节点数值的同步采集。测量时,随着苹果树冠层空间高度的变化,铝板两端人为抬起,由预先放置的水平仪作为参考,保证铁板保持水平,以获取更为精确的光照度。测量现场如图2所示。测定时,每个网格分区随机取3个点,并取平均值,同时测定外界的光照强度,求得二者比值作为该网格分区的相对光照强度,叶幕稳定后,每月各连

续测定 3 个晴日。



图 2 光照强度测量

Fig. 2 Measurement of light intensity

1. 矩形铝板 2. 传感器 3. 水平仪

1.2 苹果树冠层内部空间光照强度分布解析

冠层内光照强度分为 4 个层次,即 0~30%、30%~

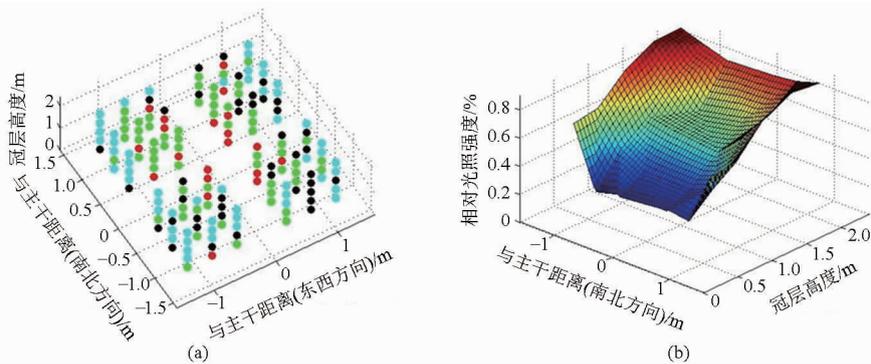


图 3 冠层空间相对光照强度分布及趋势

Fig. 3 Distribution and trend of relative light intensity of canopy space

(a) 冠层相对光照强度分布 (b) 相对光照强度分布趋势

从相对光照强度分布趋势图可以看出,自由纺锤形苹果树冠层内相对光照强度的分布总趋势是由内部到外部、从上层到下层逐步递减;在水平方向同一层次上的分布是距离树干越近,相对光照强度越低;在垂直方向上层与中层均高于下层,上层 3 m 以上的相对光照强度均在 60% 以上,下层 1.5 m 以下的相对光照强度均低于 30%。此分布规律符合自由纺锤形苹果树冠层内的光照分布规律,证明了本文光照强度数据获取的合理性与准确性。

2 苹果树冠层三维点云获取

苹果树冠层三维点云获取方式采用“顶视法”。“顶视法”是指从冠顶至冠底的一种观测角度,可较大程度避免在地面以不同观测角度解析光照分布的复杂特性^[16]。为了能够实现基于“顶视法”的苹果树冠层扫描,自主设计了试验装置,该装置包括 3 部分:轨道、三脚架及水平臂。轨道长 6 m,三脚架高度可调整至 4 m,水平臂可延伸至 2.5 m。试验过程中,轨道必须摆放平整,三脚架可在轨道上平滑移动,水平臂用于倒置安放 Trimble TX5 型地面三维激

60%、60%~85%及85%~100%,其中0~30%的区域称为无效光区,其体积比例越大,说明越应该进一步加大修剪量、调节冠层中枝叶数量及其空间分布;60%~85%的区域称为优质光区,该区域是富士苹果优质的最适取值范围。

对于已获取的光照强度,采用 Matlab 7 软件进行处理与分析,得到处理样本冠层的相对光照强度分布图及其分布趋势图,如图 3 所示。其中相对光照强度分布图中,各个点的颜色含义为:红色表示无效光区,蓝色表示 80%~100% 的光区,绿色表示 60%~80% 的光区,黑色表示 30%~60% 的光区。相对光照强度分布图可以清晰地表示出苹果树冠层空间各网格区域的相对光照强度情况。

光扫描仪。该设备的激光单元测量范围为 120 m,测距误差为 2 mm,彩色单元分辨率为彩色像素数,且能够自主发射无线 Wi-Fi。由于装置较高,触屏操作难度大,因此采用了手机终端控制方式实现扫描仪远程控制。采用该方法获取的具有颜色特征的冠层群体三维点云如图 4 所示。

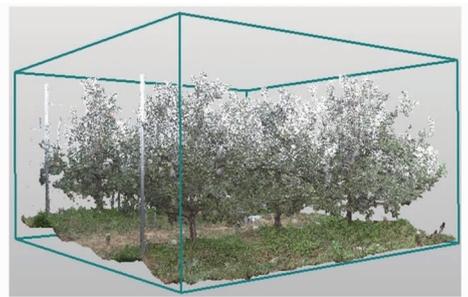


图 4 具有颜色特征的苹果树冠层三维点云

Fig. 4 3D point cloud of apple trees canopy with color characteristic

为快速解析果树冠层空间的光照分布情况,并依据颜色特征与光照强度存在相关性为理论前提,开展基于三维点云颜色特征的苹果树冠层光照分布计算方法研究。首先利用 Trimble TX5 型地面三维

激光扫描仪以“顶视法”获取具有颜色信息的三维点云,在配套软件 Trimble Realworks 中完成配准拼接工作、手动去除无效点云、保留目标点云,完成目标物三维重建工作;然后依据实际苹果树冠层的划分方法,利用软件逐层切割功能完成苹果树冠层网格划分,依次输出对应点云集,由于文献[14]中验证了 HIS 颜色空间中光照强度变化与图像饱和度和亮度具有较强相关性,因此将点云 RGB 颜色值转换到 HIS 颜色空间;最后建立颜色值与对应冠层网格相对光照强度的关系模型。基于三维点云颜色特征的苹果树冠层光照分布计算方法流程如图 5 所示。

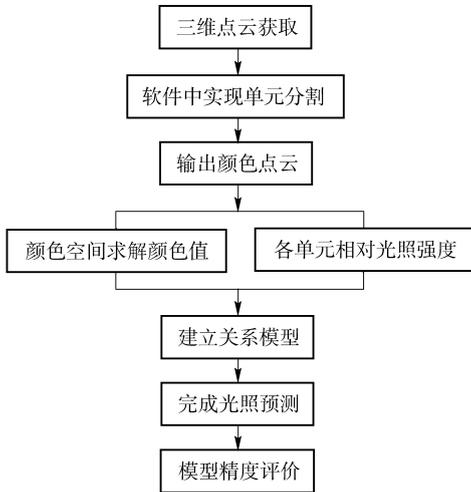


图 5 基于三维点云颜色特征的光照分布计算方法流程

Fig. 5 Flow chart of light distribution calculation method based on 3D point color characteristic

3 苹果树冠层光照分布计算方法

自然环境下苹果树冠层颜色特征具有复杂性和模糊性,不能采用精确、定量的符号对其进行描述,模糊推理能够表达模糊性事务,但是缺乏学习能力;神经网络能够自适应学习,但不能表达模糊知识。将二者结合起来,构成模糊神经网络(Fuzzy neural network, FNN)作为生长环境存在复杂性和不确定性因素的苹果树冠层光照分布预测模型,旨在提出一种快速且精确、高效且稳定的苹果树冠层光照分布计算方法,为科学地苹果树整形修剪与果园管理提供相关理论依据。

本文提出的苹果树冠层光照分布计算方法,以苹果树冠层三维点云的实际颜色值作为输入量,相对光照强度为输出量,能够预测冠层的实际相对光照强度,弥补了传统数学方法用于模拟光照分布、不易表达实际光照的不足。

基于 Tkagi - Sugeno (TS),模糊逻辑系统的标准前馈模糊神经网络结构共有 5 层,相邻两层之间的连接都对应有一个权值^[17]。TS 模糊神经网络需要

调整的是模糊化层的隶属度函数中心 c_i^j 及宽度 b_i^j , 设共有 P 个样本, M 个输出节点,则定义网络误差函数为

$$E = \sum_{i=1}^L (y_i - d_i)^2 - \|y - d\|_2^2 \quad (1)$$

式中 $[y_1 \cdots y_L]^T$ ——神经网络的实际输出

$[d_1 \cdots d_L]^T$ ——神经网络的期望输出

$\|\cdot\|_2$ ——向量的 2 范数

则参数 c_i^j 、 b_i^j 的调整规则为

$$\Delta c_i^j(t) = \alpha \frac{\partial E}{\partial c_i^j} + \beta \Delta c_i^j(t-1) \quad (2)$$

$$\Delta b_i^j(t) = \alpha \frac{\partial E}{\partial b_i^j} + \beta \Delta b_i^j(t-1) \quad (3)$$

式中 α ——网络学习速度 β ——惯性系数

4 光照分布计算方法有效性验证

4.1 确定网络模型输入层及输出层数据

苹果树冠层三维点云数据获取与对应光照强度测量同步进行。按照第 2 节的描述,以叶幕稳定期中的成熟期为例,采用“顶视法”获取苹果树冠层三维点云,试验现场及获取的成熟期苹果树冠层三维点云如图 6 所示。

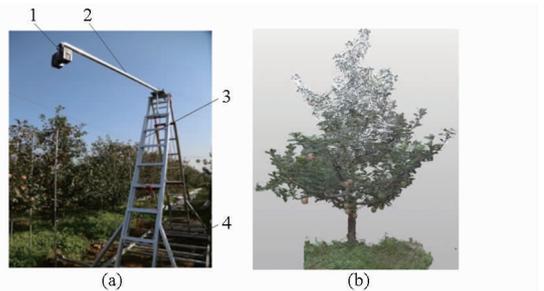


图 6 基于“顶视法”的成熟期冠层三维点云获取

Fig. 6 3D point cloud acquisition of apple trees canopy at mature stage based on “top view method”

(a) 试验现场 (b) 成熟期冠层三维点云

1. Trimble TX5 型地面三维激光扫描仪 2. 水平臂 3. 三脚架
4. 轨道

利用 Trimble TX5 型地面三维激光扫描仪配套的 Trimble Realworks 三维点云处理软件,以图 6b 为例模拟第 1 节中实际冠层空间划分,如图 7 所示,按照设定高度分割三维点云冠层空间,各层用不同颜色表示,提取冠层每一层三维点云,导出对应 RGB 颜色信息,并转化到 HIS 颜色空间,以此作为 TS 模糊神经网络的输入。同步测量对应网格的相对光照强度作为网络的输出。

4.2 确定网络模型结构

TS 模糊神经网络模型结构需要依据实际问题设计,输入节点数由输入特征维数确定,输出节点数

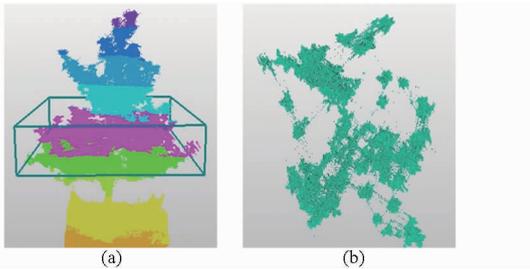


图 7 三维冠层分层效果图

Fig. 7 Layered effect of 3D canopy

(a) 三维冠层分层 (b) 选定层点云

由分类维数确定。选择 HIS 颜色空间作为输入,即输入层节点数为 3;由此计算得到模糊化层节点数为 9;规则层节点数为 9;去模糊层节点数为 27;由于输出值为相对光照强度,输出层为一维模式,其节点数为 1;因此网络结构为 3-9-9-27-1 型。定义目标精度为 0.000 1,学习速度 0.9,惯性系数 0.4,最大学习次数 100 000。

4.3 网络模型有效性验证

选择第 1 节中的 3 棵自由纺锤形苹果树作为处理样本,每棵树冠层被分割成 180 个网格,3 棵树网格共计 540。选择其中 510 个网格对应三维网格中的颜色值及实际相对光照强度作为训练样本,剩余 30 个网格作为预测样本,将训练样本输入模型,按照设定的网络结果训练网络,从图 8 可以看出,网络在训练 77 092 次时收敛,且达到了定义的目标精度 0.000 1。

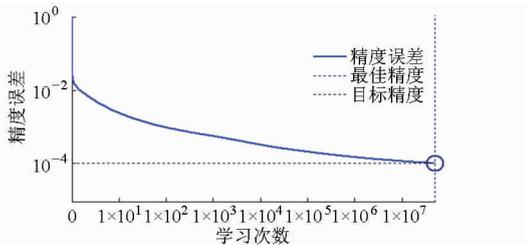


图 8 模糊神经网络模型训练效果

Fig. 8 Training effect of fuzzy neural network model

为验证 FNN 模型的性能,在设置相同网络参数及训练样本条件下,与 BP 神经网络及遗传算法优化的 BP 神经网络(GA-BP)性能进行对比,结果如表 1 所示,BP 神经网络不收敛,FNN 模型从迭代次数、训练时间、识别时间方面与 GA-BP 神经网络相比均呈现优势,因此更适用于苹果树冠层的光照分布计算。

为进一步验证基于三维点云颜色特征的光照分布预测模型的精确度及有效性,采用预测值与实际值间的决定系数、均方根误差、平均绝对百分比误差、平均预测误差等指标评价该预测模型的性能^[18-19]。决定系数表明光照预测值与实际值之间

的相关程度,该值越大表示二者相关程度越高。

表 1 不同神经网络性能对比

Tab. 1 Performance comparison of different neural network models

算法名称	迭代次数	训练时间/s	识别时间/s
BP	不收敛	241	-
GA-BP	100 000	337	2.75
FNN	77 092	309	1.74

通过一元线性回归分析,得到的预测相对光照强度与实际相对光照强度的关系如图 9 所示,决定系数 R^2 为 0.820 3,线性关系式为: $y = 1.697 5x - 0.553 5$ 。

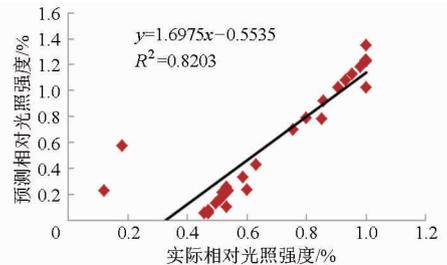


图 9 相对光照强度的模型预测值与实际测量值拟合关系

Fig. 9 Fitting relationship of predicted and measured relative light intensities

对模型有效性的评价指标进行计算,其中均方根误差为 0.224 9,平均绝对百分比误差为 19.89%,平均预测误差为 0.194 3,模型预测精度为 80.57%,模型达到了较高的精度,因此该模型可以作为有效的基于三维点云颜色特征的光照分布预测模型。

经分析,影响预测正确率的因素如下:实测苹果树冠层网格空间光照强度是随机选取 3 个位置光照强度的平均值,随机点位置及数量是影响预测正确率的重要因素;冠层叶片对网格空间的遮盖程度会随风力而变化,进而对光照强度测量产生干扰,可见果园环境中是否有风也会对精度有一定影响。

因此,在后续的试验中,尽可能保证在无风的环境中进行,同时增加冠层网格随机点的数量,以期提高模型预测的精确度。

5 结论

(1)以自由纺锤形苹果树为研究对象,以颜色特征与光照强度存在相关性理论与前提,开展冠层光照分布计算方法研究,预测精度为 80.57%。试验结果表明,该计算方法具有实际应用价值。

(2)构建了 5 层 TS 模糊神经网络,将苹果树冠层三维点云的 HIS 颜色特征作为模型输入,实际相对光照强度作为输出,网络模型能够达到指定精度

要求。

(3)模型构建离不开实际测量的光照强度数据,但当构建好模型后,在晴天且无风的环境下,只需获取苹果树冠层具有颜色信息的三维点云,

即可通过模型预测实际的光照强度,无需实地测量,达到了快速且较准确地获取苹果树冠层光照分布的目的,可为科学合理的苹果树修剪和整形提供技术支撑。

参 考 文 献

- 1 Patrieia S. Effects of orchard geometry on light distribution[J]. *Acta Horticulturae*, 1990, 276: 265 - 272.
- 2 鲁韧强,王小伟,郭宝林,等. 桃树倾斜主干片展形的光照分布与果实产量品质的关系[J]. *果树学报*, 2003, 20(6): 509 - 511.
Lu Renqiang, Wang Xiaowei, Guo Baolin, et al. Effects of light distribution on yield and fruit quality of Ruipan 5 flat peach variety trained in slanting central leader system[J]. *Journal of Fruit Science*, 2003, 20(6): 509 - 511. (in Chinese)
- 3 Windmer A, Krebs C. Influence of planting density and tree form on yield and fruit quality of "Golden delicious" and "Royal Gala" apples[J]. *Acta Horticulture*, 2001, 557: 235 - 241.
- 4 阎腾飞,王华田,耿兵,等. 25年生"富士"苹果园冠层光能分布格局及其季节变化规律[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(16): 200 - 205.
Yan Tengfei, Wang Huatian, Geng Bing, et al. Solar radiation distribution pattern in canopy interspaces and its seasonal fluctuation in a 25-year-old 'fuji' apple orchard[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(16): 200 - 205. (in Chinese)
- 5 Campbell G S. Extinct coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1986, 36(4): 317 - 321.
- 6 Jackson J E. Light interception and utilization by orchard syntheses[J]. *Horticultural Reviews*, 1980(2): 208 - 267.
- 7 王锡平. 玉米冠层光合有效辐射三维空间分布模型的构建与验证[D]. 北京:中国农业大学, 2004.
Wang Xiping. The modelling of three dimensional distribution of photosynthetically active radiation in maize canopy[D]. Beijing: China Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 8 劳彩莲. 基于蒙特卡罗光线跟踪方法的植物三维冠层辐射传输模型[D]. 北京:中国农业大学, 2005.
Lao Cailian. Three dimensional canopy radiation transfer model based on Monte Carlo ray tracing[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 9 韦雪花,王永国,郑君,等. 基于三维激光扫描点云的树冠体积计算方法[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(7): 235 - 240.
Wei Xuehua, Wang Yongguo, Zheng Jun, et al. Tree crown volume calculation based on 3-D laser scanning point clouds data[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(7): 235 - 240. (in Chinese)
- 10 Abellán A, Vilaplana J M, Martínez J. Application of a long-range terrestrial laser scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain)[J]. *Engineering Geology*, 2006, 88(3 - 4): 136 - 148.
- 11 Bremer M, Sass O. Combining airborne and terrestrial laser scanning for quantifying erosion and deposition by a debris flow event [J]. *Geomorphology*, 2012, 138: 49 - 60.
- 12 郝允祥,陈遐举,张保洲. 光度学[M]. 北京:中国计量出版社, 2010.
- 13 杨玉萍,崔旭东,余瑛,等. 日光温室不同遮阳处理对青椒颜色和产量的影响[J]. *山东农业科学*, 2013, 45(8): 64 - 66.
Yang Yuping, Cui Xudong, Yu Ying, et al. Different shading effects on color and yield of pepper in solar greenhouse[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2013, 45(8): 64 - 66. (in Chinese)
- 14 于丽杰,李德胜,董南萍. 视觉检测中的光照强度优化研究[J]. *计算机工程与应用*, 2012, 48(17): 178 - 182.
Yu Lijie, Li Desheng, Dong Nanping. Research on lighting intensity optimum in vision inspection system [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2012, 48(17): 178 - 182. (in Chinese)
- 15 Liu Y L, Qin X Y, Xu S H, et al. Light source estimation of outdoor scenes for mixed reality[J]. *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics*, 2009, 25(5 - 7): 637 - 646.
- 16 Han S H, Bauks T F. 3D reconstruction of a citrus canopy[C]//2009 ASAE Annual Meeting, ASABE Paper 097398, 2009.
- 17 杨杰,占君,张继传. Matlab神经网络30例[M]. 北京:电子工业出版社, 2014: 108 - 110.
- 18 程洪, Lutz Damerow, Michael Blanke, 等. 基于图像处理与支持向量机的树上苹果早期估产研究[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(3): 9 - 14.
Cheng Hong, Lutz Damerow, Michael Blanke, et al. Early fruit-yield forecast of 'Gala' apple trees using image processing combined with a support vector machine[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(3): 9 - 14. (in Chinese)
- 19 樊仲谋,冯仲科,郑君,等. 基于立方体格网法的树冠体积计算与预估模型建立[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(3): 320 - 327.
Fan Zhongmou, Feng Zhongke, Zheng Jun, et al. An establishment of tree crown volume calculation and prediction model using cubic lattice method [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(3): 320 - 327. (in Chinese)