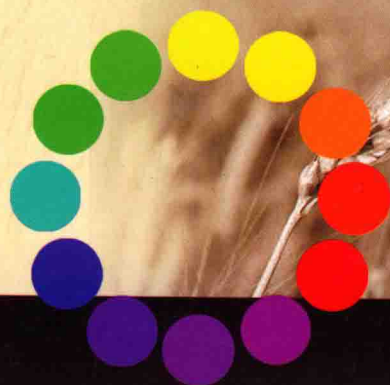


Guangpu Zhenduan Jishu zai Nongchanpin Pinzhi
Jiance zhong de Yingyong

光谱诊断技术在农产品品质 检测中的应用

刘燕德

著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

Guangpu Zhenduan Jishu zai Nongchanpin Pinzhi
Jiance zhong de Yingyong

光谱诊断技术在农产品品质 检测中的应用

刘燕德

著



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书由国家自然科学基金(No. 61640417、No. 51265015)、江西省 2011 协同创新专项资金“南方山地果园智能化管理技术与装备”项目(赣财教指〔2014〕156 号)、江西省优势科技创新团队建设计划项目(20153BCB24002)、江西省创新能力建设项目(赣发改高技〔2016〕1074 号)、江西省光电检测工程技术研究中心项目(20161BCD40021)和江西省科技支撑计划项目(20121BBF60054)联合资助出版。全书共 8 章,包括光谱诊断基础知识、水果内部品质近红外光谱在线检测、水果品质便携式近红外光谱检测、水果农药残留拉曼光谱快速检测、果树生长信息及病害高光谱检测、水稻种子机器视觉检测、辣椒品质近红外光谱检测、鸡蛋品质近红外光谱检测。本书一方面注重光谱诊断技术的基本概念和原理介绍,另一方面凝聚作者多年教学和科研实践经验,着重介绍了光谱诊断技术在农产品应用中的实例详解。作者将多年的研究成果渗透到每章相关的内容中,使全书理论与实践相结合。

本书是作者长期从事光谱诊断技术教学和科研工作的积累,可供光谱诊断技术领域工作者使用,也可供从事机电工程、光电工程、近红外光谱技术、高光谱技术、拉曼光谱技术、机器视觉技术的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

光谱诊断技术在农产品品质检测中的应用/刘燕德著. —武汉:华中科技大学出版社,2017.1
ISBN 978-7-5609-8460-5

I. ①光… II. ①刘… III. ①光谱诊断-应用-农产品-质量检验-研究 IV. ①S37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 311194 号

光谱诊断技术在农产品品质检测中的应用

刘燕德 著

Guangpu Zhenduan Jishu zai Nongchanpin Pinzhi Jiance zhong de Yingyong

策划编辑:万亚军

责任编辑:刘 飞

封面设计:原色设计

责任校对:曾 婷

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉三月禾文化传播有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:10.25 插页:2

字 数:217 千字

版 次:2017 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:38.00 元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

随着信息处理技术的发展,光谱诊断技术作为一门研究光与物质相互作用的新兴技术,已成为信息科学的重要组成部分。光谱诊断技术具有检测精度高、速度快、无损伤、绿色无污染、信息量大等突出特点。它将光学技术与现代电子技术相结合,广泛应用于工业、农业、医学等领域。光谱诊断技术结合化学计量学的方法,为农产品品质快速无损检测提供了新的解决方案。

光谱诊断技术在农产品品质检测方面得到了广泛应用,该技术在不损伤检测对象的前提下,可实现检测对象多种物理参数的快速检测,如水果的糖度、酸度、维生素、干物质,以及其他营养成分,还适用于其他各种农副产品的品质分析,如饲料、食品、蔬菜、烟叶等。光谱诊断技术可使传统的农产品品质检测装置智能化。本书将重点阐述近红外光谱、拉曼光谱、高光谱诊断及机器视觉技术在农产品品质无损检测中的应用,并以多年来的应用实例进行系统讲解。

本书根据光谱诊断技术的快速发展,结合笔者长期从事农产品品质无损检测的教学与科研积累编写而成。本书是由笔者在国家高新技术 863 计划、国家自然科学基金、国家科技支撑计划、科技部农业科技成果转化基金等国家级项目资助下完成的。全书共分为 8 章,主要包括光谱诊断基础知识、水果内部品质近红外光谱在线检测、水果品质便携式近红外光谱检测、水果农药残留拉曼光谱快速检测、果树生长信息及病害高光谱检测、水稻种子机器视觉检测、辣椒品质近红外光谱检测及鸡蛋品质近红外光谱检测。各章在内容上力求做到选材新颖、内容丰富、图文并茂,可供在光电检测技术学科领域学习的本科生和相关科研人员使用,也可供从事机电工程、自动化电子技术和测控技术研究及应用的科技工作者参考。

本书是笔者多年来的研究成果,包含了笔者在攻读博士学位和硕士学位期间导师的宝贵指导,以及笔者在国内指导过的各位研究生的贡献。由于这些研究成果大部分均在国内外学术期刊上发表过,因此也包含了国内外论文审稿专家和期刊编辑的心血。在本书的撰写过程中,孙旭东、欧阳玉平、欧阳爱国、郝勇、王海阳、陈洞滨、王均刚及吴至境老师,以及姜小刚、张宇翔、李轶凡、吴明明、靳县县、邓清、欧阳思怡、周鑫、肖怀春、胡军等研究生均提供了帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于笔者研究水平及编写时间有限,书中难免存在疏漏与不足,恳请同行专家、学者及广大读者批评指正。

刘燕德

2017 年 1 月

目 录

第 1 章 光谱诊断基础知识	(1)
1.1 近红外光谱诊断技术	(1)
1.2 高光谱诊断技术	(3)
1.3 拉曼光谱诊断技术	(5)
1.4 机器视觉技术	(7)
第 2 章 水果内部品质近红外光谱在线检测	(10)
2.1 研究的意义、目标与技术要点	(10)
2.2 实验材料与方法	(11)
2.3 研究结果与分析	(16)
2.4 主要研究结论	(44)
第 3 章 水果品质便携式近红外光谱检测	(46)
3.1 研究的意义、目标与技术要点	(46)
3.2 实验材料与方法	(47)
3.3 研究结果与分析	(53)
3.4 主要研究结论	(70)
第 4 章 水果农药残留拉曼光谱快速检测	(71)
4.1 研究的意义、目标及技术要点	(71)
4.2 实验材料与方法	(72)
4.3 研究结果与分析	(74)
4.4 主要研究结论	(92)
第 5 章 果树生长信息及病害高光谱检测	(93)
5.1 研究的意义、目标与技术要点	(93)
5.2 实验材料与方法	(94)
5.3 研究结果与分析	(98)
5.4 主要研究结论	(113)
第 6 章 水稻种子机器视觉检测	(114)
6.1 研究的意义、目标与技术要点	(114)
6.2 实验材料与方法	(115)

6.3	研究结果与分析	(124)
6.4	主要研究结论	(128)
第 7 章	辣椒品质近红外光谱检测.....	(130)
7.1	研究的意义、目标与技术要点.....	(130)
7.2	实验材料与方法	(131)
7.3	研究结果与分析	(133)
7.4	主要研究结论	(148)
第 8 章	鸡蛋品质近红外光谱检测.....	(149)
8.1	研究的意义、目标与技术要点.....	(149)
8.2	实验材料与方法	(150)
8.3	研究结果与分析	(152)
8.4	主要研究结论	(156)
参考文献		(157)

第 1 章 光谱诊断基础知识

1.1 近红外光谱诊断技术

1.1.1 基本原理及方法

近红外光是一种在可见和中红外间的电磁波,其波长在 780~2526 nm 以内,是人类最早认识的非可见光。近红外光谱在波谱中的位置如图 1-1 所示。

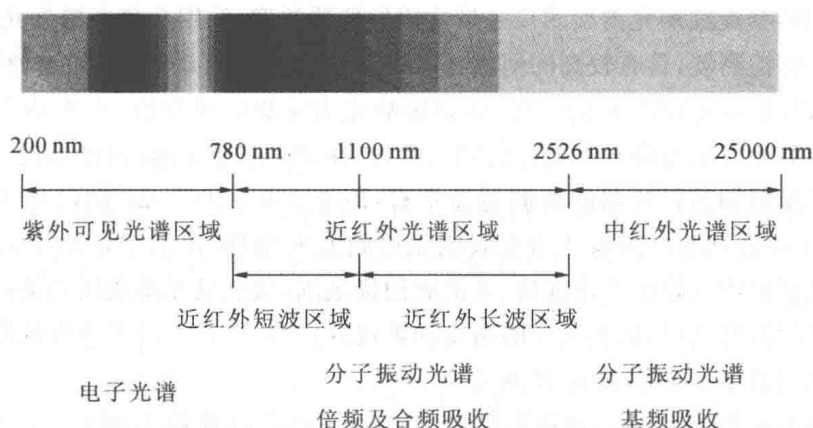


图 1-1 近红外光谱所在位置示意图

近红外光谱区主要是通过有机分子含氢基团(C—H、N—H、O—H 等)的伸缩振动的各级倍频及其伸缩振动与弯曲振动的合频吸收产生的,几乎包括了有机物中所有含氢基团的信息,蕴含着分子的结构、组成状态等信息,信息量极为丰富,从而为近红外光谱检测技术分析样品的物理性质(如物质的密度、黏度、粒度、硬度等)及化学成分(如蛋白质、氨基酸、脂肪、淀粉、水分及其他营养成分等)提供了可能。

近红外光谱检测技术,主要是利用当近红外光照射到水果表面时,水果内部成分引起光的吸收、反射和散射等现象,从而确定水果组成成分的一种技术手段,其具有快速检测、成本低、无须预处理、无损测量等突出特点,所以在水果品质检测应用中越来越广泛。

近红外光谱分析技术的基本原理主要依托于样品在某些谱区,光的吸收强度与吸收的光粒子数之间存在的关系,同时通过衡量样品中所吸收的光粒子数与通过样

品中的总光粒子的关系来定量分析的。

1.1.2 系统组成

近红外光谱检测仪器主要由光源、分光系统、检测器、测样附件和数据处理系统组成。根据光的分光方式,其可分为滤光片型、光栅扫描型和傅里叶变换型近红外光谱检测仪。

1. 滤光片型近红外光谱检测仪

滤光片型近红外光谱检测仪主要作为专用分析仪器,如烟草水分测定仪、油品专用分析仪。为提高测定结果的准确性,现在的滤光片型仪器往往装有多个滤光片供用户选择。此类仪器可自带微处理器,还可带有 RS-232 串行接口,用于从计算机接收校正方程和将光谱数据传送至计算机中。这类仪器的优点是采样速度快、比较坚固,可做成实时分析的手提式仪器;缺点是建立的模型不强大,适用性差,只能在单一波长或少数几个波长下测定,灵活性差。

2. 光栅扫描型近红外光谱检测仪

光栅扫描型近红外光谱检测仪是最常用的仪器类型,采用全息光栅分光、PbS 或其他光敏元件作检测器,具有较高的信噪比。由于仪器中的可动部件(如光栅轴)在连续高强度的运行中可能存在磨损问题,从而影响光谱采集的可靠性,不大适合于在线分析。这类仪器的光源为带石英外壳的钨卤素灯,在 360~3000 nm 的区域提供高能量的输出。用于反射和透射仪器的检测器通常有:用于 360~1000 nm 的硅检测器及用于 900~2600 nm 的 PbS 检测器。为克服硫化铅的温度漂移,常采用带制冷的 PbS 检测器。这类仪器的优点是扫描速度快、可扩展扫描范围,缺点是光栅或反光镜的机械轴长时间连续使用容易磨损,影响波长的精度和重现性,不适合作为过程分析仪器使用。

3. 傅里叶变换型近红外光谱检测仪

傅里叶变换型近红外光谱检测仪是目前近红外光谱仪器中的主导产品,具有较高的分辨率和扫描速度。最近推出的 FT-NIRS 仪器对干涉仪部分作了改进,减少了对振动、温度和湿度的敏感性。此类仪器以迈克尔逊干涉仪为核心,其光源采用钨灯,分束器有石英、CaF₂、KBr-Ge 等,检测器有在低温液氮下工作的 InSb、InGaAs,还有常温下工作的 Si、PbS 等。这类仪器的优点是扫描速度快、波长精度高、分辨率好;缺点是由于干涉仪中动镜的存在,使仪器的在线长久可靠性受到一定的限制,另外对仪器的使用和放置环境也有较高的要求。

1.1.3 具体应用

在水果和蔬菜方面,近红外光谱检测仪的测量对象有黄瓜、大白菜、西红柿、鲜辣椒、南瓜、水蜜桃、苹果、柑橘等,分析指标有 β -胡萝卜素、糖分、维生素 C、粗蛋白、糖度、酸度和内部褐变等(见表 1-1)。另外,在蔬菜食用安全方面也有所研究,如硝酸盐含量和有机磷农药残留的鉴别等。近红外光在水果品质无损检测方面,逐渐发展到无损智能在线检测阶段。

表 1-1 近红外光谱检测农产品的研究工作

水果品种	检测成分	采用的方法
哈密瓜、甜瓜	糖度、水分、干物质、可溶性固形物	透射方式
香瓜	干物质、糖度、苹果酸	透射方式
芒果、菠萝	糖度、酸度、坚硬度	反射方式
草莓、李子	糖度(Brix)、蔗糖、山梨糖醇、酸度、硬度	反射方式
油桃、樱桃	糖度、酸度、山梨糖醇	反射方式
凤梨、日本梨	干物质、可溶性固形物、蔗糖、葡萄糖、果糖	反射方式或透射
苹果	山梨糖醇、酸度、硬度、叶绿素、水分、还原糖、糖度及苹果酸、褐变、水心病	交互式漫反射
西红柿、温州蜜柑、蜜橘	胡萝卜素、叶绿素、糖度(Brix)、酸度	反射方式

1.2 高光谱诊断技术

1.2.1 基本原理及方法

光谱分辨率在 10 的数量级范围内的光谱图像称为高光谱图像。高光谱是近三十年来基于非常多窄波段的影像数据技术发展起来的,包括了光学、电子学、光电子学、信息处理、计算机科学等众多领域的先进知识,是一种传统的二维成像和光谱学有机融合的新兴学科。

高光谱成像技术是在多光谱成像的基础上,在从紫外到近红外(200~2500 nm)的光谱范围内,利用成像光谱仪,在光谱覆盖范围内的数十或数百条光谱波段对目标物体连续成像。在获得物体空间特征成像的同时,也获得了被测物体的光谱信息。在农业方面,高光谱具有广阔的应用前景,通过作物的光谱特性产生的光吸收的生理特性,以及形成的反射和透射特点,分析它们的生理信息,然后利用农产品的光谱信息得出农产品的品质特性、病理特征和生长状况等有效信息。

高光谱成像仪的扫描过程:用面阵 CCD 探测器在光学焦面的垂直方向上做横向排列完成横向扫描(x 方向),横向排列的平行光垂直入射到透射光栅上时,形成光栅光谱。这是一列像元经过高光谱成像仪在 CCD 上得到的数据。它的横向是 x 方向上的像素点,即扫描的一列像元;它的纵向是各像元所对应的光谱信息。同时,在检测系统输送带前进的过程中,排列的探测器扫出一条带状轨迹从而完成纵向扫描(y 方向)。综合横纵向扫描信息就可以得到样品的三维高光谱图像数据。

1.2.2 系统组成

高光谱成像技术的硬件组成主要包括光源、光谱相机(成像光谱仪+CCD)、装备

有图像采集卡的计算机。光谱范围覆盖了 200~400 nm、400~1000 nm、900~1700 nm、1000~2500 nm。光谱相机的主要组成部分有：准直镜、光栅光谱仪、聚焦透镜、面阵 CCD。高光谱图像检测系统如图 1-2 所示。

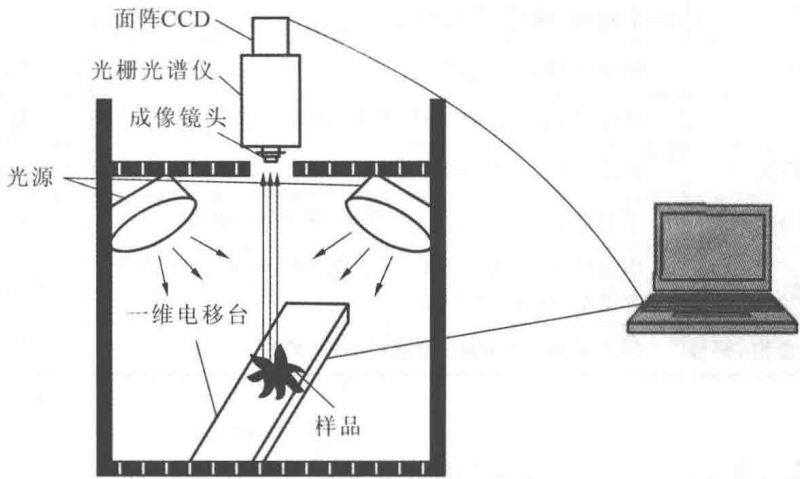


图 1-2 高光谱图像检测系统

1.2.3 具体应用

高光谱检测技术在农产品检测中的应用如表 1-2 所示。

表 1-2 高光谱检测技术在农产品检测中的应用

检测类别	检测对象	检测品质
果蔬内部品质	哈密瓜	糖度
	苹果	糖度、硬度
	蓝莓	SSC、硬度
	鸭梨	SSC
	小黄瓜	水分
果蔬外部品质	蘑菇	冻伤
	苹果	擦伤、压伤、腐烂
	梨	碰压伤
	柑橘、脐橙	腐烂、溃疡
肉类品质	猪肉	嫩度、大肠杆菌、肌内脂肪、蛋白质、水分
	牛肉	蛋白质、水分、脂肪、嫩度
	火鸡	水分、pH 值、颜色
	火腿	嫩度、pH 值、颜色

续表

检测类别	检测对象	检测品质
谷物品质	大米	种类识别
	小麦	真菌感染
	玉米	真菌感染
食品安全品质	苹果、甜瓜、菠菜	粪便物、污染物
	脐橙、油菜	农药残留
	辣椒	污染物
	蓝莓	外来物
	洋葱	病害

1.3 拉曼光谱诊断技术

1.3.1 基本原理及方法

当一束频率为 ν_0 的单色光照射到样品上后,分子可以使入射光发生散射。大部分光只是改变方向发生散射,而光的频率仍与激发光的频率相同,这种散射称为瑞利散射。约占总散射光强度的 $10^{-10} \sim 10^{-6}$ 的散射,不仅改变了光的传播方向,而且散射光的频率也改变了,不同于激发光的频率,这种散射称为拉曼散射。

散射光与入射光之间的频率差 ν 称为拉曼位移,拉曼位移与入射光频率无关,它只与散射分子本身的结构有关。拉曼散射是由于分子极化率的改变而产生的。拉曼位移取决于分子振动能级的变化, ΔE 反映了指定能级的变化。这是拉曼光谱可以作为分子结构定性分析的依据。图 1-3 所示为瑞利散射与拉曼散射的能级示意图。

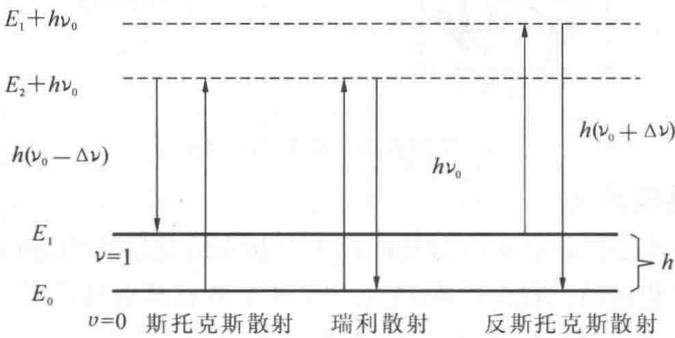


图 1-3 瑞利散射与拉曼散射的能级示意图

1.3.2 系统组成

目前国内外研究机构广泛使用的拉曼光谱仪是光栅色散型拉曼光谱仪,它主要由激光器(光源)、样品外光路、单色仪、放大及探测器、控制器等几部分构成。傅里叶变换拉曼光谱仪利用迈克尔逊干涉仪等部件构成,主要包括光源(一般激发波长为1064 nm 的 Nd-YAG 近红外激光器)、迈克尔逊干涉仪、光探测器、放大和数据处理系统。图 1-4 所示为拉曼光谱采集系统光路示意图。

(1) 激发光源 常用的有 Ar 离子激光器、Kr 离子激光器、He-Ne 激光器、Nd-YAG激光器、二极管激光器等。

(2) 收集光学系统 包括宏观散射光路和配置(前置单色器、偏振旋转器、聚焦透镜、样品、收集散射光透镜(组)、检偏器等),散射配置角度有 0°、90°和 180°,后两者较常用。

(3) 单色器和迈克尔逊干涉仪 有单光栅、双光栅或三光栅,一般使用的平面全息光栅干涉器与 FTIR 上使用的相同,为多层镀硅的 CaF_2 或镀 Fe_2O_3 的 CaF_2 分束器。也有用石英分束器及扩展范围的 KBr 分束器。

(4) 检测和控制系統 传统的采用光电倍增管,目前多采用 CCD 探测器,FTIRaman 常用的检测器为 Ge 或 InGaAs 检测器。

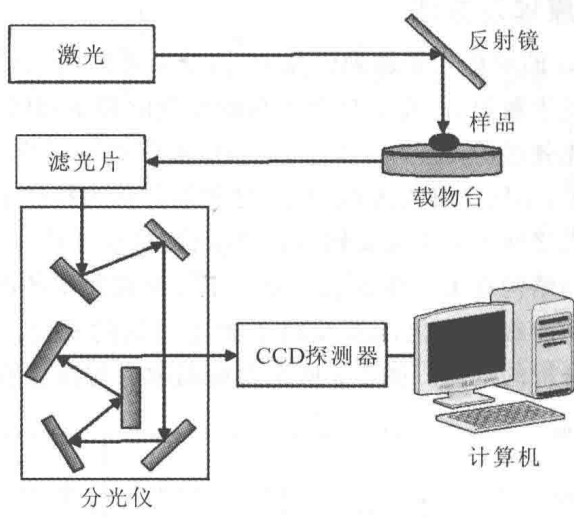


图 1-4 拉曼光谱采集系统光路示意图

1.3.3 具体应用

拉曼光谱技术是以拉曼效应为基础而建立起来的分子结构分析技术,其信号来源于分子的振动和转动。它在农业、工业和学术上具有越来越重要的作用,已广泛应用于食品、材料、化工、石油、高分子、生物、医学等领域。

拉曼光谱可以检测食用油中脂肪酸的不饱和度和食品中的糖类、蛋白质、维生素、污染物(细菌等),定性分析营养品和果品饮料中的添加剂,还可以应用于食品质

量安全控制、无损检测等方面,如果蔬表面农药残留量的检测,奶粉中三聚氰胺的快速检测,茶叶、酒制品的产地及真假鉴别等。表 1-3 所示为拉曼光谱技术在农产品检测中的应用。

表 1-3 拉曼光谱技术在农产品检测中的应用

检测对象	检测品质
食用油	脂肪酸的不饱和度
果蔬	农药残留
奶粉	三聚氰胺
茶叶	产地,真假鉴定
饮料	添加剂

1.4 机器视觉技术

1.4.1 基本原理及方法

机器视觉又称为计算机视觉,它是指将图像信号转换成数字信号并利用计算机对其进行处理的技术。机器视觉技术的研究范围包括图像采集、图像的数字化、数字图像的处理、数字图像分析、模式识别等内容。

机器视觉检测的一般模式是首先通过光学成像和图像采集装置获得产品的数字化图像,再用计算机进行图像处理获得相关检测信息,形成对被测产品的判断决策,最后将该决策信息发送到分拣装置,完成被测产品的分拣。机器视觉的感知是靠成像装置完成的,其主要任务是把视觉信息转换为计算机可以接收和处理的数字图像信息。

图像信息的处理和识别从逻辑上可分为三个层次:基础处理、特征提取、模式识别与理解。基础处理的目的是减少图像中的污点、噪声及各种影响因素的干扰,提高图像的质量,从而提高后续分析的准确性。图像的基础处理主要完成对原始图像的噪声过滤、灰度校正、几何校正、图像增强和伪彩色处理等。图像的特征提取就是从大量图像数据中,提取有利于图像识别和理解的主要特征量,用有限的特征来描述原始图像中的目标。图像的特征主要包括形状特征、纹理特征、结构特征和颜色特征等。特征的提取方法主要有区域分割、边缘检测和纹理分析等。模式识别与理解就是根据已有的特征参数,采用相应的识别匹配方法,完成对目标物的识别、分类或理解。模式识别的方法大致可分为统计决策法、句法结构法、模糊判决法和人工智能法四种。

1.4.2 系统组成

机器视觉检测系统一般是由 CCD 相机、图像采集卡、计算机、光照系统及专用图像处理软件等组成(见图 1-5)。

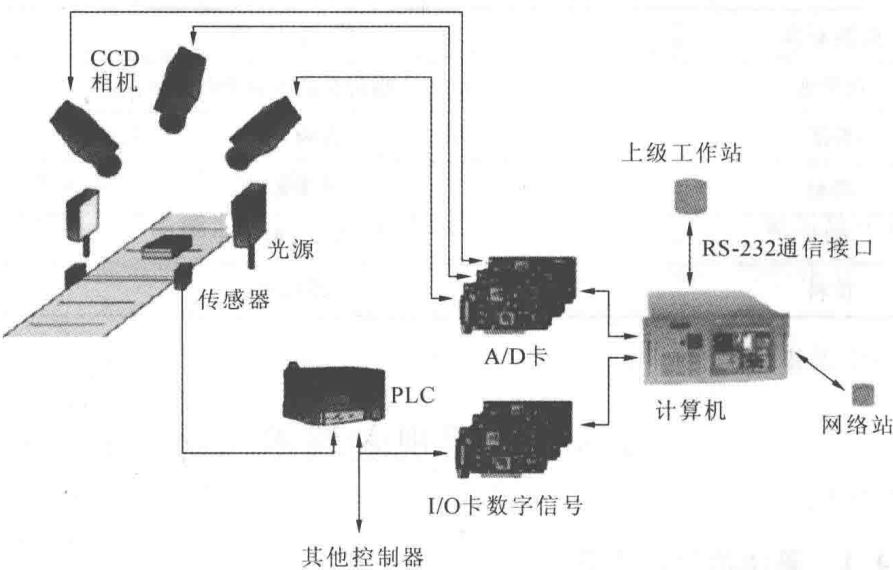


图 1-5 机器视觉检测系统组成

1. CCD 相机

CCD 相机是以 CCD 芯片为核心,将自然界中存在的物理图像经过光电转化,变成电子视频图像信号。CCD 相机一般包括:CCD 传感器、驱动电路、信号处理电路、接口电路、外壳及机械光学接口。

2. 图像采集卡

图像采集卡的功能是对摄像机输出视频数据进行实时采集,并提供与计算机连接的数据接口,以便计算机能够对采集到的图像进行处理。在机器视觉系统中,基于 PCI 总线的图像采集卡与计算机内存、CPU、显示卡等之间形成高速数据传输,是协调整个系统的重要设备。它一般负责图像信号的采集、放大与数字化;提供 PCI 接口负责 PC 机内部总线高速输出数字数据,传输速度可以达到 130 MB/s,能够完成高精度图像的实时传输。图像采集卡可按照采集的视频信号分为模拟图像采集卡和数字图像采集卡;按照视频信号的标准分为标准视频信号采集卡和非标准视频信号采集卡;按照数据传输方式分为 PCI 总线、PC104 总线、IEEE1394、USB 等。

3. 光学镜头

在机器视觉技术中,镜头的主要作用是将所要检测的目标成像在摄像机的图像传感器上。镜头的质量直接影响到机器视觉的整体性能,合理选择并安装光学镜头,是机器视觉技术设计的重要环节。光学镜头相当于人眼的晶状体,对视觉系统的成像质量关系重大,其性能指标有焦距、光圈系数、变焦倍率、接口形式等。镜头按焦距

可分为广角镜头、标准镜头、长焦距镜头。

1.4.3 具体应用

机器视觉及图像处理技术在农业中也取得了卓有成效的应用,主要有农产品的品质检测与分级、收获机器人、精细农业、生物生长状态的监控等四个方面。

在农畜产品的品质检测方面主要运用在:水果、蔬菜的检测与分级;禽蛋、肉食类的检测与分级;经济作物的检测与分级,如烟叶、茶叶等;谷物籽粒的检测与分级,如大豆、花生、玉米、大米等。

第 2 章 水果内部品质近红外光谱在线检测

2.1 研究的意义、目标与技术要点

2.1.1 研究背景及意义

随着人们生活水平的提高,消费者在选购水果时,除了看重水果的外部品质(颜色、大小和外观形状等),同时关注水果的糖度、酸度等内部品质。水果采摘后的商品化处理技术也由外部品质分选逐步向内外品质同时分选的方向发展。水果内部品质在线检测与分选是主要的水果采摘后商品化处理技术,是实现水果由数量型向质量型转变、打造水果品质、提高水果市场竞争力的重要技术手段,在大宗水果采摘后分选方面有广阔的应用前景。

2.1.2 研究目标

基于可见/近红外光谱技术,结合国内外在线检测果蔬内外部品质的研究进展,主要以苹果、柑橘、黄桃、梨等水果为研究对象,采用近红外光谱技术,在 350~1100 nm波长的范围内,优选积分时间、速度等实验参数,以可见/近红外动态在线装置为实验平台,将水果内部品质和光谱特性作为检测对象进行研究,建立水果内部品质动态在线检测模型,稳定准确地对水果糖度进行快速无损分选。

2.1.3 技术要点

近红外光谱技术可用于在线检测水果内部品质,这项技术实际上是一种间接性检测技术,主要的检测过程大体分为两大步:校正模型的建立和未知样品的验证,其流程如图 2-1 所示。首先确定近红外光谱检测水果品质的实验方案、选定实验检测设备,购买实验样品并选择代表性样品;对样品进行动态在线采集光谱数据,测定实验样品所要检测品质的真实值;构建模型,对未知样品进行验证。

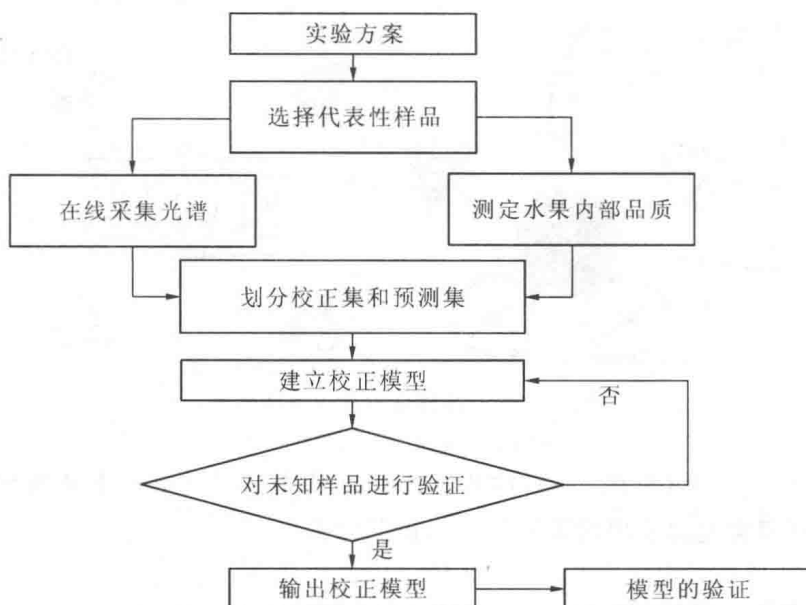


图 2-1 水果内部品质近红外检测模型建模及预测流程图

2.2 实验材料与方法

2.2.1 近红外光谱在线检测系统

1. 可见/近红外漫反射在线检测系统光谱采集

漫反射光谱采集装置所用光谱仪为 Ocean Optics 公司的 QE 65000 光谱仪,其波长范围为 350~1150 nm,光源为 4 个 12 V、100 W 的卤钨灯,采用稳压电源供电。生产线两侧,每侧均布 2 盏卤钨灯,调整照射角度,确保样品高速运动时,光源均匀照射至样品赤道周围。采用 1000 μm ×2 m 的光纤连接检测探头与光谱仪。探头位于传送线正上方,由探头接收样品漫反射光信号,并由光纤传至光谱仪。

实验中采用聚四氟乙烯球为参比,预热半小时后,采用参比校正,采集光谱。实验参数为:积分时间 70 ms,速度为 5 个/秒,光照强度 400 W。实验装置如图 2-2 所示,采集光谱时,将所采集的面朝向检测探头,光源照射在样品表面,部分光经过样品表面漫反射回探头,部分光进入样品内部经漫反射后进入探头。用光谱采集软件采集光谱并保存,分别对已标记的三个部位进行光谱采集。

2. 可见/近红外漫透射在线检测装置与光谱采集

漫透射光谱采集装置的光谱仪为 Ocean Optics 公司的 QE65Pro 光谱仪,波长范围为 350~1150 nm,光源为 10 个 12 V、100 W 的卤钨灯,传送线两侧各均布 5 盏卤钨灯,采用稳压电源供电。采用 1000 μm ×2 m 的光纤连接检测探头与光谱仪。探