

近红外图像处理技术在农业工程中的应用

邱白晶¹, 刘保玲¹, 吴春笃², 史春建¹, 李会芳¹

(1. 江苏大学机械工程学院, 镇江 212013; 2. 江苏大学生物与环境工程学院, 镇江 212013)

摘要: 讨论了近红外图像应用原理和发展特点, 分析了近红外图像处理技术在国外农业主要方面的应用和研究现状, 并针对近红外图像处理技术在农业工程中的进一步应用研究提出了若干重要发展方向, 以促进中国在该领域的研究。

关键词: 近红外图像; 农产品检测; 杂草识别; 机器视觉

中图分类号: S126; TP274+.52

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)05-0102-05

邱白晶, 刘保玲, 吴春笃, 等. 近红外图像处理技术在农业工程中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 102-106

Qiu Baijing, Liu Baoling, Wu Chundu, et al. Applications of near-infrared image processing in agricultural engineering[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(5): 102-106 (in Chinese with English abstract)

0 引言

红外线按波长范围可划分为 3 个波段: 近红外(波长为 0.7~3.0 μm)、中红外(波长为 3.0~30.0 μm)和远红外(波长为 30~1000 μm)。从 19 世纪 60 年代开始, 随计算机信息技术的发展, 近红外分析技术得到了迅速发展。现代近红外光谱分析技术已可用于检测谷物、水果和其他农副产品的营养成分和品质。特别是近红外光谱分析与计算机图像技术的复合与集成, 有力地推动了近红外图像处理的发展, 其应用领域已拓展至食品科学^[1]、农作物生长信息检测^[2-4]、农产品无损质量检测^[5-14]、工业中质量控制和热学^[15,16]等多个方面。本文仅对近红外图像处理系统及其在国外农业工程应用中的研究进行评述, 并对在中国农业工程中发展近红外图像处理技术进行展望。

1 近红外成像系统的构成和原理

近红外成像系统的基本组成如图 1 所示, 主要包括计算机、图像采集卡、图像监视器、NIR 相机和光照室等部件。近红外成像系统的基本工作原理是: 由红外光源发出的近红外光辐射到被研究的物体上, 由红外摄像机接收到被研究物体反射回来的近红外光, 形成近红外图像。进一步对该图像进行光谱转换和亮度增强, 可得到分析用图像, 至此便可以应用图像处理技术对图像进行进一步的分析。

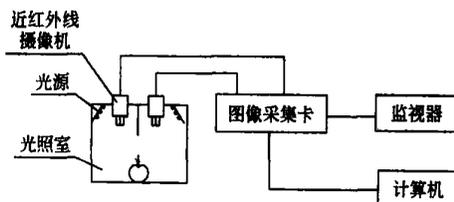


图 1 近红外成像系统

Fig 1 NIR imaging system

2 近红外图像处理技术在农业中的应用

近红外图像处理技术的应用原理是根据不同的物质在不同波长光线照射下会有不同的吸收或反射, 也就是说, 对象的分光反射率在某一特定波长域内会比其它部分大^[18,19]。根据这一特性, 若选定一定波长的滤光片, 便可增强获得图像中不同特征部位的灰度对比。将物质的这种分光反射特性同近红外图像处理技术相结合可应用到农产品的品质检测、病虫害检测、杂草识别、作物收获机械导航和作物生长状态监测等多方面。

2.1 近红外图像在农产品品质检测中的应用

近红外成像技术可以解决以往在农产品检测中靠人的主观判断的缺点, 此技术结合红外光谱分析, 不仅可以对农产品颜色^[5-8]、大小^[5]、损伤压伤^[9-13]及虫孔^[14]进行检测, 而且可以对农产品的营养成分进行判断, 从而对农产品进行合理的市场定价或品种鉴别。

利用近红外图像检测农产品品质的早期方法均是基于滤光片方法。这种方法的技术思路是: 通过寻找对农产品品质敏感的特定波段范围, 选择特定的滤光片, 从而获取该波段的图像, 并据此进行品质判定。这种依据特定波段图像来判定品质参数的方法本质上是单波段工作模式, 其适应范围受到极大限制。其一, 农产品品质参数一般并非单一品质参数, 因此需要多个滤光片来分别获取多个品质参数; 其二, 采用手工方法来调换滤光片过程是缓慢的; 其三, 即使采用设计旋转工作台方法实现自动调换滤光片, 仍无法保证各波段信息的同步获取, 因而会影响各波段信息融合的精度。针对早期近红外图像系统方法的限制, 现行的技术发展趋势是引入并行工作模式, 亦即多波段相机同步工作模式(简称: 多谱相机或多光谱图像)。

Guyer, Daniel E.^[12]等为了有效检测樱桃的损伤和裂纹, 测定了樱桃在 400~1000 nm 内的光谱反射特性。依据测定结果, 获取樱桃在 500 nm 和 750 nm 波段的图像, 并对图像进行处理, 以提取损伤和裂纹特征。用 5×5 模板均值滤波去除噪声, 采用合理的阈值去除背景、樱桃梗和部分边缘像素后, 再对图像进行二值化处

收稿日期: 2004-04-20 修订日期: 2005-02-02

作者简介: 邱白晶, 男, 教授, 镇江 江苏大学机械工程学院, 212013, Email: qbj@ujs.edu.cn

理, 便可有效提取损伤和裂纹特性。

为了有效地识别苹果表面上的虫害粪便污染块, Kim, M. S^[8] 等对 16 个受到不同程度污染的苹果做了相关识别试验。测定了受污染苹果在 450~850 nm 波段的反射特性。用 VB 开发了一套针对相机获取的原始数据图像进行校正的软件, 可以实现将原始图像转化为 16 位多光谱图像并完成污染块识别。污染块的识别步骤如下: 先对图像进行阈值处理和污染块标记处理; 然后绘出标记图像的灰度直方图; 根据灰度直方图取得合理的阈值, 由阈值生成二值化标记图像, 至此污染块便可被识别出来。对 16 个受污染苹果的测定结果表明: 受污染苹果图像的灰度直方图呈双峰性, 所以用阈值法进行二值化处理是一种有效的方法。试验还发现多光谱图像系统还具有颜色分级功能, 可用于商用水果分级系统。

采用普通可见光机器视觉系统对农产品外部品质的检测过程中, 影响识别精度的主要问题是不能将农产品表面的真实缺陷与花梗、花萼等处的凹陷区正确区分。通过大量的研究试验发现, 在农产品品质机器视觉自动识别系统中充分利用农产品的分光反射特性来提高识别精度和速度是很有效的, 尤其是多光谱技术可以有效提取果品瑕疵。Wen, Z., Tao, Y 等^[10] 应用 NIR/MIR 双镜头实现苹果瑕疵的识别。利用近红外相机对花梗、花萼和瑕疵都敏感而中红外相机只对花梗和花萼敏感的特性, 通过逻辑比较近红外图像和中红外图像, 瑕疵即可被迅速准确地检测出来。试验表明: 用双镜头 NIR/MIR 机器视觉检测分类系统对花梗的正确识别率为 98.86%, 对花萼的正确识别率为 99.34%。

2.2 近红外图像在粮食虫害检测中的应用

现有粮仓虫害检测方法多为人工取样、过筛等, 其劳动效率不高。将图像处理技术应用到粮食的虫害检测中可缩短粮仓虫害的检测周期, 准确预报粮仓虫害的状况, 使工作人员及时采取防治措施, 降低治虫费用和减少化学治虫对无虫籽粒的再污染。

Zayash 和 Widgway^[20]、国内邱道尹^[21] 等人进行了机器视觉检测米象的尝试。邱道尹等对获取的小麦可见光图像进行预处理(增强和分割)后, 在粮虫分类识别中主要根据粮虫的面积、周长和复杂度 3 个特征作为分类特征。但是有些害虫幼虫和虫卵潜藏在谷粒的内部, 所以在可见光图像中, 受幼虫侵害的谷粒外表面同无害虫谷粒的外表面没有很大的差异。因而机器视觉方法不易完成粮仓害虫幼虫和虫卵的识别。另外, 有些害虫(例如谷象和米象)的外表很类似, 用机器视觉方法很难区分鉴别, 所以基于机器视觉的方法对全面地检测和识别害虫还具有一定的局限性。

各种害虫体内(谷象、米象、玉米象等)的碳、氢和氮等化学成分的含量不同, 所以它们所吸收的光也就不同, 即所呈现的光谱特性不同。研究表明利用物质的分光反射特性可将有虫害谷粒和无虫害谷粒的内部特征反映出来, 同时也可识别出害虫的种类。

Ridgway C 和 Chambers J^[22] 用波长为 1202 nm

和 1300 nm 的近红外光检测 10 颗无虫小麦颗粒和 10 颗内部有虫的小麦颗粒。通过对采集的图像进行增强和锐化等处理发现在有虫害的小麦近红外图像中有比例较大的亮斑, 而在小麦的近红外图像中是统一的黑色。若将这两波长下的图像进行减运算, 发现有虫小麦和无虫小麦图像间的差异更加显著。

粮仓害虫检测技术朝着快速、准确、无损伤和早期诊断的方向发展。其中尤以发展虫害早期诊断技术最为关键, 因为只有有虫害爆发之前的潜伏期采取治虫措施才是最经济和最有效的。目前, 针对粮仓害虫的早期诊断, 开展近红外图像信息检测研究已引起重视, 但研究工作尚需深入。

2.3 近红外图像在精确施用化学剂中的应用

随着人们对环境保护意识的提高, 精确施放化学剂已受到普遍重视。其技术特征是: 根据田间实际状况, 按需施放化学剂。实现这一技术的关键是: 自动喷洒农药或施肥机械在作业过程中必须实时对杂草和农作物进行识别, 并确定除草剂用量或农作物肥料需求量, 从而达到对农药和化肥使用的高效无污染要求。

研究表明: 由于土壤与植物的反射率差别不大(见图 2), 图像中看不出作物行, 因此利用可见光黑白图像分割是不可行的; 利用彩色图像分割技术尽管可实现作物、杂草和土壤三者的有效分割, 但是需要非常高的数据处理速率和复杂的传感器, 因此技术实现成本高。为了实现技术经济性和技术有效性, 研究者提出了基于近红外图像的分割识别技术。其技术要点是: 在 800 nm 波段附近作物的反射率比土壤的高, 因此在近红外图像中植物与土壤间具有明显的对比度, 如图 3 所示, 可明显地分辨出作物行。Brirot, R. 等^[23] 利用装有近红外滤波器的黑白摄像机获取不同生长期花菜的近红外图像, 并对其进行处理可获得作物和杂草的位置和大小信息, 这些信息可用作车辆导航信息或跟踪作物和杂草的信息。试验表明, 对不同土的背景用简单的算法可对连续的多帧图像成功地进行分割, 完成作物、杂草和土壤的识别。

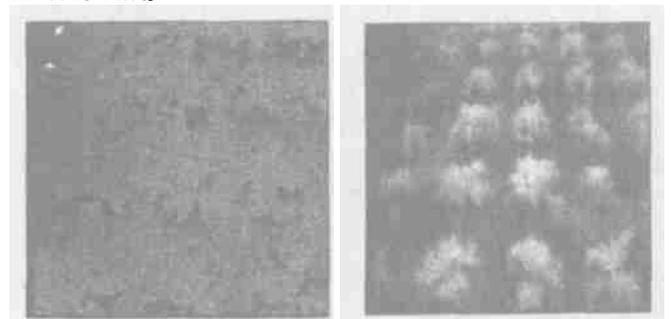


图 2 可见光黑白图像显示的低对比度

Fig 2 Low contrast given by black and white image

图 3 红外图像显示的高对比度

Fig 3 High contrast given by infrared images

实现病虫害识别的另一技术途径是借助多光谱图像技术。Goel, Pradeep K. 等^[24] 评估了多光谱图像技

术在玉米和大豆作物的病虫害检测中的潜力,并做了相关试验。结果显示红色区的波段 675 98~ 685 17 nm 和近红外区的波段 743 93~ 830 43 nm 有潜力区分识别作物中的杂草。但是,对大豆来讲,仅有一个波段 (811.40 nm) 被发现是有用的。Goel, Pradeep K. 的这一研究表明:利用近红外图像或多光谱图像技术作为杂草和作物的识别手段,还需结合杂草和作物种类作深入的研究。识别的敏感波段与杂草和作物的相关性是实现有效识别的关键。

2.4 近红外图像在自动收获机械机器视觉系统中的应用

大面积的农产品收获作业通常由自动收获机械来完成。自动收获机械主要由收获机构、行走机构和视觉系统 3 部分组成。在机器视觉中,可利用果实和叶子有不同的颜色来识别果实。该方法对西红柿、柑橘等简便而有效,但不能识别黄瓜、西瓜和青椒等颜色和叶子相近的果实。大量研究表明:在 700~ 1100 nm 范围内,果实表面的反射率与茎、叶有很大差异性,利用这一特性可有效地识别出果实、茎和叶子。德田胜,有马诚一等^[25,26]分别对西瓜和黄瓜果实的识别方法做了探讨。通过对近红外图像进行平滑处理、二值化处理及对二值化图像进行块标记,然后根据形状特征值即可有效地识别出果实。

Humburg, Daniel S 等^[27]采用单光 CCD 摄像头拍摄芦笋,用红外光滤波器提高其反射特性,然后将拍摄到的图像用基于芦笋几何特性的图像处理方法来实现在成熟芦笋的定位,其正确率由原来的 86% 提高到 97%,其 95% 的误差限制在 2.97~ 5.39 cm。

Southall, B. 等^[28]对自动收获机械的机器视觉进行了研究。对获取到的近红外图像采用扩展卡耳曼滤波模型处理,然后采用聚类方法对作物特征进行汇集和分类,此视觉系统能在一个框架内提供作物的定位信息和农作物与杂草的识别信息。

2.5 红外图像在农场管理中的应用

农场主经常面临使用决策支持系统和管理信息系统。然而,这类系统的使用有效性依赖于正确的作物和场地数据。这种数据的来源之一就是多谱遥感图像。多谱遥感图像的成本非常高,而且图像质量也受到其它许多因素的影响,例如云层覆盖、卫星系统被遮挡或遥感系统不成熟等。Wright, G. G.^[29]将近红外图像系统和传统的媒体-格式空中摄影系统相结合,配置在飞机平台上对农场进行拍摄。针对传统图像受到波谱范围以及重要物体移动的影响,采用了对红外线 (IR) 具有高灵敏度的电子快门式摄影机。现行的研究结论是:将近红外图像同传统航空图像相结合的系统在农场管理应用很有应用潜力。

在田间作物监测中,已发展了利用图像处理技术获取农作物的生产状态(物理性状及生物信息)的技术,依据作物的生长状态对生长因素进行控制,能最大限度地节约能源并达到高产目的。这方面的技术关键是将图像技术与作物生长建模技术相结合,并指导生产管理者获

取一个最佳的作物生长控制方案,使经济效益和栽培成本相平衡。

Hiroaki, Ishizawa^[31]从 3 个不同成熟期(不熟、正熟、过熟)中随机抽取 5 个苹果获取其光谱图像,介绍了一种图像测量法来提供作物图像信息以监视作物的生长状况,分析了不同成熟期苹果的化学成分及其口感与光谱图像数据间的相关性。光谱图像中显示,平均亮度与含水量在 1200 nm 和 1400 nm 波段上具有很高的相关性,且在 1200 nm 处相关性最高。但是,平均亮度与含糖量在 1400 nm 波段处具有最高相关性,其识别系数为 0.990。这些结果显示在 Hiroaki, Ishizawa 提出的测量系统中,水果化学成分与光谱图像数据间具有线性、高相关性。在此基础上,Hiroaki, Ishizawa 还提出了水果成熟度的判断模型,用于农产品的田间监测。

H. Shimizu 和 R. D. Heins^[2]设计了一套测定植物生长率的试验装置,用带有近红外滤波器的 CCD 摄像机同时获取戟叶马鞭草的正面和侧面近红外图像。试验时每 12 min 采样一次,共试验了 3 d。通过对采集到的图像进行轮廓提取、节点识别和细线化处理,测得戟叶马鞭草的白天和黑夜生长率分别为 1.75 mm/h、0.65 mm/h。在细线化处理过程中提出中点连线细线化算法,保证了图像中作物的高度不被缩短,提高了作物高度测量精度。试验表明利用近红外光源和 800 nm 波长的滤波器可以在无光线照射的条件下测定植物的生长率。

另外,在大面积农作物管理中,要求能够及时地检测出作物的病虫害情况。从低空飞行拍摄到的光谱遥感数据通常有高频谱和空间分辨率,这对于重点监测绿色植物非常有利。Zhang Minghua 等^[30]人就利用光谱遥感技术对加利福尼亚州的一块西红柿田地进行了监测。农田的光谱反射率显示近红外光区,尤其是 0.7~ 1.3 μm 波段,对检测农作物病害较可见光波段更具有价值。健康作物与受害作物的光谱反射系数之差,在可见光范围内仅为 1.19%,而在近红外区高达 10%。Minghua 提出利用最小噪声分率转换法(MNF)、多维可视化方法、纯像素筛选法和光谱相位图监测法(SAM)来识别生病的西红柿植株。试验结果证明这些方法可有效地监测田间作物的病害情况。

3 近红外图像处理技术在农业工程中的应用前景

发展近红外图像用于检测农作物的有效性和潜力,已被众多的文献所证实。但在应用细节上尚有许多问题需要深入研究。在今后研究中,可加强以下 4 个方面的研究:

- 1) 近红外图像处理技术与现有的可见光图像处理技术相结合,用于农作物管理、杂草识别、收获机械的机器视觉导航、农产品品质检测和分级等各方面,可以弥补现有可见光图像处理技术的不足。
- 2) 农业物料是生物体。其近红外反射特性不仅随物料品种和种类的不同而发生变化,而且会随作物不同

生长阶段而变化。现有的研究尚处于初步积累样本阶段,一旦样本积累到一定阶段,必然面临大信息量处理问题。作者认为:发展基于数据库技术的研究平台,并借鉴生物信息学方法是今后深入研究的重要基础。

3) 加强对多光谱图像处理方法、识别算法及硬件结构的改进研究,以解决现存的检测速率低和检测精度不够高的问题。

4) 将近红外图像处理技术与 GPS (Global Position System) 定位技术及 GIS (Geographic Information System) 管理系统相结合。这样近红外图像信息不仅可用作农业机器视觉实时作业的识别信息,而且可作为田间作物历史信息 and 空间信息差异性对比,可拓展近红外图像信息在农业自动化管理与决策中的应用。

[参 考 文 献]

- [1] Liu Yongliang, Windham William R, Lawrence Kurt C, et al Simple algorithms for the classification of visible/near-infrared and hyperspectral imaging spectra of chicken skins, feces, and fecal contaminated skins[J] Applied Spectroscopy, 2003, 57(12): 1609- 1612
- [2] Shimizu H, Heins R D. Computer-vision-based system for plant growth analysis[J]. Trans of the ASA E, 1995, 38(3): 959- 964
- [3] Hiroaki, Ishizawa Diffuse reflectance near-infrared spectral image measurement for the field monitoring of agricultural products [A] Conference Record-IEE Instrumentation and Measurement Technology Conference [C] 2002, (1): 3- 6
- [4] Van Henten E J, Bontsema J. Non-destructive crop measurements by image processing for crop growth control[J]. J Agric Engng Res, 1995, 61: 97- 105
- [5] Alexos N, Blasco J, Navarron F, et al Multispectral inspection of citrus in real-time using machine vision and digital signal processors[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 33(2): 121- 137.
- [6] Archibald Douglas D, Thai Chi N, Dowell Floyd E. Development of shortwavelength near-infrared spectral imaging for grain color classification[A] Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering [C], 1999, 3543: 189- 198
- [7] Delwiche, Stephen R. Determination of wheat kernel hardness by optical measurements[A] Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering [C], 1993, 1836, 65- 75
- [8] Kim M S, Lefcourt A M, Chao K, et al Multispectral detection of fecal contamination on apples based on hyperspectral imagery: Part I application of visible and near-infrared reflectance imaging[J]. Trans of the ASA E, 2002, 45(6): 2027- 2037.
- [9] Throop James A, A neshansley Daniel J, Upchurch Bruce L. Near-IR and color imaging for bruise detection on Golden Delicious apples [A] Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering [C] 1993, 1836, 33- 44
- [10] Wen Z, Tao Y. Dual-camera NIR/MIR imaging for stem - end/calyx identification in apple defect sorting [J]. Transactions of the ASA E, 2000, 43(2): 449- 452
- [11] Mehl Patrick M, Chen Yud-Ren, Kim Moon S, et al Development of hyperspectral imaging technique for the detection of apple surface defects and contaminations[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 61(1): 67- 81.
- [12] Guyer Daniel E, U thaisombut Patchraw at, Stockman George C. Tissue reflectance and machine vision for automated sweet cherry sorting [A]. Proceedings of SPIE[C] 1996, 2907, 152- 165
- [13] Xing Juan. Bruise detection on Jonagold apples by visible and near-infrared spectroscopy[J]. Food Control, 2005, 16(4): 357- 361.
- [14] Miller B K, Delwiche M J. Peach defect detection with machine vision[J]. Transactions of the ASA E, 1991, 34(6): 2588- 2597.
- [15] Wen Zhiqing, Tao Yang. Dualwavelength imaging for on-line identification of stem-ends and calyxes [A]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering[C] 1998, 3460, 249- 253
- [16] Vioix Jean-Baptiste, Douzals Jean-Paul, Truchetet Frederic. Development of a multispectral imagery device devoted to weed detection [J]. Journal of Electronic Imaging, 2004, 13(3): 547- 552
- [17] Zhang Jingxian, Li Yudan, Jin Weiqi. Glimmer and infrared imaging technology [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1995, 82(in Chinese).
- [18] 吉川年彦. 用近红外分光法无损评价农产品品质[J]. [日本]近畿中国农研, 1998, 76: 35- 39
- [19] He Dongjian, Yang Qing, Xue Shaoping, et al Spectral reflectance of fruits and near-infrared image processing in agricultural application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1996, 12(4): 80- 84
- [20] Zayas I, Flinn P W. Detection of insects in bulk wheat samples with machine vision [J]. Trans of the ASA E, 1998, 41(3): 883- 888
- [21] 邱道尹, 张红涛, 陈铁军, 等. 基于机器视觉的储粮害虫智能检测系统软件设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1): 86 - 87, 97.
- [22] Ridgway C, Chambers J. Detection of insects inside wheat kernels by NIR imaging [J]. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 1998, 6(2): 115- 119
- [23] Brivot R, Marchant J A. Segmentation of plants and weeds for a precision crop protection robot using infrared images[J]. IEE Proceedings: Vision, Image and Signal Processing, 1996, 143(2): 118- 124
- [24] Goel Pradeep K, Prasher Shiv O, Patel Ram anbhair M, et al Use of airborne multi-spectral imagery for weed detection in field crops[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 2002, 45(2): 443- 449
- [25] 德田胜, 并河清. 西瓜果实图像处理识别研究[J]. [日本]农业机械学会志, 1995, 57(2): 13- 20
- [26] 有马诚一, 藤浦建史, 近藤直, 等. 黄瓜收获机器人的研究(第3报)[J]. [日]农业机械学会志, 1995, 57(1): 51- 58
- [27] Humburg Daniel S, Reid John F. Field performance of

- machine vision for the selective harvest of asparagus[R]. SAE Technical Paper Series, 911751, 1991, : 1- 12
- [28] Southall B, Hanguet T, Marchant J A, et al. An autonomous crop treatment robot: Part I. A Kalman filter model for localization and crop/weed classification[J]. International Journal of Robotics Research, 2002, 21(1): 61- 74
- [29] Wright G G, Matthews K B. Reducing the cost of multispectral remote sensing: combining near-infrared video imagery with colour aerial photography[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2003, 38(3): 175- 198
- [30] Zhang Minghua, Qin Zhihao, Liu Xue. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2003, 4(4): 295- 310

Applications of near-infrared image processing in agricultural engineering

Qiu Baijing¹, Liu Baoling¹, Wu Chundu², Shi Chunjian¹, Li Huifang¹
(School of Machinery Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: The application principle and development traits of near-infrared (NIR) imaging were introduced in this paper. The application and research status of NIR imaging in agricultural engineering of foreign countries were analyzed. In order to promote the research in this field, several important development aspects and directions for deeper research of NIR image used in agriculture were put forward.

Key words: near-infrared image; detection of agricultural products; weeds discrimination; machine vision