

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.08.032

鲜食玉米果穗外观品质分级的计算机视觉方法*

王慧慧¹ 孙永海¹ 张婷婷¹ 张贵林² 李义³ 刘铁鹏³

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130025; 2. 吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130025;

3. 吉林天景食品有限公司, 长春 130123)

【摘要】 在 HSI 颜色模型下,通过计算机视觉检测技术实现对鲜食玉米果穗外观品质分级。提出垂直投影法确定秃尖位置并去除秃尖。对 H 值进行双向一次微分运算以实现缺陷的识别。在此基础上获取果穗缺陷比、穗长、果穗最大直径、长宽比和矩形度作为外观品质特征参数,并以此为输入向量构建广义回归神经网络对果穗外观品质分级。试验结果表明:秃尖位置、穗长和果穗最大直径的平均误差分别为 2.27 mm、1.96 mm 和 0.54 mm,缺陷误判率为 3.00%,分级平均准确率为 95.91%。

关键词: 鲜食玉米 果穗 外观品质 分级 计算机视觉 神经网络

中图分类号: TS210.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)08-0156-04

Appearance Quality Grading for Fresh Corn Ear Using Computer Vision

Wang Huihui¹ Sun Yonghai¹ Zhang Tingting¹ Zhang Guilin² Li Yi³ Liu Tiepeng³

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

3. Jilin Sky Scenery Food Co., Ltd., Changchun 130123, China)

Abstract

Appearance quality grading for fresh corn ear was implemented by computer vision based on HSI color model. Bare tip position was detected and removed using projection method. Defects of fresh corn ear were identified by the first order differential operation on H . Characteristic parameters of appearance quality, such as defect proportion, ear length, ear maximum diameter, aspect ratio and rectangle factor were obtained. General regression neural network with five characteristic parameters as input was developed for grading. Experiment showed that average errors of bare tip position, ear length and ear maximum diameter were 2.27 mm, 1.96 mm and 0.54 mm, respectively. Mistake rate of defect proportion was 3.00%, and grading average ratio was up to 95.91%.

Key words Fresh corn, Ear, Appearance quality, Grading, Computer vision, Neural network

引言

玉米果穗的外观品质是鲜食玉米分级的重要依据,目前鲜食玉米果穗分级通常由人工根据分级标准完成,工人劳动强度很大,分级结果极易受到主观因素的影响。利用计算机视觉技术对玉米果穗进行分级,可降低人为主观因素对分级结果的影响并为

生产自动化奠定基础。计算机视觉技术广泛应用于农产品检验分级,如对谷物籽粒颜色^[1]、粒形^[2]和种类^[3-4]的识别,对水果形状^[5-6]和缺陷^[6-7]等外观品质的识别以及等级的评定,但针对整穗玉米特别是鲜食玉米果穗质量检验方面的研究少有报道。在整穗玉米研究中,Panigrahi S 对玉米图像进行处理,改进分割方法并测量其尺寸^[8],在此基础上提

收稿日期:2009-11-30 修回日期:2010-01-15

* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2008AA100802)

作者简介:王慧慧,博士生,主要从事农产品智能检测与评价研究,E-mail:whh419@126.com

通讯作者:孙永海,教授,博士生导师,主要从事农产品智能检测与评价研究,E-mail:sunyh@jlu.edu.cn

出了对玉米穗形状(圆形、圆柱、圆锥)的判别算法并进行了对比分析^[9]。但上述研究以及其他农产品检验分级的计算机视觉技术对于鲜食玉米生产过程中玉米果穗分级并不适用。本文应用计算机视觉技术,在 HSI 颜色模型下提取鲜食玉米果穗外观品质特征,利用人工神经网络达到分级目的。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验在吉林天景食品有限公司九台基地进行,随机选取去苞叶、清洗后的垦粘一号乳熟期玉米果穗作为试验用玉米果穗。试验用玉米穗长为 67 ~ 232 mm,果穗最大直径为 36 ~ 61 mm。

1.2 检测系统

检测系统硬件由 SONY DXC - 390P 型工业摄像机、TEC - M55 型镜头、Matrox Meteor II 图像采集卡、计算机、LED 环形光源(白光)、检测箱、转辊组成,如图 1 所示。果穗在转辊与果穗间摩擦力作用下绕自身中心线做旋转运动,试验测得玉米自转平均周期,采集果穗自转相差 1/3 周期左右的 3 幅图像,即可得到全面的果穗图像信息,对秃尖和缺陷信息达到比较理想的覆盖效果,少量重复信息也在误差允许范围之内。所采集图像为 24 位 BMP 彩色图像,图像分辨率为 384 × 288。图像采集和分析软件采用 Visual C++ 6.0 编写。

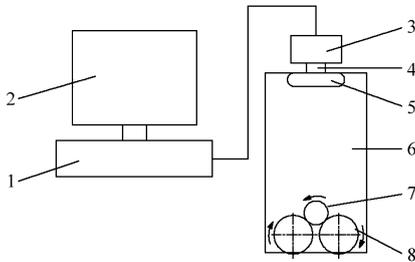


图 1 图像检测系统

Fig. 1 Image inspection system

1. 图像采集卡 2. 计算机 3. 工业摄像机 4. 镜头
5. 环形光源 6. 检测箱 7. 玉米果穗 8. 转辊

1.3 玉米果穗分级步骤

参照糯玉米 NY/T 524 - 2002 农业行业标准和吉林天景食品有限公司玉米收购标准,鲜食玉米果穗等级主要由果穗穗形优劣和缺陷决定,因此选取玉米果穗缺陷比、穗长、果穗最大直径、长宽比和矩形度作为外观品质分级特征参数。利用前述检测系统采集图像并保持采集装置参数不变。首次试验前要进行尺寸标定,将像素数转化为实际尺寸。首先进行图像预处理,然后判定秃尖去除位置以便去除果穗的秃尖部分,在此基础上计算缺陷所占比例、提取穗形特征参数,利用人工神经网络进行分级。玉

米果穗分级流程如图 2 所示。

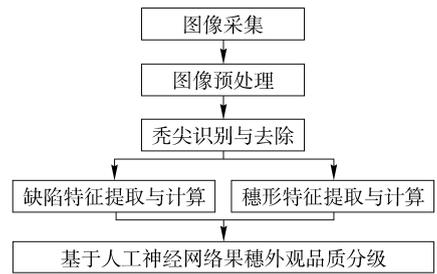


图 2 玉米果穗分级流程图

Fig. 2 Grading flow of corn ear

2 计算机视觉检测

2.1 图像预处理

采用 Otsu 阈值分割法去除背景,使用十字形中值滤波器去噪,将图像从 RGB 模型转换到 HSI 模型,为方便计算,将色度级值域变换到 $[0, 255]$ ^[10]。

2.2 秃尖识别与去除

图 3b 所示含秃尖的玉米果穗 H 值呈双峰。秃尖和正常果穗分割阈值 T 的计算公式为

$$T = \frac{1}{2} \left(\frac{\sum_{10 \leq H(i,j) < \bar{H}} H(i,j)A(i,j)}{\sum_{10 \leq H(i,j) < \bar{H}} A(i,j)} + \frac{\sum_{H(i,j) > \bar{H}} H(i,j)A(i,j)}{\sum_{H(i,j) > \bar{H}} A(i,j)} \right) \quad (1)$$

其中 $\bar{H} = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2}$ ($H_{\min} \geq 10$)

式中 $H(i,j)$ —— 果穗图像点 (i,j) H 值

\bar{H} —— 果穗图像 H 的平均值

$A(i,j)$ —— 点 (i,j) 的权重系数,取 1

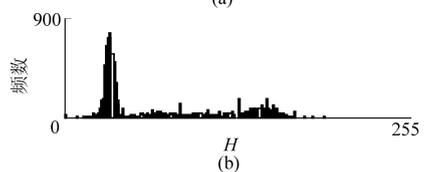
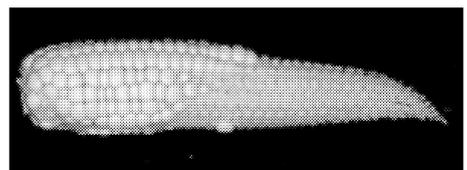


图 3 玉米果穗 H 分量直方图

Fig. 3 H histogram of corn ear

(a) 玉米果穗分割图 (b) H 分量直方图

根据 T 值判断点 (i,j) 是否疑似为秃尖上的点,是疑似点则检测该点 8 邻域点的 H 值,检测结果 $P(H_t(i,j))$ 计算公式为

$$P(H_t(i,j)) = \begin{cases} 0 & (H_t(i,j) \geq T) \\ 1 & (H_t(i,j) < T) \end{cases} \quad (t = 1, 2, \dots, 8) \quad (2)$$

式中 $H_i(i,j)$ ——点 (i,j) 8 邻域点 H 值

$$p = \sum_{i=1}^8 P(H_i(i,j)) \quad (3)$$

当 p 等于零时该点标记为秃尖上的点。

图 4 表示 HSI 模型下秃尖识别过程,图 4a 为玉米果穗秃尖标记图像,图中白色表示缺陷和噪声以及秃尖点。通过改进的拉氏变换和反变换去掉一部分缺陷和噪声等伪秃尖点并将部分秃尖区域连通(图 4b)。用垂直投影法判断玉米果穗秃尖位置,将图 4b 在垂直方向做投影(图 4c),并利用图像采集卡为投影图分配与图 4b 相同横坐标的存储空间,图 4c 黑色像素列高代表图 4b 对应列上白色像素点数,以玉米果穗右端投影点为起点连续非零列之和就是秃尖长度。为了防止伪秃尖点影响位置认定效果,投影图分布的断点距离应小于 12 像素(约为两粒玉米),否则继续统计直至找到秃尖去除位置并在图 4b 对应位置上确定秃尖位置。秃尖识别结果如图 4d 白色部分所示。

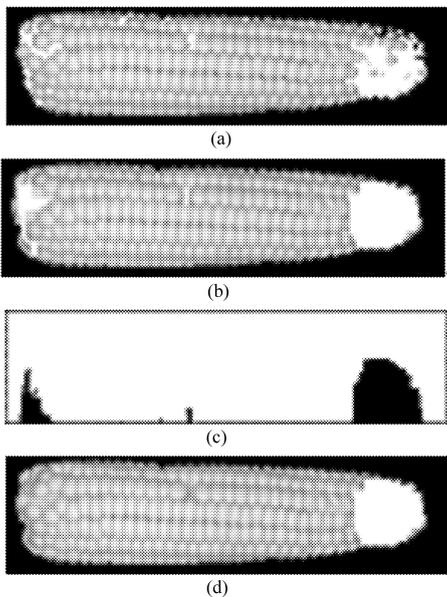


图 4 HSI 颜色模型下秃尖识别

Fig. 4 Identification of bare tip based on HSI color model
(a) 秃尖标记 (b) 拉氏变换 (c) 秃尖投影 (d) 秃尖识别结果

2.3 缺陷特征提取

去除秃尖后进行缺陷识别,果穗缺陷主要包括虫眼、机械损伤和缺粒等。缺陷颜色与正常果穗差别很大, H 值会产生突变^[6-7,10]。对 H 值作纵向和横向的一次微分运算,计算 $H(i,j)$ 在其最大变化率方向上单位距离所增加的量

$$G(H(i,j)) = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial i}\right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial j}\right)^2} \quad (4)$$

对于离散图像

$$G(H(i,j)) =$$

$$\sqrt{[H(i,j) - H(i,j-1)]^2 + [H(i,j) - H(i-1,j)]^2} \quad (5)$$

当 $G(H(i,j))$ 大于等于产生突变的临界值时标记为缺陷。图 5a 中矩形区域内为果穗上的缺陷,图 5b 中矩形区域内为所识别的缺陷。缺陷比 Q 为果穗外观品质分级特征参数之一,是去除秃尖后缺陷面积与整个果穗面积的比值,即

$$Q = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \quad (6)$$

式中 S_1 ——去除秃尖后缺陷面积,取 3 幅图像缺陷之和, mm^2

S_2 ——去除秃尖后果穗表面积,可通过穗形特征参数计算得出, mm^2

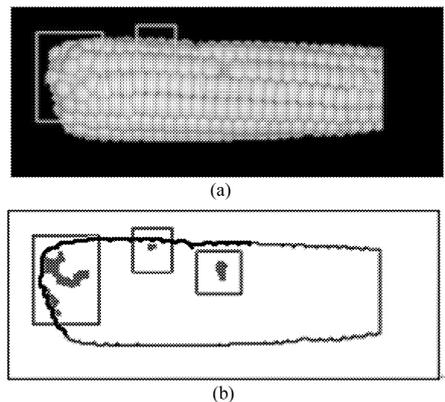


图 5 HSI 模型下缺陷识别

Fig. 5 Identification of defect based on HSI color model
(a) 去秃尖玉米果穗 (b) 缺陷识别结果

结合大量试验结果和吉林天景食品有限公司评价员判定结果,缺陷比大于等于 1% 的果穗视为等外品。

2.4 穗形特征

采用改进的最小外接矩形(MER)法^[5],选取果穗去除秃尖后的穗长 L 、果穗最大直径 W 、长宽比 r 、矩形度 R 作为穗形特征参数。

(1) 穗长 $L(\text{mm})$: 去除秃尖后 MER 的长度,取 3 幅图像 L 最小值。

(2) 果穗最大直径 $W(\text{mm})$: 去除秃尖后 MER 的宽度,取 3 幅图像 W 的平均值。

(3) 长宽比 r : MER 长度与宽度的比值,在一定程度上描述了果穗区域的形状^[4], r 大小应在一定范围内变化, r 过大或过小表示果穗过于细长或短粗。

(4) 矩形度 R : 反映果穗对其外接矩形的充满程度,弯曲的果穗 R 值较小^[4],等级较低,分别计算 3 幅图像 R 值,取 R 的最小值,计算公式为

$$R = \frac{S_0}{S_{\text{MER}}} \quad (7)$$

式中 S_0 ——去除秃尖后果穗面积, mm^2
 S_{MER} ——MER 的面积, mm^2

2.5 特征提取精确度分析

选取 300 个鲜食玉米果穗, 提取相关的特征参数, 并与人工测量和判定结果相比较, 计算精确度, 人工测量和判定由吉林天景食品有限公司评价员完成, 对比结果: 秃尖位置误差为 2.27 mm, 缺陷误判率为 3.00%, 穗长误差为 1.96 mm, 果穗最大直径误差为 0.54 mm。

图像采集过程中摄像头和镜头参数保持不变, 由于果穗最大直径的差异导致物距发生较小变化, 可能造成秃尖位置、穗长和果穗最大直径计算上的误差。个别果穗在清洗环节中残留了大量水滴, 其反光造成 H 值失真以及残留于正常玉米果穗上的苞叶和玉米须可能被误识别为缺陷。但引起的误差和误判率较小, 秃尖位置、穗长和果穗最大直径的平均误差分别为 2.27 mm、1.96 mm 和 0.54 mm, 缺陷误判率为 3.00%, 均在允许范围内。

3 基于广义回归神经网络的玉米果穗外观品质分级

选择调节参数很少的广义回归神经网络 (GRNN) 进行鲜食玉米果穗外观品质分级。构建的 GRNN 网络中, 输入层神经元数为 5, 对应 5 个玉米果穗外观品质特征参数; 隐层神经元数由网络根据训练样本数自适应确定, 试验确定扩展常数取 1 时网络效果最好; 输出神经元数为 5, 如玉米果穗被识别为第 n 级, 则第 n 个神经元输出为 1, 其余都为 0。

取 305 个玉米果穗进行试验, 其中选取 170 个果穗作为网络训练样本, 135 个果穗作为网络测试样本。试验用玉米果穗先由人工分级, 再综合每个果穗所采集的 3 幅图像提取特征参数。由于各特征参数差异较大, 须进行归一化处理后再输入所构建的网络, 分级结果如表 1 所示。由表 1 可以看出, 使用 GRNN 神经网络对鲜食玉米果穗外观品质分级与人工分级相比较, 分级平均准确率达到 95.91%。

表 1 鲜食玉米果穗外观品质分级结果

Tab. 1 Classification results of fresh corn ears

人工分级	测试样本量 /个	GRNN 神经网络分级结果/个					分级准确率 /%	平均准确率 /%
		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级		
1 级	30	29	0	0	0	1	96.67	
2 级	30	1	27	2	0	0	90.00	
3 级	31	0	0	31	0	0	100	95.91
4 级	16	0	0	0	16	0	100	
5 级(等外)	28	0	0	0	2	26	92.86	

4 结束语

针对目前鲜食玉米果穗人工分级现状, 利用计算机视觉技术实现了对玉米果穗秃尖位置的自动确定和缺陷的自动识别。以去除秃尖后果穗缺陷比、穗长、果穗最大直径、长宽比和矩形度作为外观品质分级的特征参数, 与人工检测相比较, 秃尖位置、穗

长和果穗最大直径的平均误差分别为 2.27 mm、1.96 mm 和 0.54 mm, 缺陷误判率为 3.00%。把 5 个特征参数作为输入向量, 使用 GRNN 人工神经网络对果穗分级, 分级平均准确率为 95.91%。利用本研究系统和方法可以实现对鲜食玉米果穗外观品质的自动检测和分级。

参 考 文 献

- 孙明, 王一鸣, 凌云, 等. 基于色调的黄粒米检测方法[J]. 农业机械学报, 2005, 36(8): 78~81.
Sun Ming, Wang Yiming, Ling Yun, et al. A hue based detecting approach to yellow rice kernel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(8): 78~81. (in Chinese)
- Liao K, Marvin R, Paulsen M R, et al. Real-time detection of colour and surface defects of maize kernels using machine vision[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1994, 59(4): 263~271.
- 程洪, 史智兴, 么炜, 等. 基于支持向量机的玉米品种识别[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 180~183.
Cheng Hong, Shi Zhixing, Yao Wei, et al. Corn breed recognition based on support vector machine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 180~183. (in Chinese)

- 9 Chandan Singh, Nitin Bhatia, Amandeep Kaur. Hough transform based fast skew detection and accurate skew correction methods[J]. *Pattern Recognition*, 2008,41(12):3 528 ~ 3 546.
- 10 Lei Xu, Randomized Hough transform (RHT): Basic mechanisms, algorithms, and computational complexities [J]. *CVGIP: Image Understanding*, 1993(57):131 ~ 154.
- 11 Young C N, Zou Jujia. Adaptive circular object detection [C]. 2nd International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2008, 15 - 17 Dec. 2008:1 - 6.
- 12 王勇,沈明霞,姬长英. 基于颜色信息和形状特征的蜜桃识别方法[J]. *农业机械学报*,2007,38(11):76 ~ 79,87.
Wang Yong, Shen Mingxia, Ji Changying. Using color data and shape properties for cotton fruit recognition[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2007, 38(11):76 ~ 79, 87. (in Chinese)
- 13 王勇,沈明霞,姬长英. 基于色差信息的田间成熟棉花识别[J]. *浙江农业学报*,2007,19(5):385 ~ 388.
Wang Yong, Shen Mingxia, Ji Changying. Study on the recognition of mature cotton based on the chromatic aberration in natural outdoor scenes[J]. *Acta Agriculture Zhejiangensis*, 2007,19(5): 385 ~ 388. (in Chinese)
- 14 Slaughter D C, Harrell R C. Discriminating fruit for robotic harvest using colour in natural outdoor scenes[J]. *Transactions of the ASAE*, 1989,32(3): 757 ~ 763.
- 15 Qiang Ji, Haralick R M. Error propagation for the Hough transform[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2001,22(6 ~ 7): 813 ~ 823.
- 16 Xu L, Oja E, Pekka Kultanen. A new curve detection method; randomized Hough transform (RHT) [J]. *Pattern Recognition Letters*,1990,11(5):331 ~ 338.
- 17 Xu L, Oja E, Kultanen P. Randomized Hough transform (RHT): basic mechanisms, algorithms, and computational complexities[J]. *Comput Vision Graphics Image Process: Image Understanding*,1993,57(2):131 ~ 154.
- 18 Teh-Chuan Chen, Kuo-Liang Chung. An efficient randomized algorithm for detecting circles[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2001,83(2):172 ~ 190.

~~~~~

(上接第 159 页)

- 4 杨蜀秦,宁纪锋,何东健. BP 神经网络识别玉米品种的研究[J]. *西北农林科技大学学报*,2004,32(增刊):189 ~ 192.  
Yang Shuqin, Ning Jifeng, He Dongjian. Identification of corn breeds by BP neural network[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*,2004,32(Supp.):189 ~ 192. (in Chinese)
- 5 应义斌,成芳,马俊福. 基于最小矩形法的柑桔横径实时检测方法研究[J]. *生物数学学报*,2004,19(3):352 ~ 356.  
Ying Yibin, Cheng Fang, Ma Junfu. Real-time sizeinspection of citrus with minimum enclosing rectangle method[J]. *Journal of Biomathematics*,2004,19(3):352 ~ 356. (in Chinese)
- 6 应义斌,景寒松,马俊福,等. 计算机视觉技术在黄花梨尺寸和果面缺陷检测中的应用[J]. *农业工程学报*,1999,15(1):197 ~ 200.  
Ying Yibin, Jing Hansong, Ma Junfu, et al. Application of machine vision to detecting size and surface defect of Huanghua pear[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,1999,15(1):197 ~ 200. (in Chinese)
- 7 Miller B K, Delwiche M J. Peach defect detection with machine vision[J]. *Transactions of the ASAE*,1991,34(6):2 588 ~ 2 597.
- 8 Panigrahi S, Misra M K, Bern C, et al. Background segmentation and dimensional measurement of corn germplasm[J]. *Transactions of the ASAE*,1995,38(1): 291 ~ 297.
- 9 Panigrahi S, Misra M K, Willson S. Evaluations of fractal geometry and invariant moments for shape classification of corn germplasm[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*,1998, 20(1):1 ~ 20.
- 10 赵杰文,刘木华,杨国彬. 基于 HIS 颜色特征的田间成熟番茄识别技术[J]. *农业机械学报*,2004,35(5):122 ~ 124.  
Zhao Jiewen, Liu Muhua, Yang Guobin. Discrimination of mature tomato based on HIS color space in natural outdoor scenes [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2004,35(5):122 ~ 124. (in Chinese)
- 11 陈英,廖涛,林初靠,等. 基于计算机视觉的葡萄检测分级系统[J]. *农业机械学报*,2010,41(3):169 ~ 172.  
Chen Ying, Liao Tao, Lin Chukao, et al. Grape inspection and grading system based on computer vision[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010,41(3):169 ~ 172. (in Chinese)