

复杂环境中蛋鸡识别及粘连分离方法研究*

劳凤丹^{1,2} 滕光辉¹ 李卓¹ 余礼根¹

(1. 中国农业大学农业部设施农业工程重点开放实验室, 北京 100083;
2. 中国农业大学网络中心, 北京 100083)

摘要: 提出基于 Lab 颜色模型的蛋鸡与背景自动分割方法和基于极限腐蚀和凹点搜寻的粘连蛋鸡分离与计数算法。实验前期将通过计算机视觉系统获取的 RGB 图像转换成 Lab 图像, 每张图像中均选取蛋鸡及最接近蛋鸡颜色的背景 2 个小样本区域, 分别计算这两类区域在 a 、 b 分量的数学期望作为分割阈值。随后将采集的图像像素聚类于与 a 、 b 分割阈值的欧氏距离最小的区域, 从而实现蛋鸡与背景区域的自动分割。针对经常出现的蛋鸡群聚造成蛋鸡个体之间相互粘连的情况, 研究利用改进的极限腐蚀及凹点搜寻处理算法分离出独立的蛋鸡并正确计数。108 幅蛋鸡图像识别结果表明, 该算法能将蛋鸡个体从复杂背景中有效提取、计数和粘连分离, 蛋鸡计数正确率为 93.5%, 综合分离正确率为 89.8%。

关键词: 蛋鸡 图像识别 粘连 Lab 颜色模型 凹点搜寻 极限腐蚀

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)04-0213-04

Recognition and Conglutination Separation of Individual Hens
Based on Machine Vision in Complex Environment

Lao Fengdan^{1,2} Teng Guanghui¹ Li Zhuo¹ Yu Ligen¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Engineering in Structure and Environment, Ministry of Agriculture,
China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Network Center, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The Lab color model was selected as the segmentation color space. The developed system was able to classify each pixel by calculating the smallest Euclidean distance between the pixel and a set of color markers. The RGB images were taken at an early stage of the experiment, and then converted to Lab images. Small regions, which include some regions from the background and the hens, were chosen. The average color of each region was calculated to segment the hen and the background. For automatically separating overlap hens and counting the number of hens in group-housed environments, an algorithm based on ultimate erosion and concavity seek was used to provide the most accurate results. With the results of 108 images, it showed that the algorithm was able to achieve an accuracy of 93.5% for counting the number of hens in image, and an accuracy of 89.8% under conglutination condition.

Key words: Hens Image recognition Conglutination Lab color model Concavity seeking Ultimate erosion

引言

近年来, 鸡的活动情况通常作为鸡养殖福利评

价的重要指标^[1~2]。研究表明: 鸡患病时活动会显著减少^[1], 鸡的活动随饲养密度增大呈线性减少的趋势^[2]; 鸡在食物缺乏或遭受惊吓时会出现啄羽、

收稿日期: 2012-04-24 修回日期: 2012-06-07
* 国家自然科学基金资助项目(31072066)和公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(201003011)
作者简介: 劳凤丹, 博士生, 高级工程师, 主要从事计算机网络和农业信息化研究, E-mail: laofd@cau.edu.cn
通讯作者: 滕光辉, 教授, 博士生导师, 主要从事农业信息化和设施农业工程研究, E-mail: futong@cau.edu.cn

炸群等异常行为^[3];鸡只分布情况与饲养环境的舒适程度相关^[4]。因此,监控鸡的活动情况及分布密度具有重要意义。鉴于养殖规模扩大、畜禽数量增多及无法不间断人工观察的情况,利用图像处理技术的无接触行为识别研究成为了研究热点^[5-7],但目前尚未实现自动的个体计数和识别功能。

由于鸡并非高度流动的动物且饲养密度大,经常出现多只鸡聚集粘连的情况。如何能摒弃鸡的品种、外形、饲养环境的差异,将其快速准确地从复杂背景中自动分割并分离粘连鸡只,以获得独立的研究对象,目前仍然是鸡行为自动识别与分析系统的基础和难点问题。

粘连物体的分离主要有3种方法:椭圆拟合法、流域变换法和凹点分析法^[8-13]。椭圆拟合法通过获取粘连区域的局部轮廓信息进行椭圆拟合,以拟合椭圆作为研究对象的轮廓,主要适用于类圆形颗粒的计数;流域变换法通过距离变换或极限腐蚀获取各粘连对象的几何中心后,再进行膨胀运算直至各部分即将连接为止,各膨胀领域的相邻处,即为分界线;凹点分析法通过寻找图像中的凹点、对凹点进行配对计算、并将算出的配对凹点的连线作为分割线,对凹陷明显的粘连区域的分离效果好,在分离粘连情况复杂的区域时,算法则比较复杂。考虑到鸡粘连区域的轮廓形状差异大,不适合用椭圆拟合法,且轮廓具有凹特性,也无法满足流域变换法要求的待分离区域具有凸特性的先验条件,因此选定凹点分析法,并将其进行改进以满足本研究需要。

本文以散养蛋鸡为对象,通过分析蛋鸡的颜色信息特征,在 Lab 颜色模型中利用阈值分割及形态学处理去除复杂背景的干扰,获取蛋鸡区域,并基于极限腐蚀及凹点搜寻的分离算法实现粘连蛋鸡的有效分离和鸡只计数。

1 机器视觉系统

采用的机器视觉系统配备有 300 万像素的高清网络摄像头(型号:Logitech C270),操作系统选用 Windows XP,图像处理软件为 Matlab R2010a。

采用 Java 语言编写图像定时采集程序(分辨率 640 像素×480 像素),于 2011 年 8 月在中国农业大学上庄实验鸡舍内对 240 日龄左右、体型正常的健康海兰褐蛋鸡进行系列图像数据采集实验,所采集图像为 RGB 格式。

2 颜色模型选择

在复杂的实际散养环境中,造成蛋鸡提取困

难的因素有:地板上铺有垫料(一般为麦麸或刨花)、喂料槽、饮水槽、蛋鸡粪便等杂物;现场光照不均;海兰褐蛋鸡羽毛杂色,有部分区域与麦麸垫料颜色很接近,特别是蛋鸡抖动羽毛或扇翅膀时尤为明显。对采集的图像进行直方图观察,难以设定合适的阈值直接使用 RGB 图像或灰度图像进行分割。

彩色图像处理算法的关键是确定合适的颜色模型^[14]。通过对比实验,发现 Lab 颜色模型可更好地反映色度的差别,它具有色彩空间比 RGB 大、设备无关性可弥补 RGB 依赖设备色彩特性不足的优势。因此,将采集的 RGB 图像转换为 Lab 图像后再进行蛋鸡分割。

3 蛋鸡分割

3.1 复杂背景去除

将获取的图像转换到 Lab 颜色模型后,通过区域颜色提取算法分别总结出合理的背景、蛋鸡颜色阈值,进而分割出蛋鸡分量图。

颜色阈值在实验前期通过如下方法确定:采集 10 幅现场图片转换到 Lab 模型;每幅分别选取蛋鸡和最接近蛋鸡颜色的背景 2 个小样本区域,并计算每个小样本区域的 a、b 分量均值;分别计算多组蛋鸡及背景样本区域的数学期望作为各自的分割阈值。图 1 为算法流程图。

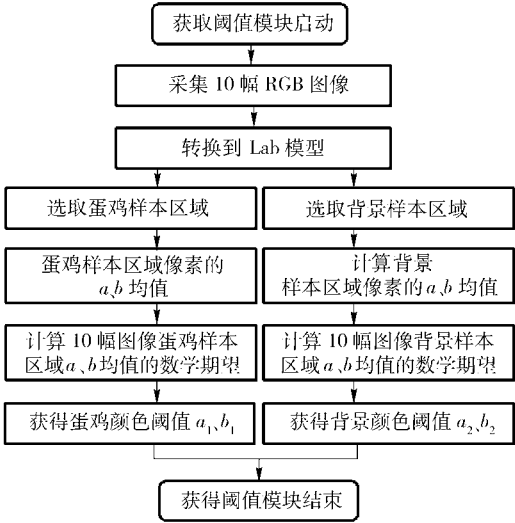


图 1 阈值获取算法流程图

Fig. 1 Flow chart of threshold acquisition algorithm

在随后的自动分割算法中,分别计算图像像素与蛋鸡颜色阈值、背景颜色阈值的欧氏距离为

$$d_i = \sqrt{(a - a_i)^2 + (b - b_i)^2} \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

式中 d_1, d_2 ——图像像素分别与蛋鸡、背景颜色阈值的欧氏距离

将像素归入距离最小的参照组中,则可得到去除复杂背景(地板、围栏、垫料、喂槽)的蛋鸡分量图。

3.2 形态学滤波

去除背景所得的蛋鸡分量图的效果一般不理想,还需进一步对其进行形态学滤波。

3.2.1 二值处理

形态学操作基于二值图像进行,首先将去除背景后的蛋鸡分量图转换成二值图。在颜色分割中绝大部分的背景已被去除,所以二值处理的分割阈值很小,为 0.001。

3.2.2 去除小面积噪声

二值处理后的图像还存在不少小面积噪声。只要以 200 个像素点作为面积阈值进行分割可有效消除小区域噪声。在 Matlab 中,使用 bwareaopen 函数实现上述功能。

3.2.3 平滑轮廓及填充空洞

为获得蛋鸡平滑的连通区域,依次对去除小面积噪声后的二值图像进行闭运算、填充空洞和开运算操作。闭运算及开运算选用 4×4 的磁盘结构元素。闭运算是二值图像 I 被结构元素 B 膨胀的结果再被 B 腐蚀。闭运算可平滑轮廓,它一般能融合窄的缺口和细长的弯口,去掉小洞,填补轮廓上的缝隙,得到连通的蛋鸡轮廓^[15]。但是由于蛋鸡的毛色不纯或蛋鸡羽毛蓬松张开等因素,蛋鸡区域里还会存在一些孔洞或凹陷,这些孔洞和凹陷的边缘会影响后续处理,所以必须进行填充^[16]。开运算则是二值图像 I 被结构元素 B 腐蚀后再被 B 膨胀。开运算能削弱狭窄的部分,去掉细的突出,进一步得到更为光滑的图像轮廓。

经过图 2 的滤波处理步骤,可获得相对平滑的蛋鸡连通二值图 BW(图 2f)。此时,可用 bwlabel 函数标记二值图像、用 bwconncomp 函数计算连通区域数量、用 regionprops 函数获取每个连通区域的面积、周长等参数。

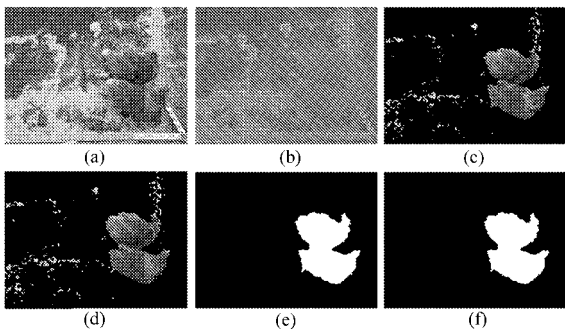


图 2 背景去除及滤波过程图

Fig. 2 Remove background and filter process

(a) 蛋鸡 RGB 原图 (b) 转换成 Lab 图 (c) 蛋鸡分割图
(d) 二值图 (e) 去噪、闭合运算及填充处理 (f) 开运算处理

4 蛋鸡计数及粘连分离

4.1 蛋鸡粘连判断参数

蛋鸡粘连区域比独立蛋鸡的边界轮廓复杂。选用可描述目标边界复杂程度的形态因子作为粘连判断的主要参数。形态因子定义为

$$F = \frac{4\pi S}{L^2} \tag{4}$$

式中 S ——一个目标连通区域的面积

L ——一个目标连通区域的周长

S 可通过扫描图像,累加同一标记区域中像素的个数来表示; L 可用相邻边缘点的距离之和表示^[12](两相邻边缘点间如互为垂直或水平方向则距离为 1,如为倾斜方向则距离为 $\sqrt{2}$)。形状因子的取值范围为 $0 < F \leq 1$,圆形时 F 取值最大,为 1。当连通区域出现多只蛋鸡粘连重叠时,其边界会因凹陷而变得复杂,在相同面积情况下,有凹陷比没有凹陷的周长长,形状因子相应会变小^[12]。经过学习训练,确定阈值 F_0 取值为 0.4,并结合面积参数 $A_{\max}$ ($A_{\max}$ 为程序预先设定的单只蛋鸡的最大面积阈值)作为蛋鸡粘连的判断依据。

4.2 蛋鸡计数及质心点获取算法

确定图像中蛋鸡数量及每只蛋鸡的质心点关系到能否正确分离粘连蛋鸡。使用极限腐蚀的方法求取蛋鸡数量及质心点坐标,步骤如下:

(1) 计算 BW 连通区域数量 n 及每个区域的形态因子 F_i 及面积 A_i ($i = 1, 2, \dots, n$)。

(2) 依次提取单个连通区域 i ,如果此区域满足条件: $F_i > F_0$ 且 $A_i < A_{\max}$,则判断区域 i 为未粘连的单只蛋鸡,蛋鸡数量加 1,并求出此区域的质心点坐标作为蛋鸡质心点;如果未满足以上条件,则判断区域 i 为粘连蛋鸡,继续执行步骤(3)。

(3) 对粘连区域 i 依次进行如下操作:腐蚀、去除小噪声、计算粘连区域 i 被腐蚀后的连通子区域个数 m 、对子区域按面积从小到大排序。

如果粘连区域 i 的第 j 个子区域(记为子区域 ij)满足下列条件之一:

条件 1: $m > 1$ 且 $F_{ij} > F_0$ ($j = 1, 2, \dots, m - 1$)。

条件 2: $m > 1$ 且 $A_{ij}/A_{i(j-1)} < 1.5$ 且 $F_{i(j-1)} \geq F_0$ ($j = 2, 3, \dots, m$)。

条件 3: $A_{ij} < A_{\min}$ ($j = m, A_{\min}$ 为程序预先给定的停止腐蚀的最小面积阈值)。

则判断子区域 ij 为已分离的单只蛋鸡,蛋鸡数量加 1,并求其质心点坐标;否则判断子区域 ij 仍旧存在粘连,继续执行步骤(3),直至完全分开或其最大子区域面积小于 $A_{\min}$ 为止。

4.3 粘连蛋鸡的分离算法

蛋鸡粘连部位会形成凹陷区域,2 个凹陷区域的最小距离点(凹点)的连线可分离粘连蛋鸡。凹点分离算法为:①提取出粘连重叠区域。②计算包含重叠区域的凸封闭包。③用凸封闭包减去重叠区域,求出凹区域及凹区域的轮廓。因为蛋鸡轮廓并非光滑的弧形,所以求出的凹区域会存在很多小噪声,此步骤还需去除这些噪声。④利用欧氏距离公式计算各个凹区域轮廓之间的最小距离点对。⑤搜寻合理的最小距离点对作为分割线段端点。

基于最小距离点对的连线应分布在粘连区域两个质心点连线两侧的判断条件,可对步骤④获取的最小距离连线(可能是多条)进行筛选,从而求出真正的分割线(图 3)。

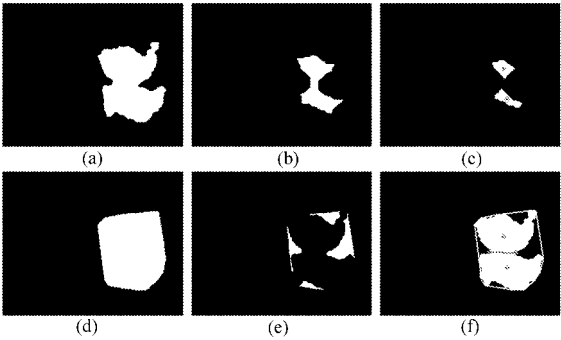


图 3 蛋鸡重叠分割

Fig.3 Splitting of overlapping convex hens

- (a) 蛋鸡重叠区域 (b) 腐蚀过程图
- (c) 获取蛋鸡数量及质心点 (d) 凸包图
- (e) 凸包减去重叠区域得到凹区域 (f) 求出分割线

5 实验结果分析

实验过程中,共处理了 108 幅散养蛋鸡图像,识

别结果如表 1 所示。

表 1 散养蛋鸡识别结果

Tab.1 Recognition results of group-housing hens

项目	综合	无粘连	有粘连
图像总数/幅	108	52	56
正确计数/幅	101	52	49
蛋鸡计数正确率/%	93.5	100	87.5
蛋鸡正确分离数/幅	97	52	45
分离正确率/%	89.8	100	80.4

通过表 1 的散养蛋鸡识别结果分析,蛋鸡综合计数正确率为 93.5%,提取单只蛋鸡的综合分离正确率为 89.8%,有粘连图像的分离正确率为 80.4%,误识别的原因主要有:①蛋鸡粘连的形态千差万别,个别粘连区域很平滑,其形态因子已超过阈值,但是 2 只粘连鸡只的面积与单只鸡只的面积相差不多,导致程序判断失误。②多只蛋鸡粘连在一起的复杂粘连区域,凹点搜索过程可能出现个别凹点丢失、搜索到伪凹点的情况,导致后续的分离错误。

6 结论

(1) 提出了复杂散养环境中基于 Lab 颜色模型将蛋鸡从背景中有效分割的新方法。

(2) 针对蛋鸡轮廓的非平滑性,提出了基于极限腐蚀及凹点搜寻的改进分离算法,可对蛋鸡进行有效计数及粘连分离,综合计数正确率为 93.5%,综合分离正确率为 89.8%,有粘连图像的分离正确率为 80.4%。

参 考 文 献

1 Aydin A, Cangar O, Eren Ozcan S, et al. Application of a fully automatic analysis tool to assess the activity of broiler chickens with different gait scores[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010,73(2): 194 ~ 199.

2 Appleby M C, Hughes B O, Hogarth G S. Behaviour of laying hens in a deep litter house[J]. British Poultry Science, 1989, 30(3): 545 ~ 553.

3 Knierim U. Animal welfare aspects of outdoor runs for laying hens: a review[J]. NJAS,2006, 54(2):133 ~ 145.

4 Pickel T, Scholz B, Schrader L. Perch material and diameter affects particular perching behaviours in laying hens[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2010,127(1-2): 37 ~ 42.

5 Poursaberi A, Wichman A, Bahr C, et al. Automatic monitoring of turkeys: a vision-based approach to detect and analyse the behaviour of turkeys in transport cages based on ellipse fitting [C] // ASABE, 7th World Congress on Computers in Agriculture Conference Proceedings,2009: 38 ~ 44.

6 Dawkins M S, Lee Hyoung-joo, Waitt C D, et al. Optical flow patterns in broiler chicken flocks as automated measures of behaviour and gait[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2009, 119(3 ~ 4): 203 ~ 209.

7 Sherwin C M, Richards G J, Nicol C J. Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK[J]. British Poultry Science, 2010,51(4), 488 ~ 499.

参 考 文 献

1 耿长兴,张俊雄,曹峥勇,等. 基于色度和纹理的黄瓜霜霉病识别和特征提取[J]. 农业机械学报, 2011, 42(3): 170 ~ 174.
Geng Changxing, Zhang Junxiong, Cao Zhengyong, et al. Recognition and features extraction of cucumber downy mildew based on color and texture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 170 ~ 174. (in Chinese)

2 耿长兴,张俊雄,曹峥勇,等. 温室黄瓜病害对靶施药机器人设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(1): 177 ~ 180.
Geng Changxing, Zhang Junxiong, Cao Zhengyong, et al. Cucumber disease toward-target agrochemical application robot in greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(1): 177 ~ 180. (in Chinese)

3 陈兵旗,郭学梅,李晓华. 基于图像处理的小麦病害诊断算法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 190 ~ 195.
Chen Bingqi, Guo Xuemei, Li Xiaohua. Image diagnosis algorithm of diseased wheat[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(12): 190 ~ 195. (in Chinese)

4 周博,郑加强,周宏平. 树木图像拼接系统特征点匹配[J]. 农业机械学报, 2010, 41(10): 195 ~ 198.
Zhou Bo, Zheng Jiaqiang, Zhou Hongping. Tree image mosaicing system based on featured area matching[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 195 ~ 198. (in Chinese)

5 蔡丽欢,廖英豪,郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1 ~ 4.
Cai Lihuan, Liao Yinghao, Guo Donghui. Study on image stitching methods and its key technologies[J]. Computer Technology and Development, 2008, 18(3): 1 ~ 4. (in Chinese)

6 陈伟,刘丽. 结合角点特征与 SIFT 特征的加速图像匹配[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(1): 98 ~ 102.
Chen Wei, Liu Li. Combining corner and SIFT features to accelerate image matching[J]. Computer Technology and Development, 2012, 22(1): 98 ~ 102. (in Chinese)

7 李忠海,李申,崔建国,等. 基于快速 SIFT 特征提取的模板匹配算法[J]. 计算机工程, 2011, 37(24): 222 ~ 224.
Li Zhonghai, Li Shen, Cui Jianguo, et al. Template matching algorithm based on fast SIFT feature exteaction[J]. Computer Engineering, 2011, 37(24): 222 ~ 224. (in Chinese)

8 Friedman J H, Bentley J L, Frinkel Raphael R A. An algorithm for finding best matches in logarithmic expected time [J]. ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS), 1977, 3(3): 209 ~ 226.

9 Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91 ~ 110.

10 Gordon I, Lowe D G. What and where: 3D object recognition with accurate pose[J]. Toward Category-level Object Recognition, 2006, 30(12): 67 ~ 82.

~~~~~

(上接第 216 页)

8 闫学昆,陈英,张燕,等. 凸性颗粒构成的粘连区域的三类自动分离方法的对比分析[J]. 中国体视学与图像分析, 2011, 16(3): 237 ~ 242.  
Yan Xuekun, Chen Ying, Zhang Yan, et al. Comparative analysis on automated separation methods of clustered regions composed of convex particles [J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2011, 16(3): 237 ~ 242. (in Chinese)

9 吴忻生,刘洋,戚其丰. 基于凹性分析的粘连车辆分割[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 344 ~ 347.  
Wu Xinsheng, Liu Yang, Qi Qifeng. Adhered vehicles segmentation based on concavity analysis [J]. Application Research of Computers, 2012, 29(1): 344 ~ 347. (in Chinese)

10 Grau V, Mewes A U J, Alcaniz M, et al. Improved watershed transform for medical image segmentation using prior information[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2004, 23(4): 447 ~ 458.

11 闫学昆,陈英,杜杰,等. 基于最短距离的粘连细胞分离点对的自动配对[J]. 中国体视学与图像分析, 2009, 14(3): 308 ~ 313.  
Yan Xuekun, Chen Ying, Du Jie, et al. Auto pairing of the separation pair-points in overlapping cells based on minimum distance [J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2009, 14(3): 308 ~ 313. (in Chinese)

12 傅蓉,申洪,陈浩. 基于凹点搜寻的重叠细胞图像自动分离的算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(17): 21 ~ 23.  
Fu Rong, Shen Hong, Chen Hao. Research of automatically separating algorithm for overlap cell based on searching concave spot [J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(17): 21 ~ 23. (in Chinese)

13 Bai X Z, Sun C M, Zhou F G. Splitting touching cells based on concave points and ellipse fitting[J]. Pattern Recognition, 2009, 42(11): 2 434 ~ 2 446.

14 熊俊涛,邹湘军,陈丽娟,等. 基于机器视觉的自然环境中成熟荔枝识别[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 162 ~ 166.  
Xiong Juntao, Zou Xiangjun, Chen Lijuan, et al. Recognition of mature litchi in natural environment based on machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 162 ~ 166. (in Chinese)

15 王家文,曹宇. MATLAB 6.5 图形图像处理[M]. 北京:国防工业出版社, 2004: 346 ~ 347.

16 蔡健荣,周小军,李玉良,等. 基于机器视觉自然场景下成熟柑橘识别[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 175 ~ 178.  
Cai Jianrong, Zhou Xiaojun, Li Yuliang, et al. Recognition of mature oranges in natural scene based on machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 175 ~ 178. (in Chinese)