

苹果图像的背景分割与目标提取*

王福杰^{1,2} 饶秀勤¹ 应义斌¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 中北大学机械工程与自动化学院, 太原 030051)

摘要: 水果的缺陷、大小和颜色差异以及光照等因素影响图像背景分割与目标提取精度。以苹果为研究对象, 针对4种不同光照强度条件下采集的280幅不同姿态的苹果图像, 将彩色图像的 R 、 G 、 B 分量进行算术运算, 然后采用形态学开运算进行降噪处理, 采用线性空间滤波消除锯齿状边界, 采用自动阈值分割方法进行背景分割与目标提取。结果显示, 203幅图像的分割偏差小于1%, 占总量的72.5%; 70幅图像的分割偏差大于1%而小于2%, 占总量的25%; 偏差大于2%的有7幅, 占总量的2.5%。最大分割偏差为2.83%。

关键词: 苹果 背景分割 目标提取 空间滤波

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)01-0196-04

Background Segmentation and Object Extraction of Apples Images

Wang Fujie^{1,2} Rao Xiuqin¹ Ying Yibin¹

(1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2. College of Mechanical Engineering and Automation, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The defects, size, color of fruit and the lighting influence the accuracy of segmentation. In order to improve the segmentation accuracy, a combinational method was presented based on apple images processing. The R , G , B components were calculated by arithmetic operations at first. Then the arithmetic result was processed for noise cancellation by morphological opening and for smooth boundary by linear spatial filtering. After these operations, the automatic threshold method was used for background segmentation. This combinational method shows good performance to process 280 images of apples with different attitudes, size, color and defects. And these images were gained in 4 types of illumination conditions. The segmentation deviations of 203 images which are 72.5% of total images are less than 1%. The segmentation deviations of 70 images which are 25% of total images are larger than 1% but less than 2%. Only 7 images' deviations are larger than 2%, and the maximum segmentation deviation is 2.83%.

Key words: Apple Background segmentation Object extraction Spatial filtering

引言

水果的姿态、缺陷、大小、颜色差异以及光照等因素影响着水果图像背景分割与目标提取的精度。Otsu^[1]根据类间最大方差自动搜索最佳的灰度阈值, 进行自动背景分割。应义斌^[2]根据彩色图像的 B 分量灰度直方图, 利用双峰法选择阈值进行背景

分割。Tabb A等^[3]采用全局混合高斯分布方法(GMOG), 根据背景与目标像素的高斯分布具有不同均值的特点, 选择适当的阈值分割背景和识别水果, 该方法正确识别率达85%以上。Gonzalez^[4]介绍的基于区域的方法以及基于分水岭的分割方法也常用于背景分割。张玉珠等^[5]采用近红外和RGB彩色空间 R 、 G 分量多光谱融合图像进行了背景分

收稿日期: 2012-05-06 修回日期: 2012-09-25

*“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD20B12)

作者简介: 王福杰, 博士生, 中北大学讲师, 主要从事机器视觉检测技术研究, E-mail: fujie_wang@163.com

通讯作者: 饶秀勤, 副教授, 主要从事农产品品质无损检测与智能化装备研究, E-mail: xqrao@zju.edu.cn

割。李江波等^[6]采用掩膜及边缘灰度补偿的方法分割背景,较好地提取了脐橙表面缺陷。李正明等^[7]对图像进行中值滤波后,采用改进的 Otsu 方法对 HSV 颜色空间 H 分量进行处理,然后对结果做形态学开闭运算从而获得了较好的分割结果。Hannan M 等^[8]将 R 、 G 、 B 分量分别除以 R 、 G 、 B 分量之和,得到新的 r 、 g 、 b 分量,然后采用阈值法分割识别果实,处理结果表明该方法识别率达 90% 以上。Linker R 等^[9]根据苹果区域色差特点检测,格式化具有同样特点的区域为苹果,然后分割这些区域,用苹果形状校准,实验结果表明该方法检测率达 85% 以上。耿楠等^[10]采用先验信息与水平集的方法对农业图像进行背景分割。彭辉等^[11]采用双目立体视觉系统基于视差图像进行果实图像分割。

上述方法对本文中采集的图像不能有效分割背景与提取目标,因而本文首先对 R 、 G 、 B 彩色分量进行算术运算融合,然后对结果采用形态学开运算进行消噪处理,接着利用线性空间滤波去除锯齿状边界,最后采用自动阈值方法分割背景提取目标。

1 图像获取

1.1 机器视觉系统

采用的机器视觉系统^[6,10]如图 1 所示。光照箱内表面涂成白色,采用 6 支 F40BX/480 荧光灯 (GE) 作为照明光源。图像采集使用美国 PULNIX 公司的 TMC-7DSP 型彩色数字 CCD 相机,以及加拿大 Matrox 公司的 Matrox Meteor II/Standard 型图像采集卡。计算机为 Advantech Industrial Computer 610 工控机。

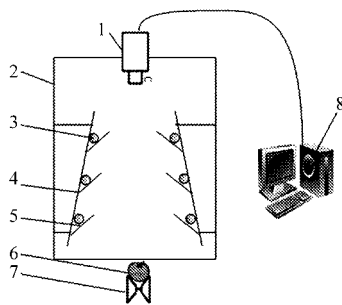


图 1 机器视觉系统

Fig. 1 Machine vision system

1. 相机 2. 光照箱 3. 荧光灯 4. 支架 5. 散射板 6. 水果
7. 果杯 8. 工控机

1.2 实验材料

采用大小、形状、颜色各异的 7 个新疆冰糖心红富士苹果作为实验对象。其中,5 个有溃疡缺陷,1 个有划伤缺陷,1 个有碰伤缺陷;1 个红颜色,1 个黄颜色,其余 5 个红黄相间且颜色分布不均。

1.3 实验方案

设定相机曝光时间及镜头光圈等参数并保持不变。开启光源 20 min 后光照箱内的光强趋于稳定,使用 TES1336A 型光度计测量水果表面照度。实验分别在 1 787 lx、3 250 lx、5 300 lx、8 600 lx 光照强度下进行。

根据苹果果轴的方向,苹果分为 10 种姿态:

(1) 果轴与水平面平行 2 种姿态:果轴与输送带方向一致和果轴垂直于输送带方向。

(2) 果轴与水平面垂直 2 种姿态:果梗在上和果梗在下。

(3) 果轴与水平面呈空间角度 6 种姿态:果轴与水平面的夹角、方向随机。

实验采集图像 280 幅,图像分辨率为 640 像素 × 480 像素。

2 背景分割与目标提取

为了增强背景与目标的颜色对比,减少背景分割的难度,苹果放置在蓝色果杯上,采用蓝色背景^[11]。对实验采集的彩色图像,首先提取 R 、 G 、 B 分量,通过分量之间的算术运算获得图像 $I(x, y)$ (其中, $x = 0, 1, \dots, M - 1$; $y = 0, 1, \dots, N - 1$; $M = 640$; $N = 480$, 以下相同),然后设计矩形结构元素 S ,通过形态学开运算消除残留的背景噪声得到图像 $I_1(x, y)$;接着构造圆形掩模 w ,将图像 $I_1(x, y)$ 与掩模 w 进行卷积运算得到图像 $I_2(x, y)$;然后对图像 $I_2(x, y)$ 采用 Otsu 方法自动选择阈值进行二值处理,得到二值图像 $I_3(x, y)$;最后将 $I_3(x, y)$ 分别与彩色图像的 R 、 G 、 B 分量进行点乘运算,提取目标水果图像 $C_{rgb}(x, y)$ 。

选取实验当中的一幅图像进行背景分割与目标提取,具体说明其实现过程。该图像具有较为典型的特点:苹果颜色红黄相间;果萼、溃疡在同一图像中;果轴与水平面呈一空间角度。

2.1 算术运算

图像算术运算是在多幅图像间进行像素的加减乘除运算。提取彩色图像红色分量 $R(x, y)$ 图像 (图 2a)、绿色分量 $G(x, y)$ 图像 (图 2c) 和蓝色分量 $B(x, y)$ 图像 (图 2e),对 R 、 G 、 B 分量图像进行算术运算,得到新的图像 $I(x, y)$ (图 3a)。

$$I(x, y) = aR(x, y) + bG(x, y) + cB(x, y) \quad (1)$$

其中, $a = 2.8$, $b = -1.1$, $c = -1.2$ 。

2.2 形态学开运算

开运算一般使对象的轮廓变得光滑,断开狭窄的间断和消除细的突出物。构造大小为 $h \times l$ ($h = 5$, $l = 35$) 的矩形结构元素 S 。使用结构元素对图像

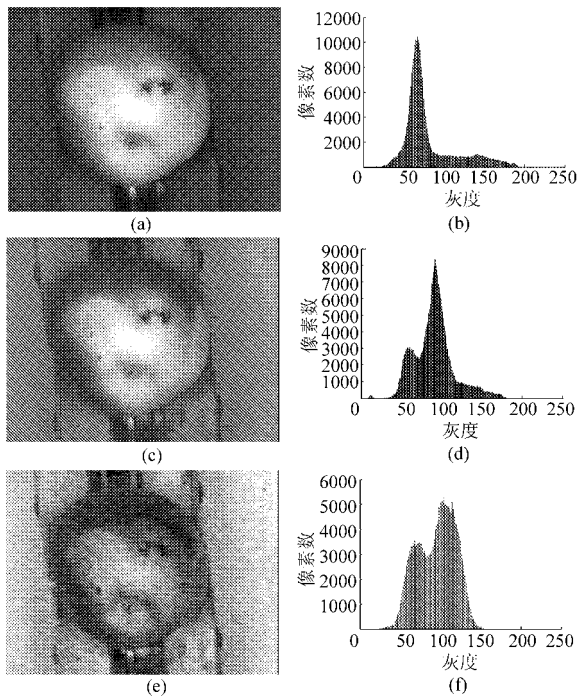


图2 彩色图像的各分量及其直方图

Fig. 2 Components gray-scale images and histograms

- (a) R 分量灰度图像 (b) R 分量直方图
(c) G 分量灰度图像 (d) G 分量直方图
(e) B 分量灰度图像 (f) B 分量直方图

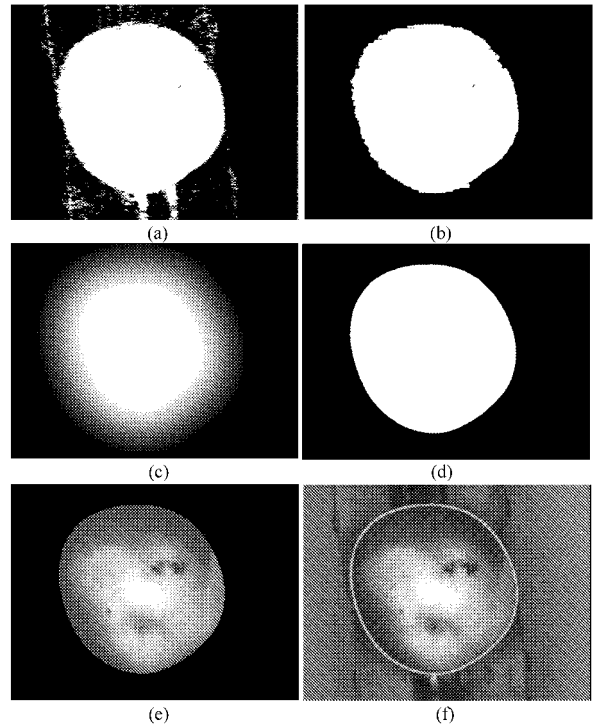


图3 背景分割与目标提取结果

Fig. 3 Results of background segmentation and object extraction

- (a) 分量间算术运算结果 (b) 开运算剔除噪声结果
(c) 线性滤波结果 (d) 二值化处理结果
(e) 目标图像 (f) 标记分割边界对比分割效果

$I(x, y)$ 进行开运算, 获得图像 $I_1(x, y)$ (图 3b)。

$$I_1 = I \circ S = (I \ominus S) \oplus S \quad (2)$$

其中, \circ 表示开运算, \ominus 表示腐蚀运算, \oplus 表示膨胀运算。

2.3 线性滤波

线性空间滤波, 每个像素点上的响应值由滤波器系数与滤波掩模扫过区域的相应像素值的乘积之和给出^[4]。构造半径为 m 的圆形滤波掩模 w , 对图像 $I_1(x, y)$ 进行掩模处理, 得到图像 $I_2(x, y)$ (图 3c)

$$I_2(x, y) = \sum_{s=-p}^p \sum_{t=-q}^q w(s, t) I_1(x+s, y+t) \quad (3)$$

其中, $m = 60, p = q = (m - 1)/2$ 。

2.4 二值处理

根据 Otsu 方法, 自动选择阈值, 将线性滤波后的图像 $I_2(x, y)$ 处理成二值图像 $I_3(x, y)$, 水果区域像素值为 1, 背景值为 0, 如图 3d 所示。

2.5 背景分割与目标提取

将二值图像 $I_3(x, y)$ 分别对 R, G, B 分量图像作像素点乘运算, 得到目标图像的 $r(x, y), g(x, y), b(x, y)$ 分量。合并 r, g, b 分量, 获得背景为黑色的目标水果图像 $C_{rgb}(x, y)$ (图 3e)

$$C_{rgb}(x, y) = \begin{bmatrix} r(x, y) \\ g(x, y) \\ b(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x, y)I_3(x, y) \\ G(x, y)I_3(x, y) \\ B(x, y)I_3(x, y) \end{bmatrix} \quad (4)$$

3 结果与讨论

从图 2 所示苹果图像 R, G, B 分量的直方图可以看出, 不能采用双峰法^[2]分割图像。检测表明, 文献[1~11]的方法不适于本文实验所采集的图像。

图 3a 显示, 彩色分量的算术运算剔除了图像中的大部分背景与噪声, 但仍然残留大量噪声, 特别是跟苹果颜色十分接近的销钉区域和目标区域粘连在了一起。苹果表面的缺陷部分在目标区域产生了空洞。苹果表面照明不均使得边缘部分过于暗淡, 导致目标锯齿状边界的产生。

图 3b 显示, 形态学开运算处理剔除了粘连噪声, 但图像中仍然存在锯齿状边界以及空洞。图 3c 则说明进一步的线性滤波处理消除了空洞与锯齿状边界。

图 3d 是自动阈值分割后获得的二值图像, 将它作为掩模与彩色图像点乘得到图 3e 所示的目标图像。目标区域完整且边界光滑。

为了比较分割效果, 在原图上标记了分割边界, 如图 3f 所示。从图上可以看出, 分割后的目标区域边界与目标原边界基本重合。为了量化评价分割效果, 定义分割偏差

$$e = \frac{S_a - S_0}{S_0} \times 100\% \quad (5)$$

式中 S_a ——分割背景后提取的目标面积

S_0 ——目标真实面积

这里,目标真实面积是采用 Adobe Photoshop CS3 软件人工将背景剔除,然后采用面积计算程序计算得到的近似真实面积。

280 幅图像的背景分割偏差分布如图 4 所示。其中图像序号是按照实验光照条件由弱到强排列。1~70 为光照 1 787 lx 下的图像,71~140 为光照 3 250 lx 下的图像,141~210 为光照 5 300 lx 下的图像,211~280 为光照 8 600 lx 下的图像。最大分割偏差为 2.83%。

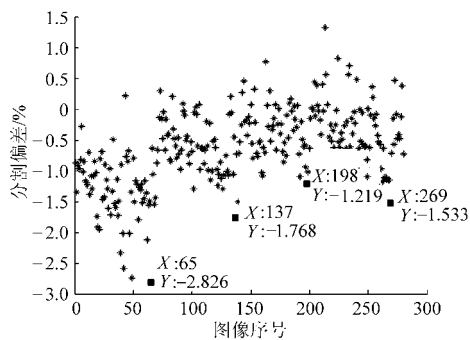


图 4 背景分割偏差分布

Fig. 4 Distribution of background segmentation deviation

4 种光照强度下的分割偏差统计如表 1 所示。偏差小于 1% 的 203 幅,占总量的 72.5%;偏差在 1%~2% 的 70 幅,占总量的 25%;偏差大于 2% 的图像为 7 幅,占总量的 2.5%;最大偏差 2.83%。

最大分割偏差的苹果图像为光照强度最低的图

表 1 背景分割偏差统计表

Tab. 1 Statistics of background segment deviation

光照强度 /lx	图像数	偏差小于 1% 的图像数	偏差在 1% ~ 2% 之间的图像数	偏差大于 2% 的图像数	最大偏差 /%
1 787	70	21	42	7	2.83
3 250	70	56	14	0	1.77
5 300	70	65	5	0	1.22
8 600	70	61	9	0	1.53

像,其苹果颜色为红色,边缘十分暗淡导致难以区分边界。其次出现较大偏差的图像为红黄分布不均的苹果图像。这是因为苹果黄色部分与果杯销钉颜色接近导致粘连噪声剔除不净;苹果红色部分处于边缘昏暗区域导致区分困难。当果梗花萼以及缺陷区域处于苹果边缘时,也对分割偏差产生一定的影响,但此类图像分割偏差不超过 1%。

4 结束语

为了实现背景分割,提出先对 R 、 G 、 B 分量进行算术运算,然后采用形态学开运算进行消噪处理,接着进行线性空间滤波去除锯齿状边界,最后采用自动阈值分割方法进行背景分割。

该方法针对 4 种光照强度下采集的 280 幅彩色图像进行处理,203 幅图像分割偏差小于 1%,占总量的 72.5%;70 幅图像分割偏差在 1%~2%,占总量的 25%;7 幅图像偏差大于 2%,占总量的 2.5%;最大分割偏差为 2.83%。

该方法提取的目标偏差小,边界光滑,具有良好的光照强度适应性。

参 考 文 献

- Otsu N. Threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62~66.
- 应义斌. 水果图像的背景分割和边缘检测技术研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版, 2000, 26(1): 35~38. Ying Yibin. Study on background segment and edge detection of fruit image using machine vision [J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2000, 26(1): 35~38. (in Chinese)
- Tabb A, Peterson D, Park J. Segmentation of apple fruit from video via background modeling [C] // 2006 ASABE Annual Meeting, ASABE Paper 063060, 2006.
- Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital image processing [M]. 3rd ed. San Antonio, TX: Pearson Education, Inc., 2008.
- 张玉珠, 毛罕平, 张艳诚, 等. 基于多光谱融合图像的背景分割[J]. 农机化研究, 2008, 30(10): 122~124. Zhang Yuzhu, Mao Hanping, Zhang Yancheng, et al. Background segmentation based on multi-spectral fusion images [J]. Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(10): 122~124. (in Chinese)
- 李江波, 饶秀勤, 应义斌, 等. 基于掩膜及边缘灰度补偿算法的脐橙背景及表明缺陷分割[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 133~137. Li Jiangbo, Rao Xiuqin, Ying Yibin, et al. Background and external defects segmentation of navel orange based on mask and edge gray value compensation algorithm [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 133~137. (in Chinese)
- 李正明, 王森, 孙俊. 图像分割在成熟茄子目标识别中的应用[J]. 农业机械学报, 2009, 40(9): 105~108. Li Zhengming, Wang Sen, Sun Jun. Image segmentation in object recognition of mature eggplant [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(9): 105~108. (in Chinese)

- Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 139 ~ 145. (in Chinese)
- 2 Nagasaka Y, Saito H, Tamaki K, et al. An autonomous rice transplanter guided by global positioning system and inertial measurement unit [J]. Journal of Field Robotics, 2009, 26(6~7): 537 ~ 548.
 - 3 李进, 陈无畏. 基于自适应导航参数的智能车辆视觉导航[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 19 ~ 24.
Li Jin, Chen Wuwei. Navigation of vision-guided intelligent vehicle based on adaptive navigation parameters [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 19 ~ 24. (in Chinese)
 - 4 O'Connor M L. Carrier-phase differential GPS for automatic control of land vehicles [D]. Stanford: Stanford University, 1997.
 - 5 陈军, 鸟巢凉, 朱忠祥. 拖拉机在牧草地上自动引导行走的控制[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 104 ~ 107.
Chen Jun, Torisu R, Zhu Zhongxiang. Study on automatic guidance for tractor on grassland [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7): 104 ~ 107. (in Chinese)
 - 6 陈军, 朱忠祥, 鸟巢凉, 等. 拖拉机沿曲线路径的跟踪控制[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 108 ~ 111.
Chen Jun, Zhu Zhongxiang, Torisu R, et al. On-tracking control of tractor running along curved paths [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(11): 108 ~ 111. (in Chinese)
 - 7 张智刚, 罗锡文, 赵祚喜, 等. 基于 Kalman 滤波和纯追踪模型的农业机械导航控制[J]. 农业机械学报, 2009, 40(增刊): 6 ~ 12.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Zhao Zuoxi, et al. Trajectory tracking control method based on Kalman filter and pure pursuit model for agricultural vehicle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(Supp.): 6 ~ 12. (in Chinese)
 - 8 黄沛琛, 罗锡文, 张智刚. 改进纯追踪模型的农业机械地头转向控制方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(21): 216 ~ 219.
Huang Peichen, Luo Xiwen, Zhang Zhigang. Control method of headland turning based on improved pure pursuit model for agricultural machine [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(21): 216 ~ 219. (in Chinese)
 - 9 Torii T. Research in autonomous agriculture vehicles in Japan [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 25(1~2): 133 ~ 153.
 - 10 周建军, 张漫, 汪懋华, 等. 基于模糊控制的农用车辆路线跟踪[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 151 ~ 156.
Zhou Jianjun, Zhang Man, Wang Maohua, et al. Path tracking for agricultural vehicle based on fuzzy control [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 151 ~ 156. (in Chinese)
 - 11 周建军, 郑文刚, 李素, 等. 基于 ISO 11783 的拖拉机导航控制系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 184 ~ 188.
Zhou Jianjun, Zheng Wen'gang, Li Su, et al. Automatic navigation control system for tractor based on ISO 11783 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 184 ~ 188. (in Chinese)
 - 12 白晓鸽, 陈军, 朱磊, 等. 基于神经网络的拖拉机自动导航系统[J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 75 ~ 77.
Bai Xiaoge, Chen Jun, Zhu Lei, et al. Automatic navigation control system of tractor based on neural network [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4): 75 ~ 77. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 199 页)

- 8 Hannan M, Burks T, Bulanon D M. A machine vision algorithm combining adaptive segmentation and shape analysis for orange fruit detection [J]. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 2009, 11: 1 281 ~ 1 296.
- 9 Linker R, Cohen O, Naor A. Determination of the number of green apples in RGB images recorded in orchards [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2012, 81: 45 ~ 57.
- 10 耿楠, 于伟, 宁纪锋. 基于水平集和先验信息的农业图像分割方法[J]. 农业机械学报, 2011, 42(9): 167 ~ 172.  
Geng Nan, Yu Wei, Ning Jifeng. Segmentation of agricultural images using level set and prior information [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(9): 167 ~ 172. (in Chinese)
- 11 彭辉, 吴鹏飞, 翟瑞芳, 等. 基于视差图像的重叠果实图像分割算法[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 167 ~ 173.  
Peng Hui, Wu Pengfei, Zhai Ruifang, et al. Image segmentation algorithm for overlapping fruits based on disparity map [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(6): 167 ~ 173. (in Chinese)
- 12 桂江生. 二维水果形状检测与分类算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.  
Gui Jiangsheng. Algorithms of 2-D fruit shape detection and classification [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. (in Chinese)
- 13 庞江伟. 基于计算机视觉的脐橙表面常见缺陷种类识别的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
Pang Jiangwei. Study on external defects classification of navel orange based on machine vision [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006. (in Chinese)