

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.032

基于 YUV 颜色模型的番茄收获机器人图像分割方法^{*}

林伟明 胡云堂
(九江学院机械与材料工程学院, 九江 332005)

【摘要】 在研究番茄收获机器人对目标图像分割识别时,经常由于采集的图像受光照影响以及分割识别算法的计算复杂性而影响到识别的准确性和实时性。通过比较 RGB、HSI、YUV 等颜色模型的特点,从理论上分析了 YUV 颜色模型应用于收获机器人视觉系统的可行性,提出了一种基于 YUV 颜色模型的成熟番茄分割方法。同时综合实验及经验确定了成熟的红色番茄在 RGB、HSI、YUV 颜色模型中阈值范围,采用直接确定色差阈值的双阈值分割算法识别成熟番茄,并对 3 种颜色模型在不同的光照条件下的分割识别效果进行实验对比。实验结果证实,将基于 YUV 颜色模型成熟番茄分割方法应用于番茄收获机器人视觉识别系统,能很好地解决其鲁棒性和实时性问题。

关键词: 番茄 收获机器人 YUV 颜色模型 图像分割 机器视觉
中图分类号: TN911.73; TP242.6⁺.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)12-0176-05

Image Segmentation Method Based on YUV Color Space for Tomato Harvesting Robot

Lin Weiming Hu Yuntang
(School of Mechanical and Materials Engineering, Jiujiang University, Jiujiang 332005, China)

Abstract

In the research of segmentation of the target image for tomato harvesting robot, the accuracy was affected by illumination and calculation complication. Firstly, the characteristics of RGB, HIS and YUV color spaces were compared. It was theoretically analyzed that the YUV color space applying to tomato harvesting robot vision system was feasible. Then, the threshold value of the ripe tomato in their color spaces was given according to the results of experiments and experience. The double-threshold algorithm based on YUV color space was put forward to apply to the tomato harvesting robot vision system. And the experiments under different illumination were designed to segment ripe tomato respectively in RGB, HIS and YUV color space in order to test the effect of those algorithms. The experiments also showed that the algorithm based on YUV color space had the better robust and the better real-time than the others.

Key words Tomato, Harvesting robot, YUV color space, Image segmentation, Machine vision

引言

目标图像的分割与识别是视觉技术中最为重要的内容之一,也是收获机器人研究中最为关键的技术。番茄收获机器人收获时要求有较好的鲁棒性和实时性,研究一种既有较高识别正确率又有较快识

别速率的算法对番茄收获机器人至关重要。
近年来,国内外众多学者一直致力于收获机器人的研究与开发,但由于农业机器人的特殊性和复杂性,严重影响其对目标识别的准确率。国内关于农业机器人的研究进展缓慢,相对而言欧美和日本等国取得了一定的进展。日本 Kondo N 等^[1]研制了

收稿日期: 2012-03-14 修回日期: 2012-07-16
^{*} 江西省教育厅青年科学基金资助项目(GJJ10257)
作者简介: 林伟明,讲师,主要从事机器人视觉技术研究,E-mail: wmlin8@163.com

一种樱桃番茄采摘机器人,识别成功率 70%;荷兰 van Henten 等^[2]研制了一种用于收获温室种植黄瓜的自主行走机器人,识别成功率 80%。这两种机器人的视觉系统都是根据植物不同器官对光谱的不同反射特性来识别分割目标物。Kondo N 等^[3]基于颜色系统,设计了一种用于菊花采摘的机器人。荷兰 Jimenez A R 等^[4~5]研制了一种水果收获机器人模型,其视觉系统根据水果形状和颜色特征识别目标,并通过激光测距系统对目标定位。日本 Bulanon D M 等和 Teruaki Mitsui 等^[6~7]分别研制了收获苹果和稻田除杂草的机器人,这两种机器人也是根据颜色特征对目标物作识别定位。国内农业机器人的研究尚处于起步阶段^[8~10],其图像分割识别方法绝大多数是基于 RGB 或者 HSI (HSV) 颜色模型进行的^[11~13]。这些方法因受光照不同而影响其分割识别准确率,且因这些模型与 RGB 模型(计算机系统的主要颜色模型)转换非线性,存在奇异点,易导致图像失真,因此其分割识别效果不太理想。

针对常见的颜色模型应用于农业机器人视觉系统中存在的问题,本文选择成熟的红色番茄为研究对象,研究机器人在不同光照条件下收获成熟番茄的分割方法,为实现番茄选择性收获提供依据。

1 颜色空间模型确定

机器人视觉系统选取的颜色阈值是在三维颜色空间模型中进行的,颜色模型的种类很多,常用的有 RGB、HIS 和 YUV 等。最为常见的 RGB 颜色模型是根据红、绿、蓝三基色按不同的比例混合来表现各种颜色,但 RGB 颜色模式易受光照的影响。HSI 颜色模型能较好地反映颜色的三大特性,同时把亮度与颜色完全分离开来,对处理易受光照影响的图像是一大特点;但由于其表征颜色信息的分量 H 和 S 都由 R 、 G 、 B 的非线性变换得来,存在奇异点,不仅影响分割效果,计算也相对复杂^[14]。

YUV 颜色模式(亦称 YCrCb)^[15]用两维表示光的颜色,用第 3 维来表示颜色的强度;即 U 和 V 表示颜色信息, Y 表示强度。YUV 颜色模型比 RGB 模式更能适应光照强度变化的场合,同时 YUV 模型与 RGB 模型的转换是线性的,不存在溢出致图像信息丢失的问题,计算也相当简单。因而,针对番茄收获机器人的工作特点,提出采用不受光照强度影响的 YUV 颜色空间模型进行实验分析。

RGB 空间到 YUV 空间的转换公式^[14]为

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.332 & 0.500 \\ 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

YUV 空间到 RGB 空间的转换公式为

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1.402 & 0 \\ 1 & -0.344 & -0.714 \\ 1 & 1.772 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U-128 \\ V-128 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2 YUV 颜色空间目标图像的分割识别

2.1 阈值确定方法

机器人视觉系统要求较高的实时性,必须使用计算量小、速度较快的识别方法,因此选择直接确定阈值的方法。确定阈值时,通过采样,在颜色空间中确定每维的上、下阈值;3 个颜色向量(YUV)就在颜色空间中确定了一个长方体;当一个待判断的像素在颜色空间中的位置落在这个长方体中时,就认为该像素点属于要找的目标像素^[16]。

2.2 番茄成熟度判断

收获机器人的采摘对象是成熟后为红色的番茄,品种是金鹏一号。为确定出目标番茄是否成熟,实验采集了约 200 幅图像资料,包含了不同成熟度的番茄,如图 1 所示。

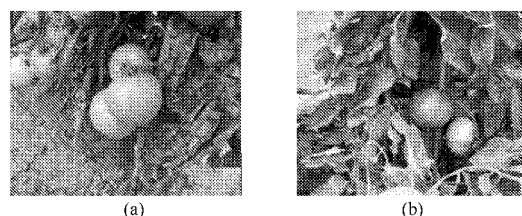


图 1 不同成熟度的番茄

Fig. 1 Tomatoes in different ripeness

(a) 未熟和半熟的番茄 (b) 成熟的番茄

实验中发现,成熟的红色番茄、未成熟番茄和其他障碍物的 RGB、HSI、YUV 空间分量值有显著的差别。RGB 模型中,成熟番茄的 R 在 200 以上,叶片 R 为 110 左右,绿色番茄 R 为 165 左右;HSI 模型中,成熟番茄的色调值 H 在 22 左右,叶片 H 在 85 左右,绿色番茄 H 在 85 左右;YUV 模型中,成熟番茄的 V 在 172 左右,叶片 V 在 120 左右,绿色番茄的 V 在 115 左右。这样,根据采集的图像在 RGB、HSI、YUV 等颜色模型中各分量的差别可成功地分割出成熟的番茄。

2.3 色差阈值分割方法

YUV 颜色模型同 HSI 颜色模型一样,它与人类的视觉感知过程相类似,具有能将颜色中的亮度分量分离出来的优点;而相比 HSI 颜色模型,YUV 颜色模型计算过程要相对简单,其聚类特性也较好^[17]。

由于在 YUV 颜色空间中, Y 是表示亮度的,它随光照情况的影响变化很大,计算时应将其剔除。虽然 U 同样是颜色的一种属性之一,但它不随光照

情况的影响,在 YUV 颜色系统中决定颜色最根本的属性应该是 V 。从图 2a 的 U 直方图可以看出,其 U 分布范围较大,且分布区域也较接近绿色番茄和叶片的 U (成熟番茄 U 约 86,未成熟番茄 U 约 90,叶片 U 约 106),显然,根据 U 难以区分出目标与背景。而图 2b 中 V 直方图,其聚集性明显好,且成熟的番茄与绿色的番茄、茎、叶等,它们各自的 V 分量有很大的差别,可以据此来分割识别。

YUV 颜色模型分割识别,算法如下:

- (1) 读取图像中的像素点,按式(1)计算出 V 分量的值。
- (2) 将计算出的 V 与前面设定的阈值作比较,即作如下判断

if($V > V_1$ && $V < V_2$)

该像素点保持原值;

else

该像素值置 255;

- (3) 读取下一个像素点,重复步骤(1)、(2)直到最后一个像素点。

由大量实验统计后的结果及专家经验发现,对于金鹏一号番茄,其成熟时 YUV 颜色空间其 V 的阈值范围为 146 ~ 195,故设定分割阈值下限 V_1 为 146、上限 V_2 为 195 来分割成熟的番茄区域。

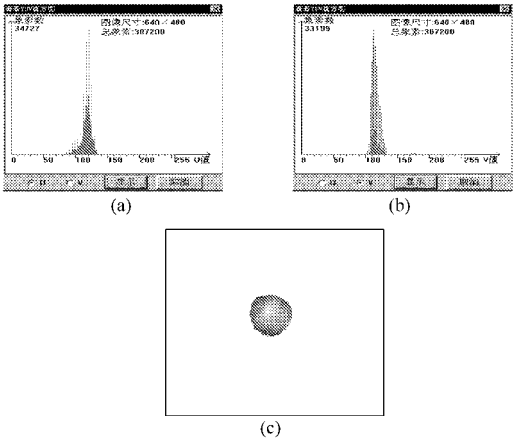


图 2 YUV 颜色空间下分割处理

Fig. 2 Segmentation processing in YUV color space

图 2b 中最高波峰是绿色物体对应区域,而第 2 个波峰对应的就是红色成熟番茄区(因图像中绝大多数为非成熟番茄,像素少,故波峰小但还是可见)。图 2c 是根据基于 YUV 颜色空间色差阈值分割算法对图 1b 分割识别的结果,从该图可以看出,图像中红色的番茄目标区域成功地从背景中分离出来,分割效果完整,基本没有噪声。

2.4 二值形态学处理

在成熟番茄分割后,图像中大多仍有一些噪声

的残留,这些噪声主要是一些与成熟番茄颜色特征很接近的土壤、老叶片等障碍物。这些噪声对于后续形状特征的提取极其有害,因此需对分割后的图像作进一步处理。

图 3a 是成熟番茄分割后作二值处理的图像。二值处理后图像中的图形分量表现为块状的图形,其噪声的表现形式有很多,其中有代表性的形式为点状图形和小孔。一般来说,采用二值形态学的方法能有效去除这些小的连接成分。

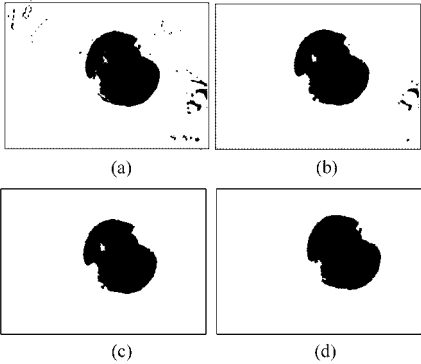


图 3 二值形态学处理

Fig. 3 Binary morphology

(a) 原二值化图像 (b) 二值形态学处理结果
(c) 种子填充处理结果 (d) 面积特征去区域噪声效果

图 3b 是利用腐蚀—膨胀—腐蚀—膨胀 4 个步骤处理的结果。图 3c 是利用种子填充算法复原图像并将图像中部分小噪声去除的结果。图 3d 是根据目标区域的面积特征去除掉区域噪声后的效果图。最后识别出了完整的成熟番茄图像,这为下一步对成熟番茄的目标定位奠定了基础。

3 实验结果对比

为验证在 YUV 颜色模型色差阈值分割方法的效果,用 VC++6.0 编写的软件 RobotVision 1.0,分别对 YUV、HIS 和 RGB 3 种颜色模型进行了分割对比实验。

表 1 是 3 种模型下,温室大棚内晴天(光照度约 200 ~ 350 lx)和阴天(光照度约 50 ~ 100 lx)采集的 200 幅图像,分割后噪声占总图像中的平均百分率统计表。实验统计表明,YUV 模型下图像分割效果最好,分割后的其噪声占总图像的百分率只有 4% 左右(这些噪声主要是因一些跟成熟的番茄颜色特征很接近的土壤、老叶片等障碍物的影响);HIS 模型其次,但噪声率也比 YUV 大一倍以上;而 RGB 模型最差。表中也反映出 YUV 模型和 HIS 模型受光照影响不大;而 RGB 模型受光照影响特别明显,晴天和阴天的噪声率相差一倍以上。

限于篇幅,从图库中随机抽取 2 张不同光照度

表 1 分割后图像噪声率比较

Tab.1 Noise rate comparison after segmentation %		
颜色模型	晴天	阴天
YUV	4.2	4.3
HSI	9.5	10.6
RGB	10.5	28.7

下采集的图像作分割效果对比说明。图 4a、图 4b 分别为温室大棚内阴天(光照度约为 65 lx)和晴天(光照度约为 225 lx)采集的图像。对比图 5 和图 6 分割结果,可以看出基于 YUV 颜色空间色差阈值分割方法和基于 HSI 颜色空间色差阈值分割方法,两种分割效果受光照的影响很小;但是 YUV 模型分割效果很好,图像很完整,基本上没有噪声;而 HIS 模型图像中还存在大量的噪声,番茄中部的亮点处还缺了一部分像素;这些噪声点主要是因 HSI 颜色模型分割算法,其计算时非线性转换产生溢出,导致图像失真。而基于 RGB 颜色空间的分割算法受光照影响明显(图 7)晴天(光照度 225 lx)时的图像,分割效果一般;而阴天(光照度 65 lx)时的图像分割效果很差,几乎没有完整的信息,显然这是与 RGB 模型分割时没有去除亮度信息有关。

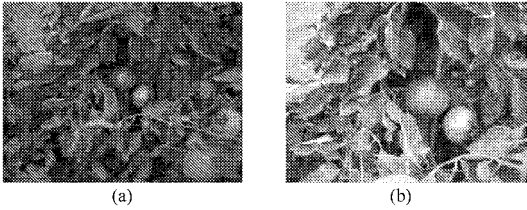


图 4 阴天和晴天采集的图像
Fig.4 Images on cloudy and sunny day
(a) 阴天 (b) 晴天

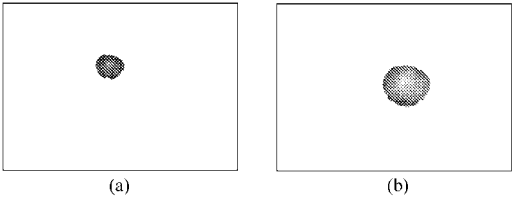


图 5 YUV 颜色模型分割结果
Fig.5 Segmentation results in YUV color space
(a) 阴天 (b) 晴天

另外,实验对 YUV、HSI、RGB 3 种模型的分割时间进行了比较(表 2),表中数据是 bmp 格式,像素分别为 640 像素×480 像素、800 像素×600 像素的各 100 幅图像,在 Pentium-IV 处理器,512 MB

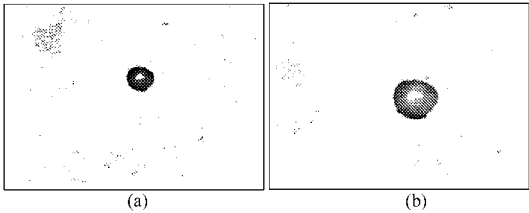


图 6 HSI 颜色模型分割结果
Fig.6 Segmentation results in HSI color space
(a) 阴天 (b) 晴天

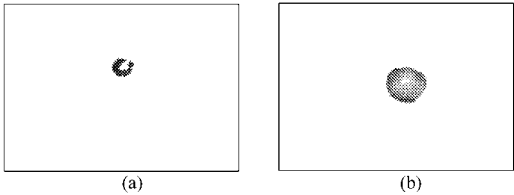


图 7 基于 RGB 颜色模型分割结果
Fig.7 Segmentation results in RGB color space
(a) 阴天 (b) 晴天

内存,Windows 2000 系统运行下处理平均耗时。从表中可以看出,基于 HSI 颜色模型色调直方图统计的双阈值方法相比基于 YUV 颜色空间色差阈值分割方法和基于 RGB 颜色模型的分割方法,其分割识别所需要的处理时间长(非线性转换影响处理速度);而虽然 RGB 颜色模型比 YUV 模型处理时间略短(表中数据没有统计分割后期去除噪声所用时间,若加上去除噪声时间,因 RGB 噪声最大,去除噪声时间应最长)但由于其分割效果受光照影响最大,效果最差,显然不适合番茄收获系统。

表 2 番茄分割识别耗时比较

Tab.2 Time consumption contrast when segmenting tomatoes ms		
颜色模型	640 像素×480 像素	800 像素×600 像素
YUV	11.2	18.2
HSI	21.2	32.5
RGB	9.9	18.0

4 结束语

实验证实,基于 YUV 颜色空间色差阈值分割方法,分割效果基本不受光照变化影响,分割得到的图像噪声少,分割效果完整,而且其计算过程相对简单,有较好的实时性。因此将其应用于成熟番茄收获机器人视觉系统,能较好地解决收获机器人的鲁棒性、实时性两个关键问题。

参 考 文 献

1 Kondo N, Nishitsuji Y, Ling P P, et al. Visual feedback guided robotic cherry tomato harvesting[J]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(6): 2 331 ~ 2 338.

- 2 van Henten E J, Hemming J. An autonomous robot for harvesting cucumbers in greenhouses [J]. *Autonomous Robots*, 2002, 13(3):241~258.
- 3 Kondo N, Monta M. Basic study on chrysanthemum cutting sticking robot [C]//*Proceedings of the International Symposium on Agricultural Mechanization and Automation*, 1997:93~98.
- 4 Ceres R, Pons J L, Jiménez A R, et al. Design and implementation of an aided fruit harvesting robot (Agribot) [J]. *Industrial Robot*, 1998, 25(5):337~346.
- 5 Jimenez A R, Ceres R, Pons J L. A survey of computer vision methods for locating fruit on trees [J]. *Transactions of the ASAE*, 2000, 43(6):1911~1920.
- 6 Bulanon D M, Kataoka T, Ota Y, et al. Automatic recognition of Fuji apples at harvest [J]. *Biosystems Engineering*, 2002, 83(4):405~412.
- 7 Teruaki Mitsui, Takahiro Kobayashi, Toshiki Kagiya, et al. Verification of a weeding robot “AIGAMO-ROBOT” for Paddy fields [J]. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 2008, 20(2):228~233.
- 8 赵匀,武传宇,胡旭东,等. 农业机器人的研究进展及存在的问题[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(1):20~24.
Zhao Yun, Wu Chuanyu, Hu Xudong, et al. Research progress and problems of agricultural robot [J]. *Transactions of the CSAE*, 2003, 19(1):20~24. (in Chinese)
- 9 宋健,张铁中,徐丽明,等. 果蔬采摘机器人研究进展与展望[J]. *农业机械学报*, 2006, 37(5):158~162.
Song Jian, Zhang Tiezhong, Xu Liming, et al. Research actuality and prospect of picking robot for fruits and vegetables[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2006, 37(5):158~162. (in Chinese)
- 10 陈磊,陈帝伊,马孝义. 果蔬采摘机器人的研究[J]. *农机化研究*, 2011, 33(1):224~227.
Chen Lei, Chen Diyi, Ma Xiaoyi. Researching on the fruit and vegetable harvesting robot [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2011, 33(1):224~227. (in Chinese)
- 11 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)
- 12 尹建军,毛罕平,王新忠,等. 自然条件下番茄成熟度机器人判别模型[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(10):146~150.
Yin Jianjun, Mao Hanping, Wang Xinzong, et al. Judgment model on maturity of harvesting-tomato for robot under natural conditions[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(10):146~150. (in Chinese)
- 13 司永胜,乔军,刘刚,等. 苹果采摘机器人果实识别与定位方法[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(9):148~153.
Si Yongsheng, Qiao Jun, Liu Gang, et al. Recognition and location of fruits for apple harvesting robot[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(9):148~153. (in Chinese)
- 14 钟玉琢,乔秉新,李树青. 机器人视觉技术[M]. 北京:国防工业出版社, 1995:77~78.
- 15 王晓荣,赵英凯,林锦国. 基于 YUV 模型和 Gabor 滤波器的快速目标识别方法[J]. *计算机工程与设计*, 2009, 30(20):4701~4703.
Wang Xiaorong, Zhao Yingkai, Lin Jinguo. Fast target recognition based on YUV model and Gabor filter[J]. *Computer Engineering and Design*, 2009, 30(20):4701~4703. (in Chinese)
- 16 冯占英,李永霞,盛洪. 自主机器人指定颜色形状属性物体的识别方法[J]. *北京联合大学学报:自然科学版*, 2011, 25(1):15~19.
Feng Zhanying, Li Yongxia, Sheng Hong. A method of recognizing objects specified by color and shape in mobile robots[J]. *Journal of Beijing Union University: Natural Sciences*, 2011, 25(1):15~19. (in Chinese)
- 17 Rein-Lien Hsu, Mohamed Abdel-Mottaleb, Anil K Jain. Face detection in color images [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 2(5):696~706.