

基于颜色分形的水果计算机视觉分级技术

冯 斌, 汪懋华

(中国农业大学)

摘 要: 通过对不同着色等级的水果分析, 以各色度在水果表面分布的分形维数为特征进行分级, 该特征值不仅考虑了各色度点的累计特性, 而且考虑了色度点空间分布特性, 使颜色分级更符合实际情况。将各色度域分形维数作为模式处理, 建立了人工神经网络识别模型。学习后的模型分级正确率高, 达到 95%, 能够满足计算机视觉实时分级水果生产线的要求。

关键词: 水果分级; 颜色; 分形; 分形维数; 计算机视觉

中图分类号: TP391.41; TP242.62

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2002)02-0141-04

水果表面着色是衡量水果外部品质的重要指标, 在国内, 长期以来对水果颜色的分级采用人工方法进行, 不仅分级速度低, 而且分级结果一致性差, 降低了产品的质量。近年来, 计算机及视觉设备成本迅速下降而处理速度不断提高, 使得将计算机视觉技术用于水果的分级成为可能^[1]。但目前普遍采用色度直方图计算各色度的累计值作为分级特征^[2,3], 且识别的方法仍然是统计模式方法居多。用上述方法由于没有考虑色度的空间分布特性, 所以分级依据不充分, 造成分级精度较低。本研究采用分形方法确定特征值, 对富士苹果进行分类, 取得较好结果。

1 颜色模型确定

彩色 CCD 系统以 RGB 颜色模型为标准模型, 通过每个像素的红(R)、绿(G)、蓝(B)感光器件的感光量产生 24 位色彩空间, 该空间呈正立方体型, 色彩特征描述为 $C = R + G + B$ 。对于该模型由于获取色彩的方式和人眼观察的方式不同, 在颜色分类中很少采用。从人眼对色彩的感受应该包括两个方面, 一是色彩的颜色(即色度), 二是色彩的纯度(即饱和度), 因此 HSI 模型描述更接近人眼感知色彩的方式^[4]。HSI 模型包括三个分量, 亮度 I , 色度 H , 饱和度 S , 该空间在平面上呈三角形如图 1 所示, H 值对应颜色矢量 P 和 R 分量的夹角, S 正比于矢量 P 的长度。

本研究选用 HSI 模型描述色彩空间, 从机器感知模型(RGB)到 HSI 模型的转换公式如下:

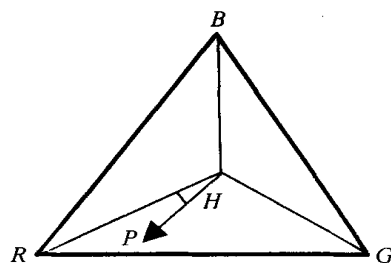


图 1 HSI 颜色三角形

Fig. 1 Hue triangle of HSI

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B) \quad (1)$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\ln \ln(R, G, B)] \quad (2)$$

$$H = \arccos \left[\frac{[(R - G) + (R - B)] / 2}{[(R - G)^2 + (R - B)(G - B)]^{1/2}} \right] \quad (3)$$

其中 H 的计算与 $G - B$ 有关, 当 $G = B$ 时, H 值为 $0^\circ \sim 180^\circ$; 当 $G < B$ 时, H 值为 $360^\circ - H$ 。为了保证变换后色彩空间比特数和变换前一致用式(4)处理。

$$H = H \times 255 / 360 \quad (4)$$

对于水果而言颜色从红到绿, 其色度覆盖范围最大为 $0^\circ \sim 120^\circ$ 左右, 用式(3)、式(4)直接计算。

2 色度直方图特性

对人工精心分选的优等、一等、二等、等外四级水果分别摄取三幅图像, 其中, 两幅侧面图, 一幅正面图, 图像大小为 192×142 像素。对所得到的 R 、 G 、 B 三个层面的图像用(1)、(2)、(3)式进行转换, 得原图像的 H 、 S 、 I 三层图像, 对 H 图像分别求四等级的直方图如图 2 所示。从图中看出富士苹果色度范围在 $0^\circ \sim 100^\circ$ 左右, 优等富士苹果色度值集中在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 左右, 一等富士苹果色度值集中在 20°

收稿日期: 2001-07-20 修订日期: 2002-01-08

作者简介: 冯 斌, 博士生, 北京市清华东路 中国农业大学电气信息学院 213 信箱, 100083

45 左右,二等富士苹果色度值比较离散,等外富士苹果色度值集中在 35 ~ 65 左右。但从直方图中只能看到各色度的累计信息,不能看到各色度的分布信息。在累计信息相同的情况下,可以有不同的分布信息,由于颜色的叠加性,导致不同的着色效果,例如色度分布均匀的全红、全绿,分布不均匀的红斑、绿斑等,所以只用累计信息分类,其分类特征是不够充分的^[4],应同时考虑色度的分布信息。为此引入分形概念进行分析。

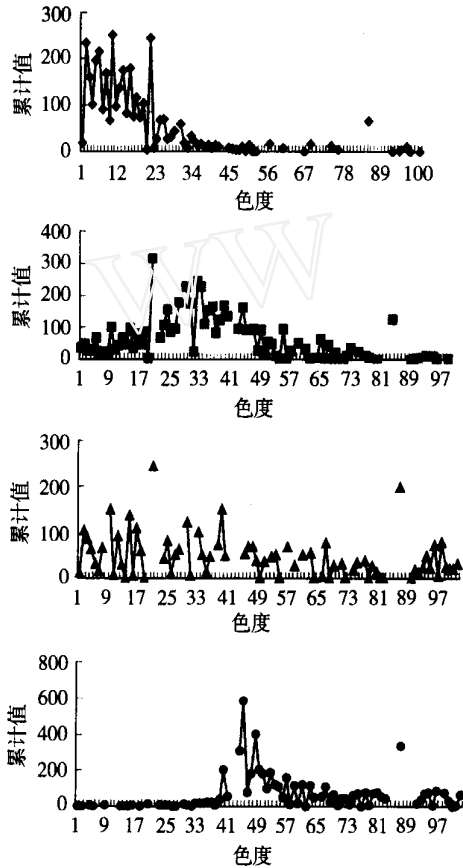


图 2 色度直方图

Fig 2 The chart of hue

3 分形分级特征值的确定

由于水果生长环境受外界条件(光照、水分、枝叶覆盖等)的影响,使其色度点的分布为随机的、无规律的。所以其空间分布情况非常复杂,无法用欧氏空间来解释,为精确地描述它的特点我们引用分形的思想。把各色度点在水果表面的分布在统计意义上看成一个分形结构^[5~6],对于分形其维数大小充分描述了它的复杂性,其基本思想非常符合自然生物的生长特点。

分形维数的计算有许多方法,对于我们的问题以盒维数进行分析。

设 P 是 R^n 上任意非空的有界子集, $N(r)$ 是直

径最大为 r 可以覆盖 P 的集的最少个数,则 P 的盒维数定义为

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln[N(r)]}{\ln\left(\frac{1}{r}\right)} \quad (5)$$

在上述分形维数的定义中,要求尺码趋于零时极限存在,这时因为理论上分形集具有无穷嵌套层次,但是对于研究中的分形以及自然界存在的分形,一般说来并不存在无限层嵌套结构而只是存在有限的嵌套层次,所以 δ 尺码趋于零的这个要求,在度量中很难实现,而且对于不同的对象,其意义也不完全相同。另外,实际的分形还有一个存在层次的问题,对于本文度量的对象来说,是指其宏观的空间分布上的分形,选用尺码的单位,应与其存在层次的尺度单位一致。本文选用计算机视觉设备的最小测量单位像素为度量的尺码单位,保证不改变研究对象的分形结构,并且具有足够的精度。

在处理中考虑到处理速度的要求,我们将水果色度范围分为 4 个区域来分析,分别为 $0 \sim 20^\circ$ 、 $20 \sim 40^\circ$ 、 $40 \sim 60^\circ$ 、 $60 \sim 80^\circ$;生成 4 幅色度图像,对每幅色度图像进行二值化处理,方法是色度点在给定色度段内时,设置为 g_{\max} (最大灰度级),色度点在给定色度段外时,设置为 g_{\min} (最小灰度级)。如图 3 所示,为优等富士苹果的 4 幅色度图像,左上为 $0 \sim 20^\circ$ 色度分布图,右上为 $20 \sim 40^\circ$ 色度分布图,左下为 $40 \sim 60^\circ$ 色度分布图,右下为 $60 \sim 80^\circ$ 色度分布图。图中 $0 \sim 20^\circ$ 色度点分布均匀,几乎占有整个果面面积。 $20 \sim 40^\circ$ 色度点次之,其它色度点很少,只分布在果面边缘。

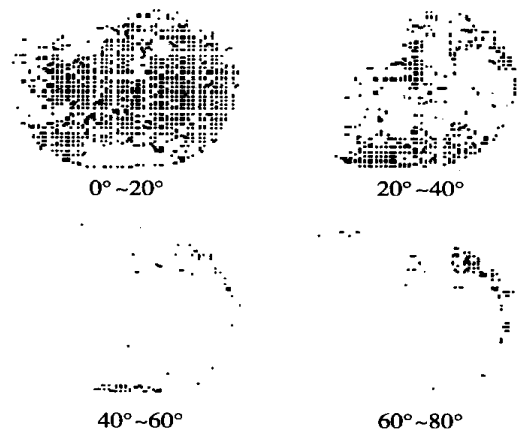


图 3 优等富士苹果各色度域图像

Fig 3 The chroma region of the classified Fushi apple

设经处理过的二值图像为 F , 表示为 $N \times M$ 矩阵(设 $N \times M$)。

其中, $f_{i,j} = g_{\max}$ 时,为目标物体像素。

$f_{i,j}=g_{min}$ 时,为背景像素。
取覆盖 A ,边长为 L ,将 F 完全覆盖住。
其中, $L=2^r M$, r 为整数

$$F=\begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,n} \\ f_{2,1} & f_{2,2} & \dots & f_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m,1} & f_{m,2} & \dots & f_{m,n} \end{bmatrix} \tag{6}$$

取 δ 是边长为 2^n ($n=0,1,2,\dots,m<r$)个像素单位的正方形,紧邻地覆盖 F ,统计包括目标物体像素的方格个数 $N(\delta)$,得如下关系

$$\begin{aligned} N(\delta_0) & \left(\frac{1}{\delta_0}\right)^D & \delta_0 &= 2^0 \\ N(\delta_1) & \left(\frac{1}{\delta_1}\right)^D & \delta_1 &= 2^1 \\ & \dots\dots\dots \\ N(\delta_n) & \left(\frac{1}{\delta_n}\right)^D & \delta_n &= 2^n \end{aligned}$$

根据 δ 和 $N(\delta)$,可以给出关系图,根据该图确定 F 的维数 D 。计算公式如下

$$D = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\left(\frac{1}{\delta_i} \right) - \frac{1}{\bar{\delta}} \right] [\ln(N(\delta_i)) - \bar{N}]}{\sum_{i=0}^n \left[\ln \left(\frac{1}{\delta_i} \right) - \frac{1}{\bar{\delta}} \right]^2} \tag{7}$$

其中

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n \ln \left(\frac{1}{\delta_i} \right) \tag{8}$$

$$\bar{N} = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n \ln(N(\delta_i)) \tag{9}$$

i 为统计量 $0,1,\dots,n$

用上述方法计算4级富士苹果的色度分形维数见表1,其中 D_1,D_2,D_3,D_4 分别对应 $0^\circ \sim 20^\circ, 20^\circ \sim 40^\circ, 40^\circ \sim 60^\circ, 60^\circ \sim 80^\circ$ 幅色度图像,可以看出 D_1,D_2 随等级的下降其维数也在下降, D_3,D_4 随等级的下降其维数在升高,由此可知,分形维数在各等级间有明显的变化规律,可以作为着色分级特征,对水果进行分类。

表 1 各等级水果色度分形维数表

Table 1 Fractal dimension of different chroma of fruit

等级	D_1	D_2	D_3	D_4
优等	1.667	1.437	0.781	0.766
一等	1.335	1.550	1.415	1.110
二等	1.425	1.444	1.151	1.261
等外	0.325	0.956	1.616	1.491

4 人工神经网络分类器

传统的分类器有模式分类器、统计分类器等,这

里我们选用人工神经网络作为分类器。人工神经网络的优点在于信息处理能力强,是不依赖统计特性的分类器。采用BP网络结构,包括输入层、隐含层、输出层三层,输入层有4个节点分别对应4个色度域分形维数 D_1,D_2,D_3,D_4 ,对于隐含层节点数到目前为止仍然不能通过理论方法确定,只能凭经验或实验估计。在此按R. P. Goman的经验估算,在100个训练模式下,隐节点估算为6~7个节点,这里取为6。输出层4个节点分别对应4个分类等级,优等、一等、二等、等外,结构为4-6-4网络结构,激励函数选S型。

由于BP网络的学习收敛速度慢,为此在学习速率中增加动量项,使学习率在训练中动态变化,动量系数取为0.9。

5 结果分析

通过对以上人工神经网络学习训练后,用120个待测苹果测试,其中优等30个,测试结果为29个;一等30个,测试结果为32个;二等30个,测试结果28个;等外30个,测试结果为31个。测试正确率,优等为96.7%,一等为93.8%,二等为93.3%,等外为96.8%,平均正确率为95.2%,高于用色度累计特征值分级的正确率。其中一等、二等的正确率受人工分级误差的影响较大。由此可见采用色度域分形维数作为颜色分级特征值是合理的。

6 结 论

- 1) 通过试验和计算各色度域分形维数,可知色度分形维数是色彩分类的重要指标,它既包含同等色度的累计特征,也包含其空间分布特征。
- 2) 水果的色度均匀时,对应的分形维数较高,色度不均匀时,对应的维数较低。
- 3) 用色度域分形维数可以有效地区分原色度累计值不能区分的目标,分类精度高。由于用色度域分形维数作特征值时,特征值数量仅为色度累计特征值数量的一半,计算量小,因此分类速度快。

[参 考 文 献]

[1] 应义斌,饶秀勤,赵 匀等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 4~ 8

[2] 何东健,杨 青,薛少平等. 果实表面颜色计算机视觉分级技术研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 202~ 205

[3] 杨秀坤,陈晓光,马成林等. 用遗传神经网络方法进行苹果颜色自动检测的研究[J]. 农业工程学报, 1997, 2: 173~ 176

- [4] 章毓晋 图像处理和分析[M] 北京: 清华大学出版社, 1999 3: 17~ 24
- [5] 胡瑞安 分形的计算机图像及其应用[M] 北京: 中国

铁道出版社, 1995 1: 1~ 25

- [6] 张济忠 分形[M] 北京: 清华大学出版社, 1995 8: 111~ 141.

Computer Vision Classification of Fruit Based on Fractal Color

Feng Bin, Wang Maohua

(College of Electric and Information, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract By analysis of different hues of fruit, and according to fractal dimension of chroma distribution on superficies of fruit, the classification of fruits was carried out. The eigenvalues including both the accumulative characteristics and space distribution characteristics of various hue points make the hue classification corresponding to the practical situation. The identifying model of artificial neuron network was built when the fractal dimension in every hue area was considered as pattern and then was processed. After studying, the accuracy of classification reached 95%, which can meet the requirement of real-time production line for the classification of fruits by computer vision.

Key words: classification of fruit; colour; fractal; fractal dimension; computer vision

2002 农业与生物系统工程科技、教育发展战略论坛第二轮通知

Forum on Agricultural & Biosystem Engineering Development Strategy (FABEDS- 2002) Second Announcement

为了充分准备开好“2002 农业与生物系统工程科技与教育发展战略论坛暨第五次全国农业工程类学科专业教学改革学术研讨会”, 会议组织者于 2002 年 3 月 2 日在中国农业大学召开了筹备工作会议, 进一步确定了会议的主题和内容, 大会报告和论文征集的学科领域、会议的时间和组织等问题。现将有关事项通知如下:

一、会议主题报告和论文征集的内容及学科领域

1、中国农业科技发展战略; 2、中国农业机械化发展问题; 3、农业工程与可持续发展; 4、水资源保护与利用; 5、设施农业; 6、农业工程与西部开发; 7、农产品加工与食品工程; 8、农业资源与环境; 9、农业信息工程; 10、农业与食品工程教育

二、会议日期及安排

1、会议日期 2002 年 6 月 24~ 30 日

2、时间安排

6 月 24 日(星期一) 报到

6 月 25 日(星期二)

上午: 开幕式、主题报告 下午: 大会发言

6 月 26 日(星期三) 全天大会发言

6 月 27 日(星期四) 上午: 分组讨论

下午: 参观杨凌农业高新技术示范园区和西北农林科技大学

6 月 28~ 30 日(星期五~ 星期日) 参观考察黄土高原旱作节水农业及延安革命圣地

三、会议征文

1、论文打印格式见附页, 可用中、英文撰写;

2、提交论文摘要和会议回执时间: 2002 年 4 月 5 日前

3、论文截止时间: 2002 年 5 月 20 日

4、会议论文将在开会前以论文集形式印刷装订

四、会议工作语言 汉语

五、会议收费 会务和论文集费 500 元, 交通食宿费自理, 考察费待定。

六、会议联系

1、国内

郭康权 杨中平(西北农林科技大学机电学院)

TeI: 029-7092390, 7092391, Fax: 029-7092390

E-mail: jdyz@nwsuaf.edu.cn,

Guokq01@public.xa.sn.cn

蔡焕杰 辛全才(西北农林科技大学水建学院)

TeI: 029-7091727, 7092334, Fax: 029-7091729

E-mail: Huanjie@163.net

2、国外

Naqian Zhang (张乃迁) (Kansas State University)

TeI: 785-532-2910 Fax: 785-532-5825

Email: zhangn@ksu.edu

Xiusheng Yang (杨秀生) (University of Connecticut)

TeI: 860-486-0135 Fax: 860-486-5408

Email: xiusheng.yang@uconn.edu

(学会秘书处)