

增强的 Fuzzy ART 在苹果图像分割中的应用*

武鹏

(重庆大学 计算机学院, 重庆 400044)

摘要: 分析了 Fuzzy ART 神经网络的工作过程和参数对网络聚类结果的影响, 提出了一种自适应确定警戒线的方法。采用基于灰度和纹理的特征提取方法, 抽取组合特征向量, 使用动态调整参数的 Fuzzy ART 网络分割图像, 从而提取苹果的伤疤部分。实验结果证明, 灰度特征和纹理特征相结合能有效地完成苹果表面伤疤的分割, 不仅节约了时间, 而且提高了网络的精度。

关键词: 图像分割; 模糊 ART; Yager 交集; 纹理特征

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)14-0036-04

Application of improved Fuzzy ART neural network for segmentation of apple image

WU Peng

(School of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The process and the parameters of Fuzzy ART neural network are discussed in this paper. A method of dynamically controlling vigilance parameters is presented. Anglicizing the feature of apple image, eigenvectors are extracted from the gray feature and texture feature of image. The image is segmented based on improved Fuzzy ART neural network. Finally the defect of the apple image is segmented. The results show the method can implement texture image segmentation of defective apple effectively.

Key words: image segmentation; Fuzzy ART; Yager intersection; texture feature

苹果是中国的主要水果品种, 也是中国入世后为数不多的具有国际竞争力的水果之一, 每年大陆出口苹果的数量占香港市场份额的 60% 以上, 而其他国家的份额只占 30% 左右。国内外在很早以前就开始研究应用计算机视觉技术对水果、蔬菜品质进行检测。

采集合适的、能反映苹果外部轮廓、伤疤部分和非伤疤部分、容易与背景分离的苹果图像, 是苹果表面伤疤分割的关键。本文所采用的红富士苹果图像是使用数码相机(佳能 A710 IS)在实际环境中在自然光源下拍摄的。

图像分割是由图像处理到图像分析的关键步骤, 是计算机视觉的基础, 是图像理解的重要组成部分。具有自适应性、鲁棒性及自学习性的神经网络利用输入的特征完成分类, 在图像分割方向上有着广泛的应用。模糊自适应共振理论 Fuzzy ART(Fuzzy Adaptive Resonance Theory)神经网络以生物神经模型为依据, 其学习规则与

人的学习规则很相似, 不仅可以自动确定分类数目, 而且还能有效地抑制噪声。对于农产品图像的分割, Fuzzy ART 神经网络是不错的分类器, 且易于实现。

特征提取是基于神经网络图像分割的重要组成部分, 是目标分类的关键步骤。由于只基于一种图像特征的方法只能表现图像的部分信息, 对图像信息的描述比较片面, 缺乏足够的区分依据, 在大量的图像分割应用中不能取得很好的分割效果, 因此可以研究如何利用颜色、形状、纹理等特征的组合来提取图像的特征, 比较全面地描述图像内容。

本文研究了基于灰度-纹理的特征提取方法, 组成特征向量, 经过规范化和归一化的处理后, 输入自确定警戒线的 Fuzzy ART 神经网络, 对苹果图像完成初次分割, 然后进行二值化和图像平滑后得到苹果图像的伤疤部分。

1 Fuzzy ART 神经网络基本原理

Fuzzy ART 结构与 ART1 基本相同, 但增加了对输入向量的归一化处理。Fuzzy ART 网络的结构如图 1 所示,

欢迎网上投稿 www.pcachina.com

41

* 基金项目: 重庆市自然科学基金 (CSTC#2006BB2229, 2008BB2194)

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

图中 a 是输入向量, ρ 是警戒线, F_0 、 F_1 、 F_2 分别代表三个不同的层。 F_0 层的输入向量用 $I=(I_1, \dots, I_M)$ 表示, 这里 $I_i \in [0, 1], i=1, \dots, M$ 。

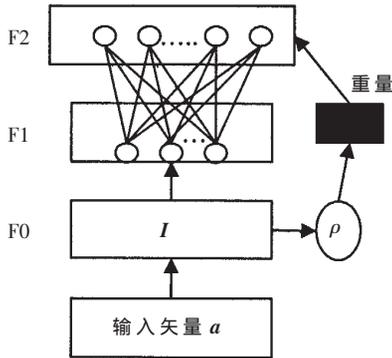


图1 Fuzzy ART 结构图

Fuzzy ART 网络的工作过程为: 输入向量 a 经 F_0 预处理产生的信号 I 进入 F_1 后, 经过类别选择, 通过与 F_1 的连接权在 F_1 中产生一个自上而下的激励信号, 这一信号与自下而上的输入 I 进行匹配比较后, 若匹配度超过警戒线 (vigilance) ρ , 则发生共振, F_2 与 F_1 之间的连接权得到加强; 否则重置 F_2 以进行新的匹配。如果所有已学习过的类都与输入 I 不匹配, 则将其作为新类加入到网络中。最后, 自适应确定 a 属于 F_2 层 N 个类别节点中的哪一类。

2 自适应确定参数的 Fuzzy ART

神经网络输入的是十进制数据, 这使得网络的参数估计变得更加困难, 因此实现网络参数的自适应确定可以提高精度和节约时间。

Fuzzy ART 网络有 3 个参数: 警戒线 ρ , 类别选择参数 α 、学习率参数 β 。参数 α 的值越小对分割结果的影响越小, 特别是当 $0 < \alpha < 5$ 时, 分割结果几乎不受影响, 一般取 $\alpha=1$ 。学习率参数 β 对分割结果几乎没有影响, 但学习率参数 β 越大, 则对输入的学习越快。 ρ 表示输入向量与权值之间模糊相似度的门限, 它反映了各个类别中同类样本之间的最小相似程度, 影响了分类数目和各类的样本数目。因此, 实现 Fuzzy ART 神经网络参数的自适应确定, 只需要确定警戒线参数 ρ 。

本文提出使用模糊逻辑连接算子控制警戒线参数 ρ 。参数型三角范数 Yager 交集定义如式(1)所示, 其大小随参数 ω 变化。

$$t_{\omega}(a, b) = 1 - \min[1, [(1-a)^{\omega} + (1-b)^{\omega}]^{1/\omega}] \quad (1)$$

其中 $0 < \omega < \infty$ 。

在 F_0 和 F_1 之间, 应用 Yager 交集动态调整警戒线 ρ 。假设 T 和 T^* 分别是样本的目标值和获胜结点, 如果 T 和 T^* 相等, 则

$$\rho(t+1) = 1 - \min[1, [(1-\rho(t))^2 + (1-\rho(t-1))^2]^{1/2}] \quad (2)$$

自适应确定警戒线的 Fuzzy ART 网络算法如下:

(1) 令 F_2 节点数 $N=1$, 选定类别选择参数 $\alpha > 0$ 、学习率参数 $\beta \in [0, 1]$ 和警戒线参数 $\rho \in [0, 1]$ 。

(2) 每个输出类 j 有一个权重向量 $w_j = (w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jM})$ 。初始化时 $w_{11} = w_{12} = w_{13} = w_{14} = 1$ 。

(3) 令 $i=0, 1, \dots, L$, 对每个 I_i 执行如下的过程:

① 对每个类 j , 按式(3)计算其选择函数。

$$T_j(I_i) = \sum_{k=1}^M \min\{I_{i,k}, W_{j,k}\} / \alpha + \sum_{k=1}^4 W_{j,k} \quad (3)$$

② 在 F_2 域进行类选择, $T_j = \max\{T_j; j=1, 2, \dots, N\}$, 记被选中的类为 J 。若有超过一个 T_j 取得最大, 则下标最小的被选中, 于是, 第 i 个输入点被划分为第 J 类。

③ 如果满足谐振条件:

$$\sum_{k=1}^M \min\{I_{i,k}, W_{j,k}\} / \sum_{k=1}^4 I_k \geq \rho \quad (4)$$

则称系统发生共振, 表明 I_i 属于类 J , 按式(5)进行学习, 再按式(2)调整警戒线 ρ , 然后对新输入进行学习; 否则, 对 F_2 进行重置, 即令 $T_j=0$ 并返回步骤②重新进行选择。

$$W_{j,i}^{(new)} = \beta \times \sum_{k=1}^M \min\{I_{i,k}, W_{j,k}^{(old)}\} + (1-\beta) \times W_{j,i}^{(old)} \quad (5)$$

④ 如果所有的 F_2 节点都试过之后系统仍不能发生共振, 则在 F_2 加入新的节点, 并令新节点的权值等于 F_0 矢量, 即令 $N=N+1, w_{N+1}=I_i$, 并继续对新输入的学习。

当算法结束以后, 各个像素点分类过程也完成, F_2 节点数目 N 就是分类的类别数。

3 苹果图像的特征提取

3.1 基于颜色的特征提取

很多研究方法都把图像颜色信息作为特征向量用于基于颜色信息的图像分割的研究, 但是传统的基于颜色的特征提取方法有一些缺点, 图像的颜色信息只是对每个像素各自的信息进行描述, 不能提供任何这些像素点间的联系。图像是一个完整的整体, 颜色只能描述图像单个像素点的信息, 却不能描述图像的空间位置信息。

例如, 图 2 所示 3 幅图像不同, 但具有相同的直方图。当采用颜色信息分析图像的特征时, 只能对处在同一灰度级的像素点的数量之间进行分析, 而无法对颜色总量相近但空间分布并不相同的图像进行空间信息的分析。因此, 提取苹果图像的颜色特征并不能将图像的空间位置信息也提取出来, 不能充分、完整地描述苹果图像的内容。

3.2 苹果图像纹理特征提取

在实际的图像分割应用中, 特征组合的分割方法有很多好处, 不同特征的优势可以达到互补的效果, 可以更全面地表现图像的信息。在颜色特征的基础上加上纹理特征, 以灰度作为颜色特征, 仅仅代表了图像中各像素点的亮度信息, 而未包含图像颜色的空间分布内容, 加上图像的纹理特征之后可以体现出图像局部空间的

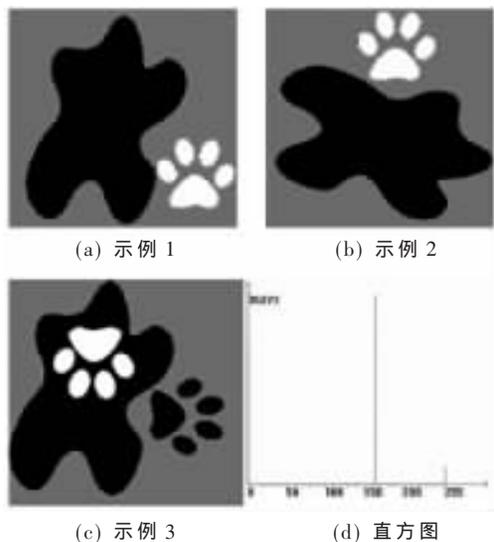


图2 具有相同直方图的不同图像

信息,有效地补充了颜色特征的不足,能够取得很好的分割效果。

因此本文在这里研究了基于灰度-纹理特征的图像分割方法。提取苹果图像中表示“亮”的程度的灰度值,并规范化处理到 $[0,1]$,如式(6)所示;对于纹理特征,采用灰度共生矩阵法提取能量特征,如式(3)所示,与灰度特征组成特征向量。然后对特征向量归一化处理,这种处理方式称为补码编码。经过规范化和归一化的处理后,可以得到模糊特征向量,如式(8)所示。

$$a_1 = i/L \quad (6)$$

其中 L 是图像灰度最大值的平方。

$$a_2 = \sum_i \sum_j [N(i,j)]^2 \quad (7)$$

$$I_i = (a_i, (a_i)^c) = (a_1(i), a_2(i), 1-a_1(i), 1-a_2(i)) \quad (8)$$

于是有输入节点数 $M=4$ 。

4 实验与结果分析

实验中,为了兼顾计算量和特征量,减少灰度共生矩阵的尺寸,将原始图像的灰度级重新量化为8级,图像的分割采用自适应警戒线的 Fuzzy ART 神经网络。

实验步骤如下:

(1)将 9×9 的窗口在待分割的苹果图像上滑动,采用灰度共生矩阵的方法提取纹理特征,结合灰度特征组成模糊特征,对模糊特征规范化和归一化处理,并将它作为窗口中心像素点的特征向量 I_i ;

(2)将处理好的模糊特征 I 输入 Fuzzy ART 神经网络进行训练分类,并标记中心像素点;

(3)根据中心像素点的标记,将苹果图像分割为几类,获得图像的初次分割结果;

(4)对初次分割的结果,进行二值化处理;

(5)对图像进行中值滤波,并将分割结果标记到原图,从而提取伤疤。

采用上述步骤对一幅 256×256 像素、256 级灰度的图像进行处理,本文采用的其他参数分别为 $\alpha=1$ 、 $\beta=0.9$,二值化阈值 $T=80$,警戒线 ρ 的初始值采用 0.75。

图 3(a)所示是用灰度和纹理相结合的模糊特征输入 Fuzzy ART 网络的分割结果,伤疤部分基本被分割出来;图 3(b)是阈值 $T=35$ 时的分割结果,虽然噪声也比较少,但是伤疤的部分缺失的部分也很多;图 3(c)是阈值 $T=55$ 时的分割结果,伤疤部分缺失比较少而且轮廓比较完整,但是噪声也增加了,阴影部分的区域也被分割为伤疤;图 3(d)是阈值 $T=75$ 时的分割结果,虽然伤疤部分越来越完整,但是噪声变得更多。从图 3 可以看出,随着阈值的增加,伤疤部分越来越完整,噪声也越来越多;相反,随着阈值的减少,伤疤缺失的部分越来越多,噪声也有变少。阈值分割无法在保证伤疤部分缺失比较小的同时,噪声也比较少,或者基本没有。

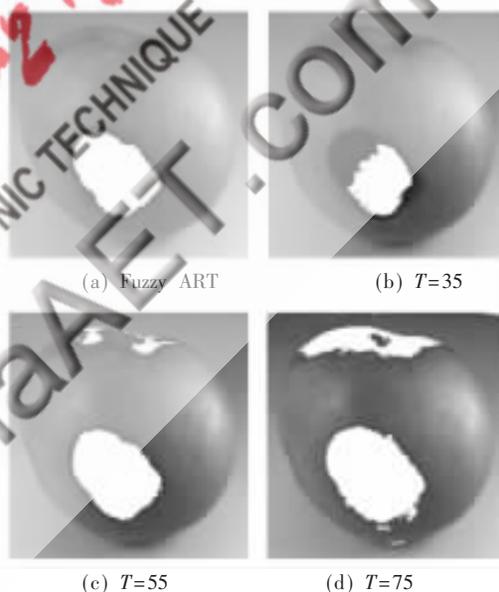


图3 与阈值分割比较

图 4(a)所示是以坐标为(90,141)的像素点作为种子(如箭头指示)区域生长的结果,伤疤部分几乎没有分割出来;图 4(b)是以坐标为(178,79)的像素点作为种子区域生长的结果,虽然噪声也比较少,但是伤疤的部分缺失的部分也很多。从图 4 可以看出区域生长的几个缺点

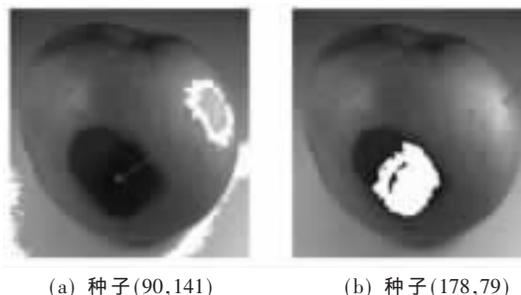


图4 与区域增长法分割比较

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

为:要通过人工交互获得种子像素点,因而使用者必须在每个目标区域中选择一个种子点;区域生长法对噪声较敏感,容易导致分割出的区域出现空洞;而且通常会造造成过度的分割,也就是说,把图像分割成过多的区域。

实验证明,对有缺陷的苹果图像,基于灰度和纹理提取特征向量,用自适应确定警戒线的 Fuzzy ART 神经网络可以较正确地分割出伤疤区域。

农产品图像提取是现代农业生产、流通和加工过程中的一个重要环节。本文提出的方法实现了警戒线自适应确定,减少了人工参与,节约了时间,并采用模糊特征进行分类,有效地消除了噪声对分割结果的影响。该方法不仅在基础理论研究方面具有重要的学术价值,而且在数字农业、现代农业、食品加工等领域具有广阔的应用前景,其成果可以获得明显的社会效益和经济效益。

参考文献

- [1] 黄建军,赵荣椿.基于模糊 ART 的图像分割[J]. 电子学报,2001,29(5):718-720.
- [2] YAGER R P. On a general class of fuzzy connective.

Fuzzy Sets Syst, 1980,4:235-242.

- [3] 黄秀秀,张洪伟.Fuzzy ART 研究及在银行信用风险评估中的应用[J].成都:计算机工程与应用,2008,44(15):231-233.
- [4] 郝敏钗,杨晓波,冯冀宁.基于尺度和灰度共生矩阵的纹理图像分割[J].石家庄:石家庄职业技术学院学报,2007,19(2):3-5.
- [5] 徐晓颖,王晓晔,杜太行.基于 Fuzzy ART 的 K-最近邻分类改进算法[J].天津:河北工业大学学报,2004(11):1-5.
- [6] 蔡碧野,陈志坚,李峰.一种基于纹理的图像分割算法[J].长沙:计算技术与自动化,2003,22(2):18-20.

(收稿日期:2010-05-11)

作者简介:

武鹏,男,1983年生,硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理。