

彩色图像的矢量阈值自适应分割算法

刘 怀, 黄建新

(南京师范大学 电气与自动化工程学院, 南京 江苏 210042)

[摘要] 针对彩色图像, 提出了一种矢量阈值的自适应分割算法, 该算法中的阈值是一个矢量. 在图像分割时, 通过先求取图像像素矢量与阈值矢量之间的差矢量, 再根据差矢量与阈值矢量之间的夹角确定像素所属的区域(背景区域或目标区域). 同时基于类间方差法(Ostu法)给出了最佳阈值矢量选择原则——扩展类间矢量方差法, 从而实现彩色图像矢量阈值的自适应分割. 实验结果表明, 采用此图像分割算法分割效果要优于采用灰度图像的阈值分割算法.

[关键词] 彩色图像分割, 阈值矢量, 类间矢量方差, 差矢量

[中图分类号] TP391.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2006)02-0018-05

Adaptive Vector Threshold Segmentation Algorithm for Color Image

LIU Huai, HUANG Jianxin

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: For color image, an adaptive vector threshold segmentation algorithm in which the threshold is a vector is presented in this paper. Image segmentation is divided into two steps: difference vector of pixel vector of image and threshold vector is computed at first and a pixel is confirmed which region (object region or background region) it belongs to finally. At the same time, the method for selecting optimal threshold vector called extended class vector square error is given based on class square error (Ostu method). Therefore, adaptive vector threshold segmentation algorithm for color image is realized. Experiments results show that the image segmentation algorithm presented in this paper is better than the threshold segmentation for gray image.

Key words: color image segmentation, threshold vector, class vector square error, difference vector

0 引言

图像分割^[1]就是依据图像的特征对复杂景物中的目标或区域进行分解的过程, 是计算机视觉中最基本的研究内容, 也是成功进行图像分析、理解与描述的关键步骤. 主要有两类方法^[2]: 区域方法和阈值方法. 区域方法是利用图像的局部空间信息进行分割, 将具有相似像素集合起来构成区域, 主要有分区域生长法和分裂合并法; 阈值方法是利用灰度频率对分布信息进行分类, 其实现关键是选择阈值. 其中阈值法因其简单、计算量小、性能稳定等优点而得到广泛的应用^[3].

现有的阈值分割算法的研究多是针对灰度图像的单阈值或多阈值分割算法和根据图像选择适当的阈值^[3-7], 如通过直方图^[3]、势函数聚类^[4]、类间方差^[5]、最大熵原则^[6]、模糊聚类法^[7]等选择阈值对图像进行分割. 然而现有摄像系统获取的图片多为彩色图像, 彩色图像带有比灰度图像更多的信息, 此时只能将彩色图像变换成灰度图像, 再利用前述方法进行分割, 这样不仅丢失了部分信息, 而且有时分割效果并不理想. 因此应直接对彩色图像进行分割, 文献[8]给出了一种彩色图像的阈值分割方法, 需要将图像 GRB 色彩空间转换为 CIE 色彩空间然后选择阈值进行分割, 算法复杂运算量大. 文献[9]给出了基于单阈值的分割算法, 通过邻域像素与当前像素的矢量距离和阈值的关系, 判断是否属于一个区域实现阈值分割, 每一个当前像素点都需要计算阈值, 图像分割的运算量大. 基于此, 本文提出一个矢量阈值分割算法, 并给出

收稿日期: 2005-11-17.

基金项目: 南京师范大学青年科学基金资助项目(2004111XQNBQ41).

作者简介: 刘 怀(1971-), 副教授, 主要从事实时控制系统、数字图像处理等方面的教学与研究. E-mail: liuhuai@njnu.edu.cn

阈值矢量选择算法.

1 矢量阈值分割算法

一幅彩色图像可表示为如下形式:

$$f(x, y) = (r(x, y), g(x, y), b(x, y)), x \leq N, y \leq M \quad (1)$$

式中, $f(x, y)$ 为图像中像素点 (x, y) 的 RGB 矢量, $r(x, y), g(x, y), b(x, y)$ 分别表示该像素点 (x, y) 的红色分量、蓝色分量和绿色分量; M, N 分别为图像宽度和高度.

由于彩色图像的每个像素都是三维矢量, 采用简单的标量阈值不可能达到对图像进行分割的目的, 因此, 本文采用一个三维矢量作为阈值, 称为阈值矢量, 用 T 表示, $T = (r_T, g_T, b_T)$.

为了进行图像分割, 将背景区域和目标区域分离, 先分析像素矢量和阈值矢量之间的关系, 如图 1. 由图可见, 彩色图像的像素矢量与阈值矢量不能直接进行大小比较, 即与灰度图像直接通过像素值与图像阈值的关系即可实现图像分割不同. 考虑到像素矢量与阈值矢量之间的矢量差 (称为差矢量) $d(x, y) = f(x, y) - T$, 其与阈值矢量之间的夹角 θ 在 $[0, \pi]$ 范围内变化, 因此可以以 θ 作为图像分割的参数, 以 $\frac{\pi}{2}$ 为分割点

对图像进行分割, 当 $\theta \leq \frac{\pi}{2}$ 时, 像素属于目标区域; 当 $\theta > \frac{\pi}{2}$ 时, 像素属于背景区域.

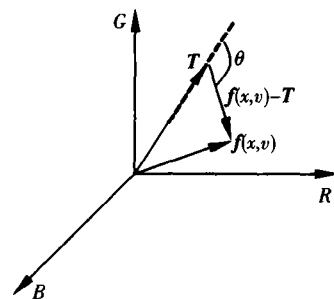


图 1 像素矢量与矢量阈值的关系

基于以上分析, 给出图像分割算法, 如下:

(1) 求图像中像素点 (x, y) 的 RGB 矢量与阈值矢量的差矢量, 记为 $d(x, y) = (r_d(x, y), g_d(x, y), b_d(x, y))$, 其中

$$r_d(x, y) = r(x, y) - r_T, \quad g_d(x, y) = g(x, y) - g_T, \quad b_d(x, y) = b(x, y) - b_T \quad (2)$$

(2) 求 $d(x, y)$ 与阈值矢量 T 之间的夹角 $\theta(x, y)$, 根据空间解析几何有

$$\theta = \arccos \left(\frac{r_d(x, y)r_T + g_d(x, y)g_T + b_d(x, y)b_T}{\sqrt{(r_d(x, y))^2 + (g_d(x, y))^2 + (b_d(x, y))^2} \sqrt{r_T^2 + g_T^2 + b_T^2}} \right) \quad (3)$$

(3) 仿照灰度阈值分割方法, 按如下方式对图像进行分割:

$$o(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & (\text{目标区域}), \theta \geq \frac{\pi}{2} \\ (0, 0, 0) & (\text{背景区域}), \theta < \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $o(x, y)$ 为分割结果图像中像素点 (x, y) 的 RGB 矢量.

为了上述图像分割算法的运算量, 加快分割速度, 有如下结论

定理 1 上述算法可以简化为如下算法

$$o(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & (\text{目标区域}), r(x, y) \leq r_T, g(x, y) \leq g_T \text{ 且 } b(x, y) \leq b_T \\ (0, 0, 0) & (\text{背景区域}), r(x, y) > r_T, g(x, y) > g_T \text{ 且 } b(x, y) > b_T \\ \text{由下式确定, 其他} \end{cases} \quad (5)$$

当 $f(x, y)$ 不满足 $r(x, y) \leq r_T, g(x, y) \leq g_T$ 且 $b(x, y) \leq b_T$ 和 $r(x, y) > r_T, g(x, y) > g_T$ 且 $b(x, y) > b_T$ 时:

$$o(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & (\text{目标区域}), r_d(x, y)r_T + g_d(x, y)g_T + b_d(x, y)b_T \leq 0 \\ (0, 0, 0) & (\text{背景区域}), r_d(x, y)r_T + g_d(x, y)g_T + b_d(x, y)b_T > 0 \end{cases} \quad (6)$$

证明 若要 $\theta \geq \frac{\pi}{2}$ ($< \frac{\pi}{2}$), 则 (3) 式括号中的部分分子分明异号 (同号), 显然分母部分大于 0, 因而只要分子部分小于 0 即可, 即

$$r_d(x, y)r_T + g_d(x, y)g_T + b_d(x, y)b_T \leq 0 (> 0) \quad (7)$$

得(6)式. 进一步简化, 由于 T 是阈值矢量, 故 $r_T > 0, g_T > 0, b_T > 0$, 若 $f(x, y)$ 满足 $r_d(x, y) > 0, g_d(x, y) > 0$ 且 $b_d(x, y) > 0$ ($r_d(x, y) < 0, g_d(x, y) < 0$ 且 $b_d(x, y) < 0$), 即 $r(x, y) \leq r_T, g(x, y) \leq g_T$ 且 $b(x, y) \leq b_T$ ($r(x, y) > r_T, g(x, y) > g_T$ 且 $b(x, y) > b_T$) 即满足(7)式.

在进行阈值分割时, 首先按照(5)式进行分割, 只要不满足(5)式的前两个条件时, 才按照(6)式进行分割. 这样不仅省掉了开平方运算, 而且大大减少了乘法运算, 使得图像分割时的运算量大为减少, 从而加快了分割速度.

2 阈值的选择方法

阈值矢量的选择是图像分割的关键, 对分割效果有很大的影响. 本文基于类间方差法^[5](Ostu法)给出以适用于阈值矢量的选择原则, 称为扩展类间方差法.

设图像的总像素数为 n , 则 $n = M \times N$. 通过选择阈值矢量根据第2节的分割算法将图像分割为两个区域: C_O (目标区域) 和 C_B (背景区域). 像素属于 C_O 和 C_B 区域的概率分别为:

$$P_O(T) = \frac{n_O}{n}, \quad P_B(T) = \frac{n_B}{n} \quad (8)$$

式中, n_O, n_B 为目标像素数目、背景像素数目; 则目标和背景的平均矢量分别为 $\mu_O = (\mu_{rO}, \mu_{gO}, \mu_{bO})$ 和 $\mu_B = (\mu_{rB}, \mu_{gB}, \mu_{bB})$:

$$\begin{aligned} \mu_{rO} &= \frac{1}{n_O} \sum_{f(x,y) \in C_O} r(x,y), \quad \mu_{gO} = \frac{1}{n_O} \sum_{f(x,y) \in C_O} g(x,y), \quad \mu_{bO} = \frac{1}{n_O} \sum_{f(x,y) \in C_O} b(x,y) \\ \mu_{rB} &= \frac{1}{n_B} \sum_{f(x,y) \in C_B} r(x,y), \quad \mu_{gB} = \frac{1}{n_B} \sum_{f(x,y) \in C_B} g(x,y), \quad \mu_{bB} = \frac{1}{n_B} \sum_{f(x,y) \in C_B} b(x,y) \end{aligned} \quad (9)$$

图像的平均矢量为 $\mu = (\mu_r, \mu_g, \mu_b)$:

$$\mu_r = \frac{1}{n} \sum r(x,y), \quad \mu_g = \frac{1}{n} \sum g(x,y), \quad \mu_b = \frac{1}{n} \sum b(x,y) \quad (10)$$

标量之间的方差为两个标量之差的平方, 这里将两个矢量之间的距离的平方, 即这两个矢量差的2-范数的平方称为类间矢量方差. 则目标区域和背景区域的类间矢量方差为:

$$\sigma^2(T) = P_O(T) \|\mu_O - \mu\|_2^2 + P_B(T) \|\mu_B - \mu\|_2^2 \quad (11)$$

类间方差法确定阈值的原则是以类间方差作为衡量不同阈值分割出的区域的分离性能测量准则, 类间方差越大, 区域的分离性越好, 极大化 $\sigma^2(T)$ 的过程就是自动确定阈值的过程. 同类间方差法一样, 类间矢量方差越大, 区域的分离性越好. 因此, 最佳阈值矢量为:

$$T^* = \arg \max_{T \in \Omega} \sigma^2(T) \quad (12)$$

式中, Ω 为阈值矢量 T 的取值范围, 为 $1 \leq r_T \leq 254, 1 \leq g_T \leq 254, 1 \leq b_T \leq 254$.

这种选择阈值矢量的算法较为复杂, 所需时间较长, 可通过采用遗传算法(见文献[2])加快最佳矢量阈值的获取速度, 降低所需时间. 另外对于固定摄像系统, 由于背景不变, 可每隔一段时间或背景变化时通过离线方法计算得出, 在线使用.

3 试验结果及分析

本文采用 240×180 的24位真彩色图像作为实验对象, 用 Visual C++ 编写算法程序, 对图像进行分割处理. 并与灰度图像分割方法相比较, 灰度分割时阈值选择采用 Ostu 法, 将彩色图像变换成灰度图像的方法采用文献[10]的符合视觉效果的转换方法. 彩色图像原图和分割结果图见图2, 图3, 图4和图5. 图中, 背景区域的颜色设置为黑色, 目标区域的颜色设置为被分割图像中目标的颜色. 图下括号中的数字为图像分割时所计算出的自适应阈值或阈值矢量.

由分割结果图可见, 同灰度图像的阈值分割算法相比, 采用本文提出的矢量阈值分割算法背景区域去除得更完全, 获得的目标区域更准确, 边界连续, 即分割效果较好. 由阈值可以看出, 彩色图像分割时的自适应的变换成灰度值并不等于灰度图像的自适应阈值. 这说明, 采用灰度变换分割方法因减少了图像的信息, 而分割不准确. 同时, 本算法得到的结果是彩色图像, 不减少图像所带的信息量, 有利于后续图像处理

与识别.

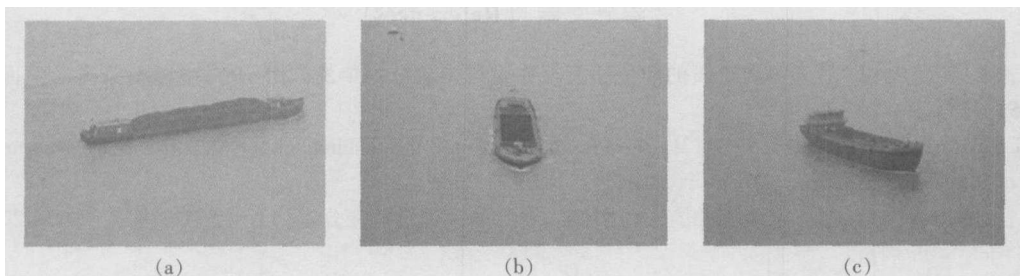


图 2 彩色原始图像

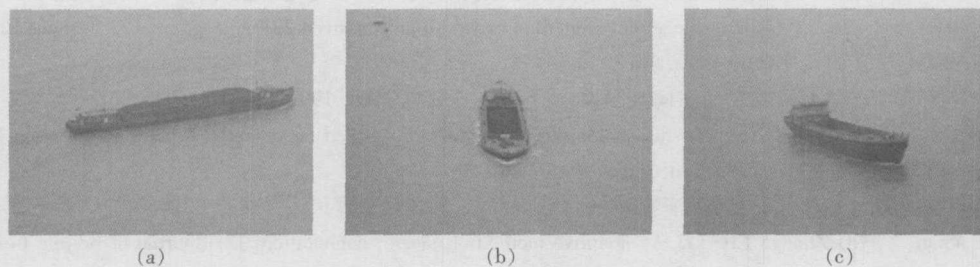


图 3 经灰度变换后的图像

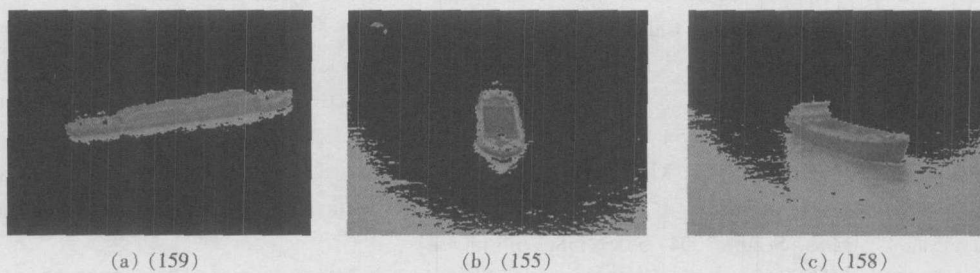


图 4 灰度图像的阈值分割结果

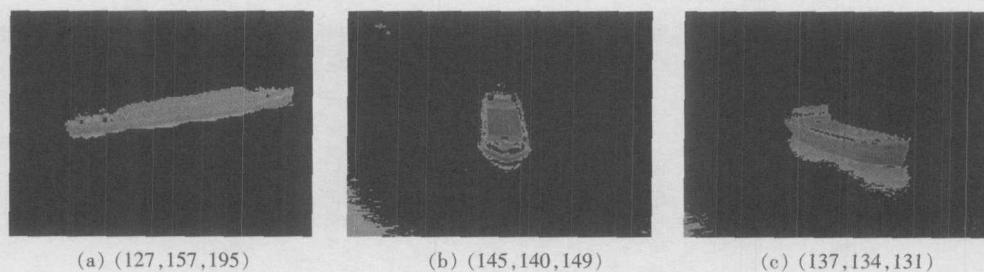


图 5 彩色图像的矢量阈值分割结果

4 结论

本文给出了一种基于矢量阈值的彩色图像自适应分割算法. 该算法根据彩色图像像素矢量和矢量阈值的差矢量与阈值矢量之间的夹角确定像素所属的区域. 同时给出了用于获取阈值矢量的扩展类间方差法, 从而实现彩色图像的自适应分割. 实验结果表明, 采用本文给出的彩色图像自适应矢量阈值分割算法分割效果要优于采用灰度图像的阈值分割算法. 对于固定摄像系统, 由于背景不变, 可每隔一段时间或背景变化时通过离线方法计算得出, 在线使用.

[参考文献](References)

- [1] 张新明, 沈兰荪, 沈波. 基于特征距离的阈值法及其在眼科图像分割中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6A(2): 159-163.
ZHANG Xinming, SHEN Lansun, SHEN Bo. Feature distance based thresholding for ophthalmologic image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6A(2): 159-163. (in Chinese)
- [2] 常发亮, 刘静, 乔谊正. 基于遗传算法的彩色图像二维熵多阈值自适应分割[J]. 控制与决策, 2005, 20(6): 674-678.
CHANG Faliang, LIU Jing, QIAO Yizheng. Self-adaptive threshold segmentation for color image using two dimensional entropy method based on genetic algorithm[J]. Control and Decision, 2005, 20(6): 674-678. (in Chinese)
- [3] 芦荟, 沈毅. 一种改进的二维直方图的图像阈值分割方法[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(10): 1487-1490.
LU Rong, SHEN Yi. Image threshold segmentation method based on an improved 2D histogram[J]. Systems Engineering and Electronics, 2004, 26(10): 1487-1490. (in Chinese)
- [4] 裴继红, 谢维信. 势函数聚类自适应多阈值图像分割[J]. 计算机学报, 1999, 22(7): 758-762.
PEI Jihong, XIE Weixin. Adaptive multi-thresholds image segmentation based on potential function clustering[J]. Chinese J Computers, 1999, 22(7): 758-762. (in Chinese)
- [5] 王茜蓓, 彭中, 刘莉. 一种基于自适应阈值的图像分割算法[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(4): 521-524.
WANG Qianqian, PENG Zhong, LIU Li. An adaptive method of image segmentation[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2003, 23(4): 521-524. (in Chinese)
- [6] 罗希平, 田捷. 用最大熵原则作多阈值选择的条件迭代算法[J]. 软件学报, 2000, 11(3): 379-385.
LUO Xiping, TIAN Jie. The ICM algorithm for multi-level threshold selection by maximum entropy criterion[J]. Journal of Software, 2000, 11(3): 379-385. (in Chinese)
- [7] 付小宁, 殷世民, 刘上乾. 一种改进的自适应模糊阈值图像分割方法[J]. 光子学报, 2003, 32(5): 605-607.
FU Xiaoning, YIN Shimin, LIU Shangqian. An improved approach for adaptive segmentation threshold based on fuzzy index[J]. Acta Photonica Sinica, 2003, 32(5): 363-366. (in Chinese)
- [8] KWAK NAEJOUNG, KWON DONGJIN, KIM YOUNGGIL, et al. Color image segmentation using edge and adaptive threshold value based on the image characteristics[C]//Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems. Seoul, 2004: 555-558. (in Chinese)
- [9] 赵仕良. 一种用于彩色图像处理的自适应阈值分割方法[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2002, 25(4): 405-408.
ZHAO Shiliang. An adaptive threshold for color image segmentation[J]. Journal of Sichuan Normal University: Natural Science Edition, 2002, 25(4): 405-408. (in Chinese)
- [10] TIAN Yibin, FENG Huajun, XU Zhihai, et al. A new autofocusing technique based on analyzing the RGB components of color images[J]. Acta Photonica Sinica, 2002, 31(2): 363-366.

[责任编辑: 严海琳]