

文章编号: 2095-2163(2019)04-0170-04

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

# 结合颜色空间变换与 GrabCut 的超声相控阵图像分割

王凯, 曹晓杰

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

**摘要:** 为实现工业故障诊断的自动化, 应先解决超声相控阵无损检测图像的目标分割问题。为此提出一种结合颜色空间变换与 GrabCut 算法的超声相控阵图像分割方法。该方法改进了传统的 GrabCut 算法, 通过自适应直方图均衡化对超声相控阵图像进行增强, 然后结合颜色空间变换和 GrabCut 算法对目标进行交互式图像分割得到图像目标分割结果。实验表明, 与传统 GrabCut 算法相比, 本文所提方法能够更加精确分割出图像中目标, 并能克服背景噪声, 保留目标图像细节。

**关键词:** 超声相控阵; HSV 颜色空间; GrabCut 算法; 图像分割

## Image segmentation of ultrasonic phased array combined color space transformation with GrabCut

WANG Kai, CAO Xiaojie

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**[Abstract]** In order to realize the automation of industrial fault diagnosis, the target segmentation problem of ultrasonic phased array nondestructive detection images should be solved first. To this end, an ultrasonic phased array image segmentation method combining color space transformation with GrabCut algorithm is proposed. This method improves the traditional GrabCut algorithm, enhances the ultrasound phased array image by adaptive histogram equalization, then combines the color space transformation and GrabCut algorithm to segment the target image for obtaining the image segmentation result. Experiments show that compared with the traditional GrabCut algorithm, the proposed method can segment the target more accurately, overcome the background noise, and preserve the target image details.

**[Key words]** ultrasonic phased array; HSV color space; GrabCut algorithm; image segmentation

## 0 引言

超声相控阵是无损检测领域的一个重要分支。与其它检测方法相比, 超声相控阵具有检测速度快、适用性好、穿透性强、操作安全等优点, 是目前获得广泛应用的无损检测方法之一<sup>[1-2]</sup>。超声相控阵图像分割对于后续处理有着非常重要的影响, 常用的图像分割方法如下: 基于阈值的分割, 例如 Otsu 方法<sup>[3]</sup>、基于边缘的分割, 如 Canny 算子分割<sup>[4]</sup>、基于区域的分割, 例如 Watershed Algorithm<sup>[5]</sup> 和基于水平集的分割, 如 CV 模型<sup>[6]</sup>。但是由于超声相控阵图像中含有散斑噪声, 故上述方法都不适用于超声相控阵 NDT 图像的图像分割。本文以超声相控阵无损检测原始图像为研究对象, 提出一种结合颜色空间变换与 GrabCut 的超声相控阵图像分割方法。研究中, 将运用自适应直方图均衡化实现超声相控阵图像的增强, 然后结合颜色空间变换和 GrabCut 算法对目标进行交互式图像分割, 以避免复杂环境

背景带来的影响, 解决传统 GrabCut 算法对局部噪声敏感而导致提取边缘效果不好的不足, 从而为后续工业故障诊断的自动化提供技术基础<sup>[7]</sup>。本文对此拟展开研究论述如下。

## 1 颜色空间转换

### 1.1 RGB 颜色空间

在图像处理技术中, 经常见到的就是 RGB 颜色空间, 也称为三基色模式, 由红绿蓝三个分量组成。当一个颜色通道用 8 位数据来描述时, 3 个分量的范围均为  $[0, 255]$ , 当 3 个分量均为 0 时, 对应黑色; 都为最大值时, 对应白色, 其它颜色则由 3 个分量按照不同的权重相加获得<sup>[8]</sup>。如图 1 所示, RGB 色彩空间可以用一个直角坐标系中的立方体来表示, 立方体内的一个点代表一种颜色, 坐标值表示了这种颜色在 3 种颜色上的分量。

### 1.2 HSV 颜色空间

HSV 空间的创建是基于颜色的直观特性, 即 H

**作者简介:** 王凯(1992-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理、计算机视觉; 曹晓杰(1994-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 计算机图像处理。

收稿日期: 2019-05-08

(色调)、S(饱和度)和V(明度)。这种描述方式,相对于 RGB 色彩空间更接近人眼对物体颜色的感知<sup>[9]</sup>。HSV 颜色空间可以使用六角锥体来表示,如图 2 所示。六角棱锥中间的轴线表示明度 V,从锥尖到锥底依次从黑到白;用角度表示色调 H,0 为红色准线,2π/3 表示绿色,4π/3 表示蓝色;用点到中轴线的距离表示饱和度 S,从近到远依次变得不饱和。

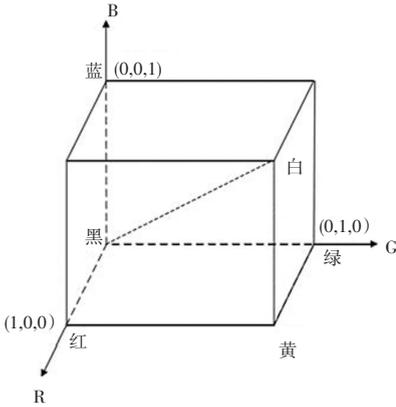


图 1 RGB 颜色空间模型

Fig. 1 RGB color space model

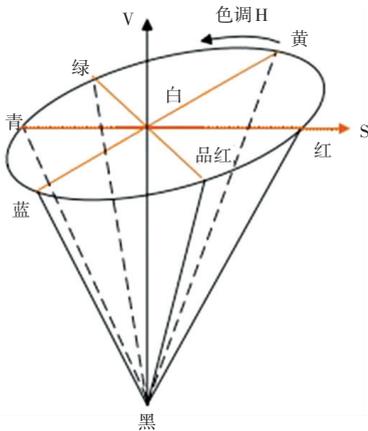


图 2 HSV 颜色空间模型

Fig. 2 HSV color space model

从 RGB 空间到 HSV 空间的转换公式为:

$$V = \max(R, G, B), \quad (1)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min}{V}, & V \neq 0, \\ 0, & \text{其它情况.} \end{cases} \quad (2)$$

$$H = \begin{cases} \frac{1}{6} \times \frac{G - B}{V - \min}, & R = \max; \\ \frac{1}{6} \times \left( 2 + \frac{B - R}{V - \min} \right), & G = \max; \\ \frac{1}{6} \times \left( 2 + \frac{B - R}{V - \min} \right), & B = \max. \end{cases} \quad (3)$$

$$\min = \min(R, G, B). \quad (4)$$

超声相控阵图像是基于 RGB 格式的,RGB 颜色空间更注重图像采集或显示设备对颜色的记录或显示,但却并不是一个直观的颜色空间,各个分量之间冗余信息多,对目标物体的颜色描述相对复杂,不利于颜色的识别。用 HSV 颜色空间表示的彩色图像,其中的色调 H 和饱和度 S 更加符合人眼感知物体颜色的特性,其各个分量的独立性强,有利于图像处理。这样比较有利于算法的设计与实现。因此本文针对原 GrabCut 算法缺陷,采用 HSV 颜色空间描述彩色图像。

## 2 GrabCut 算法

2004 年, Rother 等人<sup>[10]</sup>基于迭代的 GraphCut 算法提出了 GrabCut 算法。GrabCut 算法通过交互的方式得出前景与背景。在框选出区域后,将选框以外的部分视为背景区域,而将选框以内的区域视为可能的前景区域。再通过计算前景高斯混合模型(GMM)和背景 GMM,对每一个像素的 RGB 值代入单个的高斯模型进行计算,选取值最大的那个模型作为该像素点的归属,并且还将建立一个图,对该图求解最小割,如此循环直至收敛,这样一来即可判断得出选框内的前景区域与背景区域<sup>[11]</sup>。

GrabCut 算法采用 RGB 颜色空间,分别用一个 K 维的全协方差高斯混合模型(Gaussian mixture model, GMM)建立彩色图像数据模型。为了方便处理 GMM,引入向量  $k = (k_1, \dots, k_n, \dots, k_N)$  作为每个像素的独立 GMM 参数,且  $k_n \in \{1, 2, \dots, K\}$ , 根据相应像素点上的不透明度  $\alpha_n$  的值为 0 或 1 来判定此分量是前景或背景。GrabCut 算法的 Gibbs 能量函数为:

$$E(\underline{\alpha}, k, \underline{\theta}, z) = U(\underline{\alpha}, k, \underline{\theta}, z) + V(\underline{\alpha}, z), \quad (5)$$

其中,  $\alpha$  为不透明度,  $\alpha \in [0, 1]$ , 0 为背景, 1 为前景目标;  $\theta$  为图像前景与背景的灰度直方图,  $\theta = \{h(z, \alpha), \alpha = 0, 1\}$ ;  $z$  为图像灰度数组,  $z = (z_1, \dots, z_n, \dots, z_N)$ 。

式(1)主要受 GMM 变量  $k$  影响。引入 GMM 彩色数据模型,其数据项可定义为:

$$U(\underline{\alpha}, k, \underline{\theta}, z) = \sum_n D(\alpha_n, k_n, \underline{\theta}, z_n), \quad (6)$$

其中,

$$D(\alpha_n, k_n, \underline{\theta}, z_n) = -\ln p(z_n | \alpha_n, k_n, \underline{\theta}) - \ln \pi(\alpha_n, k_n)$$

且  $p(\cdot)$  是高斯概率分布,  $\pi(\cdot)$  是混合权重系数, 所以有:

$$D(\alpha_n, k_n, \underline{\theta}, z_n) = -\ln \pi(\alpha_n, k_n) +$$

$$\frac{1}{2} \ln \det \left( \sum (\alpha_n, k_n) \right) + \frac{1}{2} [z_n - \mu(\alpha_n, k_n)]^T \cdot \sum (\alpha_n, k_n)^{-1} [z_n - \mu(\alpha_n, k_n)], \quad (7)$$

其中,  $\sum (\alpha, k)$  为  $3 \times 3$  的协方差矩阵,  $\det$  为求行列式符号。因此, 此模型参数为:

$$\theta = \{ \pi(\alpha, k), \mu(\alpha, k), \sum (\alpha, k) \}, \quad (8)$$

彩色图像平滑项为:

$$V(\underline{\alpha}, \underline{z}) = \gamma \sum_{(m,n) \in C} [\alpha_n \neq \alpha_k] \exp(-\beta \|z_m - z_n\|^2). \quad (9)$$

### 3 超声相控阵图像分割

#### 3.1 超声相控阵图像采集

本文实验环境为 Python3.6, 选用 CPU 为 Intel (R) Core (TM) i7-8750H 处理器, 主频为 2.20 GHz, 8 GRAM, Windows 10 操作系统, 本文实验所使用的超声相控阵图像是由 Phasor XS 超声相控阵仪器生成的, 尺寸为  $300 \times 230$  像素。

#### 3.2 超声相控阵图像分割方法

本节综合不同颜色空间的特征与 GrabCut 函数分割方法, 提出了融合颜色空间变换与 GrabCut 函

数相结合的图像分割方法, 方法步骤可阐释如下。

(1) 对于采集的超声相控阵图像, 采用自适应直方图均衡化对图像进行增强处理, 增加亮度与对比度, 以便后续操作。

(2) 针对 GrabCut 算法的缺陷, 将 RGB 图像进行颜色空间转换, 在 HSV 颜色空间进行操作。

(3) 用户通过绘制矩形框来选择超声相控阵图像的 ROI 区域, 矩形外部像素标记为背景, 内部像素标记为前景目标。

(4) 将获取到的图像信息用于 GrabCut 算法初始化, 并在 GrabCut 初始化建模中引入颜色判定, 进行参数迭代和判定, 从而得到分割图像。

#### 3.3 实验结果及分析

分割算法效果对比如图 3 所示。其中, 图 3(a) 为超声相控阵原始图像, 图 3(b) 是采用传统 GrabCut 算法分割得到目标的结果, 图 3(c) 是将超声图像自适应直方图均衡化进行图像增强, 并且采用颜色空间转换, 再进行 GrabCut 分割, 综上处理后得到的目标分割结果。从图 3 中看出, 本文算法对图像含有大量的噪声、且灰度不均匀性等因素具有较强的抗干扰能力, 可以完整地分割出大部分目标的图像, 而且能够保留图像细节, 分割效果堪称理想。

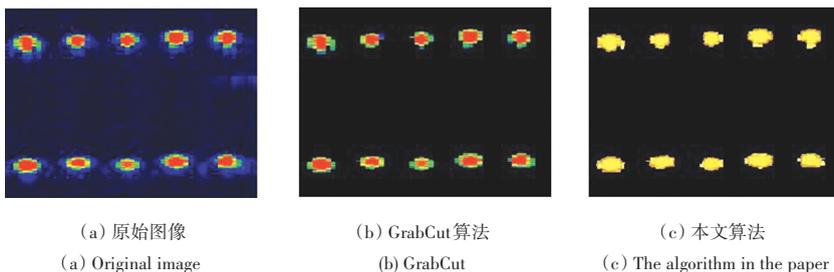


图 3 分割算法效果对比图

Fig. 3 The comparison chart of segmentation algorithm effect

本文分别采用 GrabCut 算法和基于颜色空间改进的 GrabCut 算法对超声相控阵图像进行分割。为了评价算法的分割效果, 本文选取了精确度 (Precision) 和召回率 (Recall) 来衡量图像分割效果的优劣。精确度和召回率值越大, 分割质量越好, 反之分割质量就越差。分割算法的对比结果见表 1。

表 1 分割算法对比表

Tab. 1 The comparison table of segmentation algorithm

分割算法	Precision	Recall
GrabCut	0.64	0.79
本文算法	0.73	0.92

由表 1 可以看出, 使用改进后的 GrabCut 算法

在所有指标上均高于其它对比算法, 具有较高的精确度和召回率。

### 4 结束语

GrabCut 算法是一种较为成熟、在计算机视觉等领域应用较为广泛的图像分割算法。本文基于 HSV 颜色空间的 GrabCut 算法实现彩色图像的分割。该方法符合人类视觉感知特点, 在超声相控阵图像分割应用中获得了良好的分割效果。通过实验的分割结果剖析和分割性能的比较, 充分验证了本文算法的有效性和优越性。但对于图像分割效率等却仍有待后续深入的研究及改进。 (下转第 176 页)