

文章编号:1001-9081(2010)08-2241-03

基于颜色相似性度量的弹孔识别方法

葛启东^{1,2},余仲秋¹

(1.信息工程大学 理学院,郑州 450001; 2.63880 部队,河南 洛阳 471000)

(chinarengqd@163.com)

摘要:针对现有自动报靶系统对弱小弹孔目标识别能力差的缺点提出了一种新的弹孔识别方法。该方法以彩色图像为数据源,在分析弹孔成像的基础上采用颜色相似性概念对弹孔的特征进行描述。然后,以 3×3 的方形区域为基本的比较单元对射击前后两帧靶面图像的变化情况进行量化表示,并提取出满足人眼识别阈值的区域。最后,依据对弹孔特点的分析结果从这些区域中提取出满足弹孔特征的区域。实验结果表明:和现有方法相比,该方法充分利用了彩色图像包含的丰富信息,对与背景颜色相似程度低于98%的弹孔实现了有效识别,且符合人眼视觉生理特性。

关键词:弹孔识别;彩色图像;颜色相似性系数;色度饱和度

中图分类号:TP391.4 **文献标志码:**A

Bullet holes recognition based on color similarity measurement

GE Qi-dong^{1,2}, YU Zhong-qiu¹

(1. Institute of Sciences, Information Engineering University, Zhengzhou Henan 450001, China;

2. Unit 63880 of PLA, Zhengzhou Henan 471000, China)

Abstract: In view of the shortage existing in the method for small bullet holes recognition, a new method which used color image as the data source was introduced in this paper. With analysis of image characteristics of bullet holes which were described by color similarity, the template of 3×3 square area was built as the basic comparison unit to get the differences between the preshot image and the after-shot image, and then the areas where the threshold was satisfied the human eye recognition were extracted from which the bullet hole features were recognized by analyzing the image. Compared with the existing methods, the experimental results show that the approach could utilize the information consisted in color image fully which not only can recognize the bullet holes which has 2% difference between background, but also meet the color visual characteristics.

Key words: bullet holes recognition; color image; color similarity; coefficient color saturation

0 引言

基于计算机图像处理方法的自动报靶系统是发展较早的一种有效的报靶测量系统,因其具有简捷、便携、低成本等特点,在军事训练中得到广泛应用。对于这类报靶系统,图像处理算法能否准确地识别出弹孔直接决定了系统报靶的准确度,因此如何提高弹孔识别的准确性一直是研究的焦点问题。

目前已有的弹孔识别方法大致可以分为两类:1)基于灰度特征的检测方法,即在靶面灰度图的基础上采用阈值分割、差影检测、数学形态学运算等方法提取弹孔目标^[1-3]。这类方法适用于背景简单、目标与背景成像特征差异大的情况。当图像中弹孔与背景对比度较低时,由于目标特征不明显,且运算过程中容易受到噪声的影响,采用这类方法往往得不到理想的结果。2)基于图像匹配的方法,即根据标准弹孔的某些成像特征在图像中寻找符合弹孔特征的区域,这种方法适合检测具有明显特征的目标^[4]。从已实现的算法来看,对于孤立的弹孔这类方法能够较好地识别出^[3],但是当图像存在变形或有重叠弹孔存在的情况下,弹孔成像特征与标准弹孔的特征有较大差异,此时这类方法的识别效果会很差。

另外,从所处理的数据对象来看,现有的弹孔识别方法基

本上都是以灰度图像作为处理对象。灰度图像丢掉了物体的色度、饱和度等有用信息仅仅是从亮度出发描述了物体的轮廓、纹理等特征,导致目标的特性不能充分表达,从而影响识别效果。典型的情况是具有相同亮度不同颜色的物体在灰度图中区分不开。因此,以灰度图作为处理对象本身就限制了算法对弹孔的识别能力。

与灰度图像相比,彩色图像不仅包括亮度信息,而且还有更多的有效信息(如色调、饱和度),同样景物的灰度图像所包含的信息量与彩色图像难以相比^[5]。为此,本文提出了基于颜色相似性度量的弹孔识别方法,通过提高图像的信息量和有效的量化分析方法来提高弹孔识别的准确性。

1 颜色相似性度量

颜色相似性度量是彩色图像处理的基本运算,与颜色的色差度量在本质上是一致的^[6]。颜色相似性程度小代表色差大;反之,代表色差小。因此,可以利用颜色相似性来分析两种颜色之间的色差。

彩色图像最常用的颜色表示方法使用RGB彩色空间,但是由于RGB彩色空间的非均匀性,直接利用这些分量进行彩色图像处理常常不能得到令人满意的效果,因此需要选择更

收稿日期:2010-02-01。

作者简介:葛启东(1980-),男,青海西宁人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理;余仲秋(1964-),男,河南镇平人,教授,硕士,主要研究方向:非线性光学、光纤光学。

好的彩色空间^[7]。在各种彩色空间中,HSI 彩色空间能够很好地接近人眼的视觉生理特性,人眼对 H 、 S 、 I 变化的区分能力要比 R 、 G 、 B 变化的区分能力强^[7-8]。因此,较常用的方法是将 RGB 彩色空间转换到 HIS 彩色空间再进行颜色比较。

然而,由于在 RGB 彩色空间变换过程计算复杂,影响了彩色图像处理的实时性,因此需要寻找即能符合人眼视觉生理特性又能兼顾到计算实时性的颜色度量方法。文献[5]提出了利用颜色在 RGB 彩色空间的 3 个分量表示 HSI 彩色空间下颜色相似性度量的方法,该方法通过推导 RGB 与 HSI 彩色空间的变换特征,使用 RGB 彩色空间的颜色变量分别求出两种颜色在 HSI 彩色空间的色度、饱和度以及亮度的相似性系数,再通过对各个相似性系数加权求和得到一个综合的颜色相似性系数。

1.1 色度饱和度相似系数

设 RGB 空间中两种颜色 f 和 g , 分别表示为 $f = f_r, f_g, f_b$ 和 $g = g_r, g_g, g_b$, 则这两个颜色向量之间的相关系数用 $r(f, g)$ 表示为:

$$r(f, g) = \frac{\langle f, g \rangle}{\|f\| \cdot \|g\|} \quad (1)$$

其中: $\langle f, g \rangle = f^T g$, $\|f\| = \sqrt{f^T f}$, $\|g\| = \sqrt{g^T g}$, $r \in [0, 1]$ 。

利用式(1)就可以用 RGB 彩色空间中颜色的 3 个分量计算出两种颜色在 HIS 彩色空间中色度 H 与饱和度 S 的相似程度。 r 值越大, 颜色 f 和 g 的色度和饱和度的相似程度越高。

1.2 亮度相似系数

从式(1)可见, 色度饱和度相似系数仅仅表示了两种颜色的色度饱和度的相似程度, 要比较两种颜色的相似性, 还需要考虑颜色的亮度相似性关系。因此, 定义比较两种颜色 f 和 g 之间的亮度相似系数 $k(f, g)$ 。

$$k(f, g) = \frac{|f_r + f_g + f_b - (g_r + g_g + g_b)|}{C} \quad (2)$$

其中: $C = 765$, $k(f, g) \in [0, 1]$ 。

1.3 颜色相似性系数

从人眼颜色视觉特性来分析, 色度饱和度的区别是主要的, 决定了颜色的主要特性。亮度是次要方面的特性。综合考虑色度饱和度相似系数和亮度相似系数, 可以设定权值来调整两个系数在颜色相似性度量中的重要程度, 得到一个综合的颜色相似性度量系数。

$$s(f, g) = a_1 r(f, g) + a_2 k(f, g) \quad (3)$$

其中: a_1 表示色度饱和度相似系数 r 的加权系数, a_2 表示亮度相似系数 k 的加权系数, 且 $a_1 + a_2 = 1$, $a_1 > 0$, $a_2 > 0$ 。

1.4 判定阈值 T 的确定及颜色判定

颜色相似性本身具有一定的模糊性, 不能简单地以 {0, 1} 来表示, 而只能以连续变化的数值范围来表示两种颜色之间的相似程度。根据颜色相似性系数的大小, 确定相应的颜色相似性判定阈值大小, 判别两种颜色之间是否相似, 规则如下:

$$\begin{cases} s(f, g) \geq T, & \text{两种颜色相似} \\ s(f, g) < T, & \text{两种颜色不相似} \end{cases} \quad (4)$$

大量实验总结出: 当 $a_1 = 0.85$, $a_2 = 0.15$, $T = 0.98$ 时计算结果最能符合人眼颜色视觉相似性的判定规律。

2 弹孔特点分析及算法实现

2.1 小区域颜色对比

通过以上对颜色相似性系数的分析可知, 颜色相似性系

数量化地度量了两个颜色之间的差异。对于子弹着靶前后采集的两帧图像而言, 由于弹孔区域的颜色变化大于非弹孔区域, 因此可以通过判断靶面中的同一像素在两帧图像中的颜色相似性系数的大小来判断它是否属于弹孔区域。然而从实现效果来看, 以单个像素作为颜色对比的基本单元的方法很容易受到噪声及光照变化的影响, 如图 1 所示。图 1(c)、(d) 给出了对图 1(b) 中字母标出的 5 个弹孔采用不同的比较方法所得的结果。

为了减小噪声对弹孔识别能力的影响, 本文采用了小区域颜色对比的方法。该方法以矩形区域作为颜色对比的基本单元, 以区域内所有像素的颜色平均值作为该区域的颜色, 通过判断子弹着靶前后同一区域两种颜色的相似性达到弹孔识别的目的, 识别结果如图 1(d) 所示。

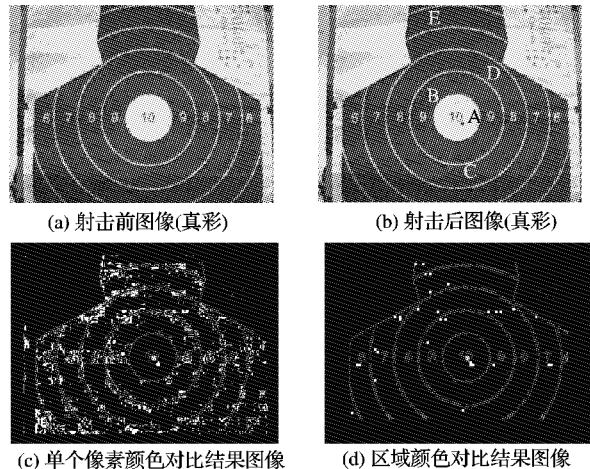


图 1 区域颜色比较与单像素颜色比较的不同结果

从图 1 可见, 以颜色相似性系数能否满足人眼识别颜色之间差别作为判断依据, 进行小区域颜色对比能够很好地提取出图像中颜色变化大的区域, 同时也能降低噪声的影响。但是, 对比图 1(b) 和图 1(d) 可以看出, 虽然该方法能够识别出弹孔区域, 但仍然有许多判断结果属于非弹孔区域。图 1(d) 中的白色区域只能说明与射击前相比, 靶面在该区域的颜色发生了较大变化, 弹孔区域只是其中的一部分。因此, 本文通过分析弹孔成像的特点增加判断条件, 进一步从这些区域中选择出弹孔区域。

2.2 弹孔成像特征分析

2.2.1 弹孔区域颜色一致性下降

对于形状为不规则类圆形的弹孔目标而言, 包含弹孔的矩形区域内也含有一定数量的背景像素和弹孔边缘像素, 因此该区域的各个像素在颜色分布上一致性较差。为此本文定义了变量 σ 来量化表示区域内颜色的一致性:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i(f_i, \bar{f}) \quad (5)$$

其中: \bar{f} 表示区域内所有像素 RGB 三个颜色分量上取平均值得到的区域颜色, $S_i(f_i, \bar{f})$ 表示区域内第 i 个像素与区域平均颜色的相似性, n 表示区域内的像素个数。

由式(5)可见, 区域内的颜色一致性越高, 各像素之间颜色相似性就越高, 则 σ 值越大; 反之, 颜色一致性越低, 相似系数越小, 则 σ 值越小。图 2 给出了弹孔成像的局部放大图。

观察图 2 可知, 由于弹孔为不规则类圆形且存在弹孔边缘, 因此对于包含弹孔的方形区域而言, 区域内像素之间的颜色一致性必定低于颜色均匀分布的非弹孔区域。

2.2.2 相较背景而言,弹孔区域亮度较低

在前向光照射的条件下,子弹射穿靶纸后,弹孔区域对光的反射能力下降,势必造成弹孔区域亮度低于背景,但这并不表示弹孔是黑色。另外,本文所用的识别靶纸为胸环靶,其有效区域是绿色和白色,因此在RGB空间中弹孔区域像素的绿色分量G在子弹着靶前后有很大的变化。

2.2.3 弹孔属于弱而小的目标

通过计算可知,当 $60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ 的靶纸有效部分成像为 320×240 的图像时,7.5 mm的弹孔约占9~11个像素。另外,由于胸环靶主体颜色为绿色,从图像中观测,弹孔仅仅是一个类似圆形的暗斑,因此弹孔属于弱而小的目标。

实验中发现,以矩形区域作为弱小目标识别的基本单元时,矩形区域的大小对目标识别的效果有较大的影响,如图3~4所示(10环靶中间的暗白色方块为靶环中心标记)。

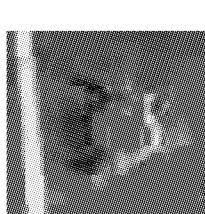


图2 弹孔成像放大图

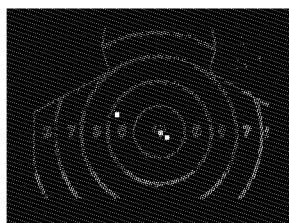


图3 5×5 模板识别结果

图5中用黑色方框示意了小于、约等于、大于弹孔大小的3种不同的区域选择方案,对比这3种区域选择方案可见,如果区域大于目标,背景颜色就会占有较大的比例,对于和背景颜色对比较小的弱目标难以识别,从而降低对目标的识别率。如果区域小于目标,就会突出噪声影响,同样会降低对目标的识别能力。因此,区域大小必须与目标大小相近,本文在算法实现中采用与弹孔成像大小相当的 3×3 矩形区域。

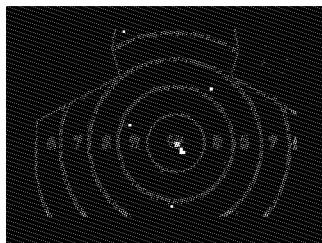


图4 3×3 模板识别结果

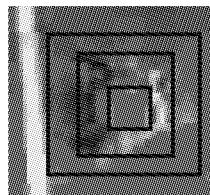


图5 不同的区域选择方法

2.3 算法实现

通过以上分析,本文总结出了靶纸图像中弹孔区域区别于非弹孔区域的几个特征。接下来就可以根据这些特征对图像中颜色发生变化的区域作进一步判断。算法的实现思想是:利用颜色相似性度量的方法对射击前后采集的两幅图像进行 3×3 矩形区域的颜色比对,从而得到人眼能够识别出颜色变化的区域,再结合弹孔成像的特征,从这些区域中寻找出弹孔区域,最终得出弹着点的位置。本文弹孔识别算法流程如图6所示。

3 实现结果与分析

本文算法以C++语言实现,采集图像格式为BMP 24位真彩色,大小为 320×240 。靶纸大小为 $60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$,子弹直径为7.5 mm。图7给出了不同算法对图1(b)进行弹孔识别的结果对比。

图6 本文弹孔识别算法流程

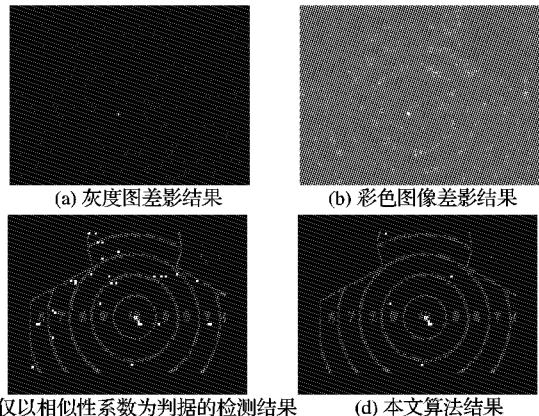


图6 本文弹孔识别算法流程

(a) 灰度图差影结果
(b) 彩色图像差影结果
(c) 仅以相似性系数为判据的检测结果
(d) 本文算法结果

图7 不同弹孔识别方法的对比

图7(a)是射击前后两幅图像的灰度图进行差影计算的结果图,可见对于与背景对比较弱的弹孔很难检测出;图7(b)是两幅彩色图像直接相减后得到的结果图,可见其只能检测出颜色变化很大的位于10环的弹孔,而对于较弱的其他弹孔,也没能检测出;图7(c)是仅以射击前后两幅图像中相同区域的颜色相似性系数是否达到人眼识别的阈值作为判断依据得出的检测结果。在该图中,除了弹孔之外还有许多颜色变化较大的区域没有被剔除;图7(d)是在小区域颜色相似性度量的基础上根据弹孔的成像特性增加了检测条件后得到的结果图像,和图7(c)相比能够剔除非弹孔区域,得到很好的结果。

表1列举了射击前后图1(b)中的真实弹孔E所在区域的颜色相似性、颜色一致性、亮度以及R、G、B三个分量各自的变化情况。其中 $s(f,g)$ 表示两区域平均颜色相似性系数, σ 表示弹孔区域颜色一致性。

表1 图1(b)中弹孔区域参数

着点区域 (3×3)	$s(f,g)$	平均亮度系数			区域平均颜色		
		σ	G分量	R分量	B分量		
射击前	0.971	0.995	0.999	65	41	64	
射击后	0.971	0.895	0.984	53	34	58	

对比可见虽然弹孔E与背景对比较弱,肉眼不易观察出,但和子弹着靶前相比,该区域的颜色一致性、平均亮度以及颜色分量,都有明显减小,符合本文对弹孔成像特征的分析。

表2列举了射击前后图6(c)中错误判断出的某一弹孔
(下转第2264页)

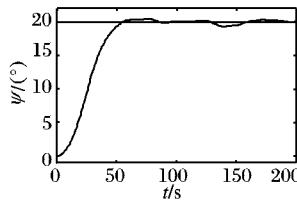


图8 大风浪下航向输出

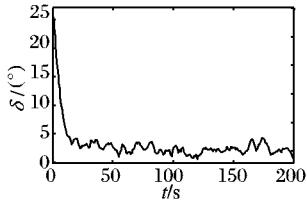


图9 大风浪下舵角输出

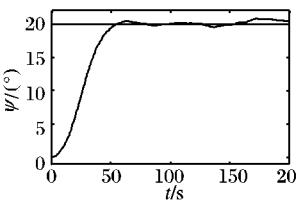


图10 模型参数摄动和大风浪下航向输出

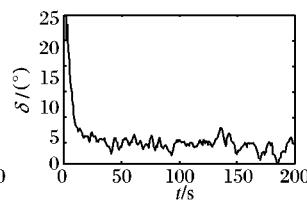


图11 模型参数摄动和大风浪下舵角输出

表1 模糊控制规则表8

ψ	ε					
	NB	NS	ZE	PS	PB	
NB	NB	ZE	PS	PB	PB	
NS	NB	NS	PS	PB	PB	
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB	
PS	NB	NB	NS	PS	PB	
PL	NB	NB	NS	ZE	PB	

下面比较常规模糊自动舵与神经模糊自动舵的航向控制性能,利用专家的先验知识和经典操舵规律设计一个基本模糊控制器,采用25条Mamdani型推理规则如控制规则表1,在同一个船舶自动舵控制系统中仿真。图12是比较常规模糊自动舵对船舶模型参数发生摄动前后的航向输出,图13是比较模糊自动舵对发生环境干扰前后的航向输出。由仿真结果可以看出,常规模糊自动舵使系统在没有模型参数摄动和风浪干扰下,航向跟踪效果还是较好的。在有较大模型参数摄动下,虽能最后跟踪输入航令,但超调大,在有大风浪干扰下则偏航较大。对于时变、环境干扰复杂的船舶运动系统,常规模糊控制器的模糊规则和隶属度函数仅依赖于专家经验缺乏学习机制来自调整,是难以获得理想的控制效果。具有自

学习的神经模糊自动舵的鲁棒性和抗干扰能力都明显优于常规模糊自动舵。

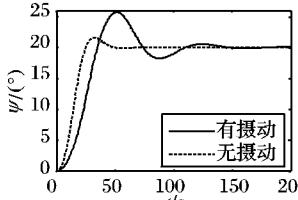


图12 模型参数摄动下常规模糊自动舵航向输出

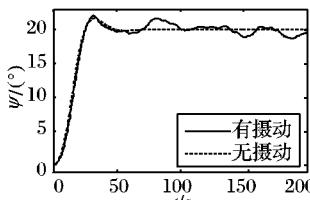


图13 大风浪干扰下常规模糊自动舵航向输出

4 结语

本文研究船舶神经模糊自动舵的设计,利用神经网络学习算法调整模糊控制规则和隶属函数,使控制器具有自适应、自学习的能力。仿真实验表明,控制器对设定航向具有精确的跟踪控制效果,在风浪干扰下仍能保持稳定状态,动舵效果理想,与常规模糊自动舵相比具有更好的控制性能和鲁棒性。因此神经模糊控制为解决船舶时变和不确定性控制问题开辟了新的途径。

参考文献:

- [1] 张桂臣,任光.在线自整定PID船舶自动舵的设计与实现[J].中国造船,2007,48(3):44-49.
- [2] 杨盐生.船舶航向非线性系统自适应鲁棒自动舵的设计[J].大连海事大学学报,2002,28(3):1-4.
- [3] SUTTON R, CRAVEN P J. A fuzzy autopilot design approach that utilizes non-linear consequent terms[J]. Journal of Marine Science and Technology, 2001, 9(2): 65-74.
- [4] 罗伟林,邹早建,李铁山.基于神经网络和L2增益的船舶航向自动舵设计[J].中国造船,2009,50(2):40-45.
- [5] 李国勇.神经模糊控制理论及应用[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [6] JANG J R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference systems [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1993, 23(3):665-685.
- [7] 张显库,贾欣乐.船舶运动控制[M].北京:国防工业出版社,2006.

(上接第2243页)

所在区域的颜色相似性、颜色一致性、亮度以及R、G、B3个分量各自的变化情况。对比可见,如果仅从颜色相似性系数出发,虽然该区域的颜色变化能够被人眼识别,但该区域的颜色一致性、平均亮度以及R、G、B3个颜色分量和子弹着靶前相比变化不大,不能满足弹孔成像的特点。

表2 图7(c)中伪弹孔区域参数

着点区域 (3×3)	平均亮 度系数		σ	区域平均颜色		
	$s(f, g)$	G分量		R分量	B分量	
射击前	0.973	0.99	0.999	54	57	65
射击后	0.973	0.98	0.995	65	63	72

从以上分析可知,由于本文算法充分利用了彩色图像包含的亮度、饱和度、色度等信息,并通过分析弹孔成像的特征增加了弹孔识别的判断条件,从而能够得到较高的识别效果。

4 结语

基于颜色相似性度量的弹孔识别方法以彩色图像为数据源,以颜色相似性系数、一致性系数等作为区域颜色的度量参

数,结合弹孔区域在射击前后颜色变化的特点,达到识别弹孔的目的。由实验结果可见,与以往的用灰度图作为数据源的处理算法相比,本文的方法能够得到更好的识别结果。

参考文献:

- [1] 张旭光,孙巍,韩广良,等.一种弹孔自动识别算法的研究[J].光学精密工程,2005,13(6):747-752.
- [2] 邵亚非,张利,吴国威.一种基于模型的军用靶图序列弹孔检测算法[J].中国图象图形学报,2001,6(11):1076-1080.
- [3] 刘焱,李敏勇.靶面目标图像识别算法[J].微计算机信息,2006,12(3):313-314.
- [4] 范立南,韩晓微,张广渊.图像处理与模式识别[M].北京:科学出版社,2007.
- [5] 韩晓微.彩色图像处理关键技术研究[D].沈阳:东北大学,2005.
- [6] 刘海桃,徐向红.颜色相似性度量在色差检测中的应用[J].中国计量学院学报,2009,20(1):52-56.
- [7] 高春甫,贺新升,唐可洪,等.随机纹理图像的色差检测[J].光学精密工程,2009,17(8):2000-2005.
- [8] 来凌红,袁志业.基于彩色图像处理的产品质量检测研究[J].安徽农业科学,2008,36(1):70-71.