·图像与信号处理·

基于图像分析的光学伪装效果评价方法研究

徐　英,姚树良

(电子工程学院,安徽　合肥　230037)

摘　要:传统的伪装评价方法受到很多条件的限制,需要客观定量反映伪装效果的评价方法.基于量化颜色直方图对伪装方案与实际背景的颜色相似度进行定量评价,利用灰度共生矩阵和小波变换方法计算伪装与背景的纹理相似度.该评价方法不仅能表示伪装与背景的颜色和纹理相似程度,还能反映不同观察距离上伪装与背景的纹理相似度.

关键词:量化颜色直方图;灰度共生矩阵;小波变换;伪装;相似度

中图分类号:E951.4;TN911.74　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1673－1255(2010)04－0069－04

Optic Camouflage Effect Evaluation Method Based on Image Analyses

XU Ying, Yao Shu-liang

(*Electronic Engineering Institute*, *Hefei* 230037, *China*)

Abstract: Since traditional camouflage evaluation methods are restricted by a lot of conditions, objective and quantificational evaluation method that can reflect real camouflage effect is necessary. Based on the quantized color histogram, the color similarity extent between camouflage pattern and actual background is evaluated quantificationally. And the texture similarity extent between camouflage and background is evaluated by method of combining grayscale concurrence matrix and wavelet transform. The method mentioned in this thesis not only can evaluate the similarity extent of camouflage and background, but also can reflect the texture similarity extent at different observe distance.

Key words: quantized color histogram; grayscale concurrence matrix; wavelet transform; camouflage; similarity extent

传统的伪装效果评价采用目测或光学仪器进行大量实验,这类方法受到试验条件、时间、经费等多方面的限制.因此,有必要寻求一种可操作性强、且能客观反映各类条件变化的伪装效果评价方法.图像的特征一般可以用颜色、形状和纹理特征来描述,判断图像之间是否相似可以通过对这些特征的比较来实现.宋潇毅[1]、董雪峰[2]、谢建辉[3]、牛艳蓉[4]等研究了颜色和纹理特征的描述方法和参数.林伟、陈玉华等[5]利用 Gabor 小波纹理分析模型进行(纹理)伪装效果评价.陈宏烨等[6]利用颜色聚类和 Garbor 滤波器提取图像的颜色、形状和纹理特征,提出了利用图像相似度来进行伪装评价的方法.文中基于数字图像分析方法,提出了一种利用量化颜色直方图和小波纹理分析方法确定伪装与背景相似程度的伪装评价方法.

1　颜色相似度的度量

表征颜色信息需要选择恰当的色彩空间模型.HSI 模型反映颜色的色调(H)、饱和度(S)和亮度(I)三种特征,与人的视觉特性比较接近,更能体现出颜色和亮度的差异,因此文中采用 HSI 模型.背

收稿日期:2010－08－03

基金项目:安徽省红外与低温等离子体重点实验室基金

作者简介:徐英(1979－),女,山东沂南人,博士.主要研究方向为图像处理及计算机仿真等.

景颜色的分布特征可由基于 HSI 模型的颜色直方图[7]得到,即统计各种颜色在颜色直方图中出现的频数.为减少运算量,根据人眼的视觉特性将 HSI 空间的颜色进行量化,归类到较少数目的颜色区间内.文中把 HSI 空间的值域 h、s、i 分别按照 12、5、5 个区间进行量化,量化后的色调、饱和度和亮度值分别为 H、S、I.

$$H=\left[\frac{h+15}{30}\right]\%12,\ S=\begin{cases}0 & s\in[0,0.2]\\1 & s\in(0.2,0.35)\\2 & s\in(0.35,0.5],\\3 & s\in(0.5,0.7]\\4 & s\in(0.7,1]\end{cases}$$

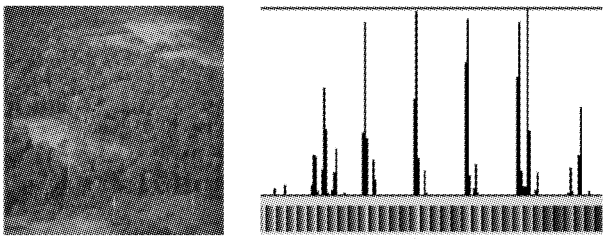
$$I=\begin{cases}0 & i\in[0,0.2]\\1 & i\in(0.2,0.35)\\2 & i\in(0.35,0.5]\\3 & i\in(0.5,0.7]\\4 & i\in(0.7,1]\end{cases}\tag{1}$$

量化完成后,将 HSI 空间分成了 $L=300$ 个颜色区间,将 3 个颜色分量 H、S、I 合成为一个特征量 Q,即

$$Q=Q_SQ_IH+Q_IS+I\tag{2}$$

其中,$Q_S=5$,$Q_I=5$,$Q\in[0,299]$,对每一个颜色区间,Q 的值是唯一的.

计算特征量 Q 的一维直方图(即量化颜色直方图),横轴表示颜色区间(Q,$Q=0,1,2,\cdots,299$),纵轴表示各个区间内颜色的像素点数 $H[Q]$,如图 1.较好的伪装应该具有与背景相似的颜色分布,即相似的颜色直方图分布.



(a) 背景 (b) 颜色直方图(部分)

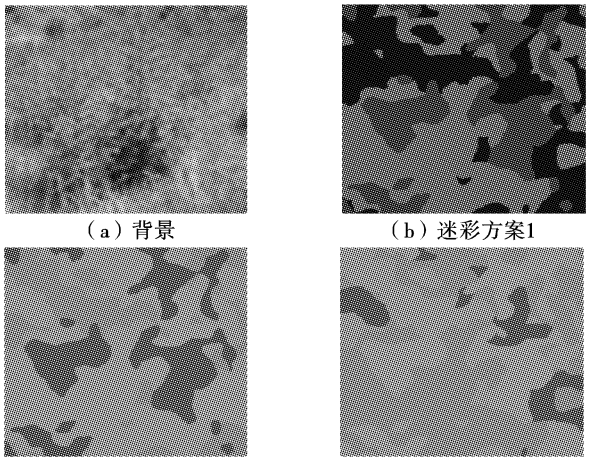
图 1 背景及其颜色直方图

通过颜色直方图的交来度量伪装和背景区域颜色直方图的相似性.设在相同照明条件下获得的伪装和背景图像分别为 A 和 B,其颜色直方图特征矢量为 $\{H_A[0],H_A[1],\cdots,H_A[L]\}$ 和 $\{H_B[0],H_B[1],\cdots,H_B[L]\}$,其中 $0\leqslant H_A[i],H_B[i]\leqslant 1$ ($i=1,2,\cdots,L$)为归一化的颜色区间像素点数.利用直方图的交进行图像相似性度量可表示为

$$Sim(A,B)=\sum_{i=1}^{L}\min(H_A[i],H_B[i])\tag{3}$$

若 A 和 B 的颜色分布完全相同,则 $Sim(A,B)=1$,若完全不同,则 $Sim(A,B)=0$.

图 2 中所示为背景(图 2a)和不同形式的迷彩伪装方案(图 2b、图 2c 和图 2d),伪装方案采用相同的纹理,只改变颜色配置,其中图 2b 采用与背景颜色相差较大的伪装颜色方案,图 2c 为根据背景主色设置的伪装方案,但各颜色所占比例大小顺序与背景主色顺序不同,图 2d 为根据背景主色设置的伪装方案,不仅采用了背景中具有较大差异的主色,而且各颜色所占比例的大小顺序与背景主色顺序相同.



(a) 背景 (b) 迷彩方案1

(c) 迷彩方案2 (d) 迷彩方案3

图 2 背景和迷彩伪装颜色方案示例

计算所得的背景与伪装之间的颜色直方图的交分别为 0.009 8、0.526 3、0.687 8,图 2d 的伪装方案与背景的颜色最为相似,这与观察者的主观印象一致.可见,利用量化颜色直方图的交判断颜色相似度具有简单、高效、定量的特性.

2 纹理相似度的度量

图像的纹理特性综合反映了其斑点形状、尺寸、亮暗及其空间分布结构特性,因此伪装与背景的纹理特性差异,反映了它们之间综合特性的差异.

文中利用灰度共生矩阵法和小波变换方法相结合进行纹理相似度的判别.灰度共生矩阵方法通过建立对称的灰度共生矩阵,并换算出一组统计参数用来定量描述纹理特征.考虑到迷彩伪装通常应在不同观察距离上都能发挥作用,通过小波变换将图像分解为不同层次,可以对应不同观察距离上的分

辨结果.

灰度共生矩阵表示图像中相距(Δx,Δy)的 2 个灰度像素同时出现的联合概率分布,若将图像的灰度级定为 L 级,那么共生矩阵为 $L \times L$ 矩阵,记为 M.其中位于(i,j)的元素的值表示灰度级分别为 i 和 j,且相距(Δx, Δy)的像素对出现的概率记为 $P(i,j)$.

小波变换方法是基于频域模型的,而纹理的粗糙度对应于空间周期.一般来说,粗纹理(即平滑部分)主要集中在低频部分,而细纹理则主要集中在高频部分.由于迷彩伪装通常没有太多细小的纹理,因此比较小波变换后的低频部分特征即可.将图像进行多层小波分解,比较不同层次上伪装和背景图像的低频图像纹理特征,可以较好地反映伪装和背景在不同观察距离上的综合纹理相似度.

文中采用 Daubiechies - D4 小波[8]作为 Mallat 分解与重构的母小波对图像进行三层小波分解,取各层的低频分量进行统计,比较其灰度共生矩阵特征参数.

灰度共生矩阵法和小波变换方法联合进行纹理特征相似度的度量采用以下步骤:

(1)获取一定照明条件下相同观察距离、相同分辨率的伪装图像和背景图像;

(2)将原始彩色图像转换为灰度图像;

(3)对伪装和背景图像分别进行三层小波分解;

(4)对各层的低频分量计算特征矢量.计算其灰度共生矩阵,以能量(E)、对比度(I)、熵(H)、均匀性(L)和相关(C)等 5 个特征值组成纹理特征矢量 $T=\{E,I,H,L,C\}$.

$$E = \sum_i \sum_j \{P(i,j)\}^2 \tag{4}$$

$$I = \sum_i \sum_j (i-j)^2 P(i,j) \tag{5}$$

$$H = -\sum_i \sum_j P(i,j) \lg P(i,j) \tag{6}$$

$$L = \sum_i \sum_j \frac{1}{1+(i-j)^2} P(i,j) \tag{7}$$

$$C = \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \left(\sum_i \sum_j ij P(i,j) - \mu_x \mu_y \right) \tag{8}$$

其中,μ_x、μ_y、σ_x、σ_y 分别为共生矩阵中每行之和 P_x 和每列之和 P_y 的均值和标准差.

(5)特征归一化.图像特征矢量的各特征值有时相差很大,需要将特征分量归一化到相同的区间.采用高斯归一化,即分别计算特征分量值的均值 m 和标准差 σ,然后利用变换 $f_i = (\frac{f_i - m}{3\sigma} + 1)/2$,将各特征值归一化到[0,1]区间.

(6)计算相似性.利用 Manhattan 距离计算背景和伪装的纹理相似度,即以各特征差值的均方根作为相似度判断准则,并将其归一化到[0,1]区间,且当纹理完全相同时,相似度为 1.

利用文献[9]中的林地型场景和仿生迷彩图案,比较不同迷彩纹理与背景的相似程度.背景和迷彩图案如图 3.

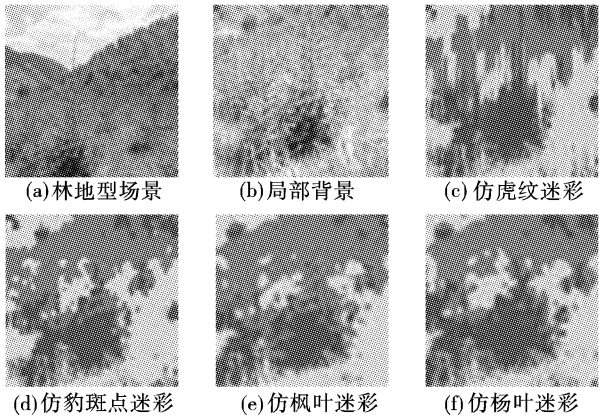

(a)林地型场景　(b)局部背景　(c)仿虎纹迷彩
(d)仿豹斑点迷彩　(e)仿枫叶迷彩　(f)仿杨叶迷彩

图 3　背景及仿生迷彩纹理图案

计算得到的 4 种迷彩图案与背景的相似度系数见表 1 和表 2,仿虎纹迷彩、仿豹纹迷彩、仿枫叶迷彩和仿杨叶迷彩分别用代码 A、B、C 和 D 表示.分别采用灰度共生矩阵方法和小波变换方法进行计算,其中前者可以看作是观察距离较近时的结果,后者不同的分解层次可以看作是不同的观察距离上的结果,即,如果图像采集时的观察距离为 R,则灰度共生矩阵法、一次小波分解、二次小波分解、三次小波分解的计算结果可以分别看作是观察距离分别为 R、$2R$、$4R$、$8R$ 上的相似度比较.表 1 为计算所得的伪装与背景图像的小波分解各层的相似系数,表 2 为各层相似系数加权迭加而得的(迭加)相似系数.由表 1 和表 2 可以看出,当伪装目标处于背景中时,迷彩伪装 D 和迷彩伪装 A 在较近观察距离时与背景有较好的纹理相似度;当观察距离增大时,迷彩伪装 B 和迷彩伪装 A 与背景有较好的纹理相似度.因此,可以根据不同的战术应用条件和需求,决定采用哪种迷彩伪装纹理方案.

此外,迷彩斑块的大小同样影响不同距离上的观察结果.图 4 为背景及 6 种迷彩方案(纹理模式相同但斑块大小不同),表 3 为对应的三层小波变换相似系数.可以发现不同斑块大小的迷彩方案在不同

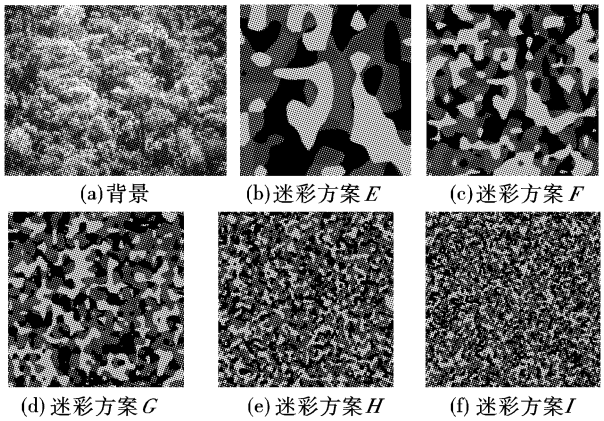
表 1 迷彩方案与背景的纹理(迭加)相似系数

迷彩方案	灰度共生矩阵法	小波变换方法		
		一层分解	两层分解	三层分解
A	0.983 1	0.942 7	0.914 0	0.892 4
B	0.981 7	0.938 9	0.922 6	0.908 7
C	0.977 8	0.926 5	0.882 0	0.853 5
D	0.984 7	0.944 8	0.892 2	0.867 9
排序	*DABC*	*DABC*	*BADC*	*BADC*

表 2 迷彩图案与背景的小波分解各层相似系数

迷彩图案	灰度共生矩阵法	小波变换方法		
		一层分解	两层分解	三层分解
A	0.983 1	0.902 4	0.856 6	0.827 4
B	0.981 7	0.896 1	0.890 1	0.867 0
C	0.977 8	0.9875 2	0.793 2	0.768 0
D	0.984 7	0.904 9	0.787 0	0.794 9
排序	*DABC*	*DABC*	*BACD*	*BADC*

分辨率上与背景的相似程度有所不同,并非斑块越小越好,对于特定的背景存在能使伪装效果最好的迷彩斑块大小,在本例中,具有较小斑块的迷彩图案 *H* 在不同观察距离上都具有较好的伪装效果.



(a)背景 (b)迷彩方案 *E* (c)迷彩方案 *F*

(d)迷彩方案 *G* (e)迷彩方案 *H* (f)迷彩方案 *I*

图 4 背景及不同斑块大小的迷彩方案

表 3 迷彩图案与背景的三层小波变换相似系数

迷彩图案	未分解	一层分解	两层分解	三层分解	多层迭加
E	0.880 7	0.850 1	0.776 5	0.798 9	0.826 6
F	0.898 2	0.875 6	0.834 7	0.899 8	0.877 1
G	0.861 3	0.877 8	0.961 1	0.970 3	0.917 6
H	0.856 8	0.917 7	0.971 0	0.990 8	0.934 1
I	0.852 6	0.868 3	0.968 6	0.972 7	0.915 5
排序	*FEGHI*	*HGFIE*	*HIGFE*	*HIGFE*	*HGIFE*

3 结 束 语

利用量化颜色直方图的交能够定量描述伪装颜色方案与实际背景的颜色相似程度.基于小波变换的多分辨率特征,利用灰度共生矩阵和小波变换相结合的方法,不仅能够反映伪装与背景的纹理相似度,而且能够反映在不同观察距离上的差异.通过定量的相似度描述,可以更直观地体现伪装与目标背景的相似性,根据文中方法研究同时证明了不同的纹理在不同观察距离上与背景的相似程度有所不同,且迷彩斑块的大小也影响不同距离上的观察效果.

参考文献

[1] 宋潇毅. 基于纹理和颜色特征的图像检索[D]. 成都:电子科技大学, 2009.

[2] 董雪峰. 基于纹理和颜色的图像检索[D]. 武汉:华中科技大学, 2006.

[3] 谢建辉. 纹理特征提取与分类研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2008.

[4] 牛艳蓉. 基于小波包变换的纹理图像分割[D]. 西安:西北大学, 2007.

[5] 林伟,陈玉华. 基于 Gabor 小波纹理分析模型的伪装效果评价方法[J]. 兵工学报, 2007,28 (10):1191-1194.

[6] 陈宏烨,曾朝阳. 图像相似度在伪装评价中的应用[J]. 光电技术应用,2006, 21 (5):28-30.

[7] 徐英. 基于背景代表色提取的迷彩伪装颜色选取算法[J]. 光电工程,2007, 34(1):100-103.

[8] 成礼智,郭汉伟. 小波与离散变换理论及工程实践[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[9] 张勇,吴文健,刘志明. 仿生迷彩伪装设计[J]. 计算机工程,2009, 35 (6):35-38.