

文章编号 1004-924X(2015)12-3472-08

## 引入梯度分布特征的图像背景杂波度量

肖传民<sup>1\*</sup>, 史泽林<sup>2</sup>, 刘云鹏<sup>2</sup>

(1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016)

**摘要:** 为提高图像背景杂波度量法对目标获取性能的预测精度, 本文基于人眼视觉对物体边缘敏感的视觉特性, 将区域梯度分布作为新的结构特征, 提出了引入梯度分布特征的图像背景杂波度量法。首先, 采用梯度方向直方图表征目标结构特征, 选用巴氏系数度量图像目标和背景杂波在两个梯度方向直方图的相似性; 然后, 将基于图像结构相似性度量方法得到的结构相似性信息进行加权; 最后采用 D. L. Wilson 提出的目标获取性能模型作为目标探测概率、虚警概率和搜索时间的预测模型对 Search\_2 数据库中的目标进行了获取性能预测。结果显示, 提出的图像杂波度量法提高了目标获取性能模型的预测精度, 得到的线性相关系数分别为 0.870、0.845、0.897, 均方根误差分别为 0.0569、0.0469、2.129, 与实际观察者获得的一致性较高, 且没有明显的野点, 预测性能明显优于现有其他杂波度量方法。

**关键词:** 背景杂波度量; 结构特征; 梯度方向直方图; 目标获取

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152312.3472

## Metrics of image background clutter by introducing gradient features

XIAO Chuan-min<sup>1\*</sup>, SHI Ze-lin<sup>2</sup>, LIU Yun-peng<sup>2</sup>

(1. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

2. *Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)*

*\* Corresponding author, E-mail: xiaochuanmin@sia.cn*

**Abstract:** To improve the metric precision of image background clutter for target acquisition performance, a metric method of image background clutter by introducing gradient features is proposed in this paper. The method is based on the visual properties of the human eyes sensitive to edges and regards the regional gradient distribution as a new structural characteristic. Firstly, the gradient direction histogram is used to represent goal structure characteristics and the Pap coefficients are selected for measuring the similarity between the image target and the background clutter gradient direction histogram. Then the structure similarity information is weighted with image structure similarity metrics. Finally, the D. L. Wilson target acquisition performance model is taken as prediction models for predicting the target detection probability, false alarm probability and search time to predict the target acquisition performance of the Search-2 database. The results show that the proposed metric method of image background clutter by introducing gradient feature has improved metric precision of prediction models, the linear correlation coefficients are 0.870, 0.845, 0.897 and root mean square errors are 0.0569, 0.0469, 2.129, respectively. These data means that the predicted results and the actual ob-

收稿日期: 2015-03-07; 修订日期: 2015-06-18.

基金项目: 中国科学院国防科技创新重点基金资助项目 (No. Y4A4080401)

server have good consistency, and the target acquisition performance is superior to those of other methods.

**Key words:** background clutter metric; structural feature; histogram of oriented gradient; target acquisition

## 1 引言

准确有效的杂波量化描述是人眼视觉和图像处理领域的研究热点和难点之一。近 20 年来,根据人眼视觉的一些基本特性,研究者们提出了很多种杂波量化度量尺度,这些背景杂波度量尺度一般可分为以下三类:第一类是最早提出的数学统计尺度,比较典型的是统计方差度量尺度<sup>[1]</sup>;第二类是基于图像纹理特征的度量尺度(如基于灰度共生矩阵度量尺度<sup>[2]</sup>);第三类是基于人眼视觉基本特性的度量尺度(如基于边缘概率密度的度量尺度<sup>[3]</sup>和基于目标结构相似性的度量尺度<sup>[4]</sup>)。上述方法中,统计方差度量尺度虽然计算简单,但其不能准确量化复杂背景情况下的图像杂波。基于灰度共生矩阵的度量尺度计算量大,且对图像的纹理分布特性有严格要求。基于边缘概率密度度量尺度的优势在于考虑了人眼视觉的边缘敏感特性,但是其需要根据不同的图像分别选取不同的阈值。基于目标结构相似性的度量尺度引入了图像质量评估领域广泛认可的结构相似性信息概念(SSIM)<sup>[5]</sup>;常洪花等在 SSIM 的基础上提出了目标结构相似度尺度(TSSIM),该尺度充分考虑了人眼视觉的两个基本感知特性——亮度掩盖效应和对比度掩盖效应;徐德江等提出了一种基于人眼视觉特性的图像结构差异性杂波度量<sup>[6]</sup>,该尺度通过引入视觉显著性理论<sup>[7]</sup>中的方向对比度和颜色信息,提高了杂波度量表征的准确性;另外,徐德江等还提出“杂波是人眼感知与大脑认知的综合效应”的新认识<sup>[8]</sup>,并且给出了人脑认知特征计算模型,但是目前对大脑认知的研究水平还相当有限。

本文根据人眼视觉在目标识别中重点关注物体结构的特性,用梯度方向直方图表征目标的结构特征,对 SSIM 进行加权,提出了一种引入梯度分布特征的图像背景杂波度量尺度,并进行了实验验证。

## 2 引入梯度分布特征的图像背景杂波度量

### 2.1 图像结构相似性度量(SSIM)

杂波度量用于定量描述背景特性如何影响目标获取性能<sup>[9-13]</sup>,其可以通过比较背景杂波与目标的相似性来表征背景杂波的复杂程度。周王等人于 2004 年提出的 SSIM<sup>[5]</sup>最先被用于图像质量评估领域,该方法的假设前提是人眼视觉能够自适应地从场景中提取出图像的结构信息。SSIM<sup>[4]</sup>的 3 个组成部分为:亮度信息  $L$ 、对比度信息  $C$  以及结构信息  $S$ ,据此可以建立图像结构特征空间上目标和背景杂波的相似性度量。

设  $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  为目标信号,  $Y = \{y_i | i = 1, 2, \dots, N\}$  为背景杂波信号;  $\mu_X, \mu_Y, \sigma_X, \sigma_Y, \sigma_{XY}$  分别表示目标和背景杂波信号的均值、标准差和协方差,具体定义如下所示:

$$L(X, Y) = (2\mu_X\mu_Y + \epsilon_1) / (\mu_X^2 + \mu_Y^2 + \epsilon_1), \quad (1)$$

$$C(X, Y) = (2\sigma_X\sigma_Y + \epsilon_2) / (\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \epsilon_2), \quad (2)$$

$$S(X, Y) = (\sigma_{XY} + \epsilon_3) / (\sigma_X\sigma_Y + \epsilon_3), \quad (3)$$

其中  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$  为常数,可以防止分母趋于零,联合方程(1)~(3)得出信号  $X, Y$  的 SSIM:

$$SSIM(X, Y) = [L(X, Y)]^\alpha \cdot [C(X, Y)]^\beta \cdot [S(X, Y)]^\gamma, \quad (4)$$

其中  $\alpha, \beta, \gamma$  用于描述各对应部分的重要性。令  $\alpha = \beta = \gamma = 1, \epsilon_3 = \epsilon_2/2$ , 式(4)可简化得:

$$SSIM(X, Y) = (2\mu_X\mu_Y + \epsilon_1)(2\sigma_{XY} + \epsilon_2) / (\mu_X^2 + \mu_Y^2 + \epsilon_1)(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \epsilon_2). \quad (5)$$

SSIM 的定义具有对称性、有界性以及极大值唯一性。计算图像的结构相似性时,按照公式(5)对目标与背景杂波图像的对应局部区域进行比较计算,得到其 SSIM 图,如图 1 所示。

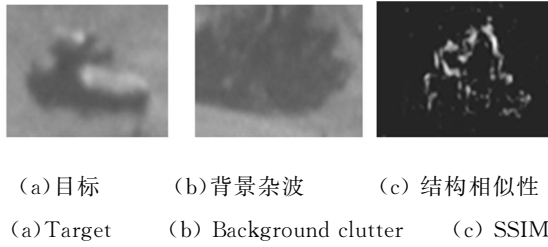


图 1 图像目标与背景杂波的结构相似性度量

Fig. 1 SSIM of image target and background clutter

## 2.2 梯度方向直方图

梯度方向直方图(HOG)<sup>[14-19]</sup>是目标结构信息的一个表征物理量,其利用图像的局部梯度或边缘<sup>[20-21]</sup>分布来表示对象的局部外观特征,对梯度和边缘分布的确切位置要求并不严格,隐含图像结构分布特性。因此,图像背景杂波的定量表征可以通过比较目标和背景杂波在梯度方向直方图上的相似性来实现。令输入图像像素点 $(x, y)$ 的梯度为:

$$G_x(x, y) = H(x+1, y) - H(x-1, y), \quad (6)$$

$$G_y(x, y) = H(x, y+1) - H(x, y-1), \quad (7)$$

式中: $G_x(x, y)$ 表示水平方向梯度, $G_y(x, y)$ 表示垂直方向梯度, $H(x, y)$ 表示像素值。梯度幅值 $G(x, y)$ 和梯度方向 $\alpha(x, y)$ 分别表示为:

$$G(x, y) = \sqrt{G_x(x, y)^2 + G_y(x, y)^2}, \quad (8)$$

$$\alpha(x, y) = \arctan \left[ \frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)} \right]. \quad (9)$$

梯度方向直方图特征提取步骤如下:

首先将样本图像分割为若干个 $8 \text{ pixel} \times 8 \text{ pixel}$ 的单元 cell;将 $[0, \pi]$ 的梯度方向平均划分为 9 个区间 bin;然后利用直方图统计各个方向 bin 区间内每个 cell 中所有像素的梯度幅值,得到一个 9 维的特征向量,将相邻的 4 个单元组成一个 block 块,联合 4 个单元的特征向量,得到 block 块的 36 维特征向量,最后以一个 cell 为步长,用 block 扫描样本图像,将得到的所有 block 特征串联起来成为梯度方向直方图特征,如图 2 所示。

图 3 为图 2 目标图像的梯度方向直方图实现过程图。其中(a)为梯度模;(b)为梯度方向,(c)为梯度方向直方图,(d)为归一化后的梯度方向直方图,最后得到梯度图像如图 2(b)所示。

比较图像子块之间像素值的相关系数发现,图像的边缘和纹理等结构分布信息没有得到很好

体现,而梯度分布特征能较好地体现图像的边缘纹理信息,可用于弥补 SSIM 的不足,故引入梯度分布特征进行图像背景杂波度量。

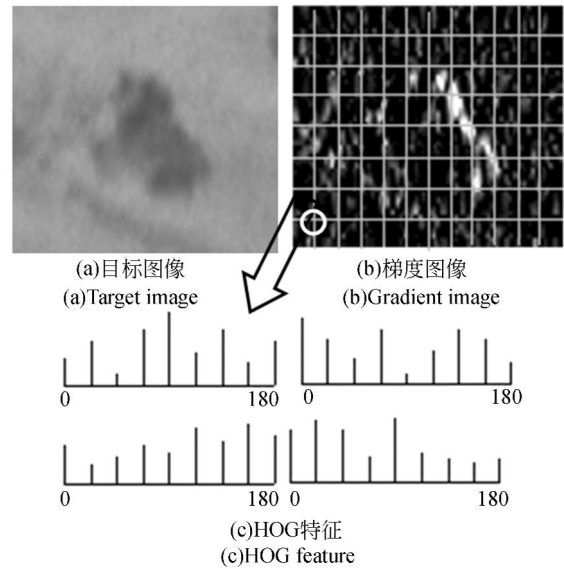


图 2 HOG 特征示意图

Fig. 2 Schematic of HOG feature

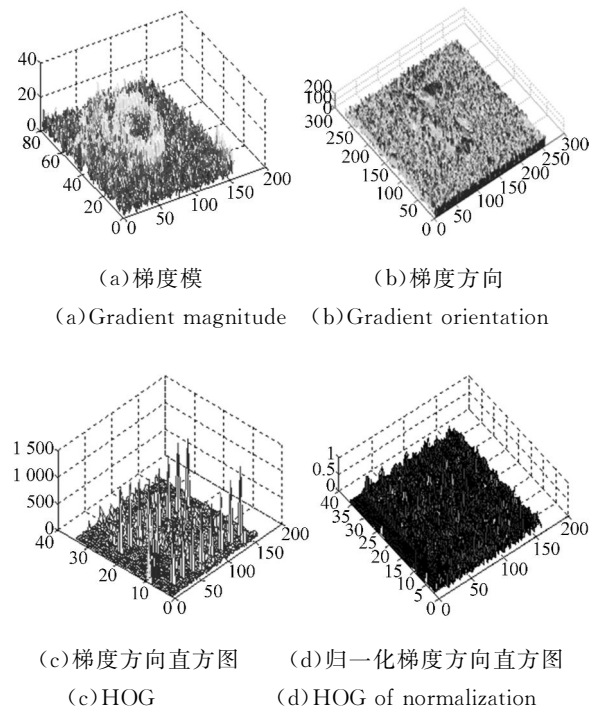


图 3 目标图像 HOG 特征

Fig. 3 HOG features of target image

首先选用巴氏系数来度量图像目标和背景杂波两个梯度方向直方图的相似性。假设 $q_u$ 表示图像目标的梯度方向直方图, $p_u$ 表示图像背景的梯度方向直方图,则相似性度量为:

$$\rho(p, q) = \sum_{u=1}^k \sqrt{p_u q_u}, \quad (10)$$

其中  $k$  表示 HOG 特征中直方图的特征维数。

然后将目标  $X$  和背景杂波  $Y$  的梯度方向直方图相似性与图像结构相似性度量信息进行加权。因此,定义的背景杂波度量的表达式为:

$$C_{\text{ESSIM}}(X, Y) = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\rho_{ij} * \text{SSIM}_{ij})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\rho_{ij})}, \quad (11)$$

式中:  $\text{SSIM}_{ij}$ 、 $\rho_{ij}$  分别为图像结构相似性度量信息以及图像目标与背景杂波的梯度方向直方图相似性度量信息,  $m \times n$  为图像大小。整幅图像的杂波度量为求均值:

$$C_{\text{ESSIMrms}} = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C_{\text{ESSIM}}(X, Y_i)^2}, \quad (12)$$

其中  $k$  为整图的杂波模块数。

### 3 实验结果

#### 3.1 实验数据库介绍

为验证本文给出的图像杂波度量方法的有效性,本文利用荷兰 TNO 人类因素研究所提供的 Search\_2 图像数据库<sup>[22]</sup>进行相关实验。Search\_2 图像数据库中包含 44 幅高分辨率的不同复杂场景的数字彩色图像,每幅图像中包含一辆军事装甲车,并且包括由 64 名专业观察者参与的对每幅图像的视觉搜索和探测心理物理学实验结果。图 4 是数据库中第 16 幅图像以及对应的搜索目标。



(a) Search\_2 数据库的第 16 幅图像 (b) 目标图像  
(a) The sixteenth image from Search\_2 dataset (b) Target image

图 4 目标与杂波图像示意图

Fig. 4 Schematics of target and clutter image

#### 3.2 实验参数设置

评价杂波度量方法的好坏可以通过计算杂波度量的预测性能与观察者目标获取性能的均方根误差和相关性来实现,本文主要比较以下几种杂波度量方法:统计方差度量方法( $C_{\text{SV}}$ )<sup>[1]</sup>、基于边缘概率密度的杂波度量方法( $C_{\text{POE}}$ )<sup>[3]</sup>、基于目标结构相似性的杂波度量方法( $C_{\text{TSSIM}}$ )<sup>[4]</sup>、利用人眼视觉特性的图像结构差异性杂波度量方法( $C_{\text{VSD}}$ )<sup>[7]</sup>和本文提出的方法( $C_{\text{ESSIM}}$ )。

目标获取性能指标包括:探测概率(PD)和虚警概率(FAR)。采用美国空军 D. L. Wilson 提出的目标获取性能预测模型<sup>[23]</sup>作为目标探测概率预测模型、目标虚警概率预测模型和目标搜索时间预测模型,分别如下所示:

(a) 目标探测概率预测模型:

$$pd_{\text{pred}} = (C/C_{50})^E / (1 + (C/C_{50})^E), \quad (13)$$

(b) 目标虚警概率预测模型:

$$pf_{\text{pred}} = A - (C/C_{50})^E / (1 + (C/C_{50})^E), \quad (14)$$

(c) 目标搜索时间预测模型:

$$t_{\text{pred}} = x / (C + y), \quad (15)$$

其中:  $A$  为 search\_2 数据库中每幅图像的总探测概率,其值为 0.998<sup>[11]</sup>,  $C$  为采用的不同杂波度量值,  $C_{50}$  是探测概率为 50% 时的杂波度量值,  $E$ 、 $C_{50}$ 、 $x$ 、 $y$  为待优化常数。

所采用的评价测度包括:均方根误差( $\nabla$ )、Pearson 线性相关系数( $R_p$ )、Kendall 相关系数( $R_k$ )和 Spearman 秩相关系数( $R_s$ )。

#### 3.3 实验结果及分析

表 1 是采用 search\_2 数据库中没有拍摄问题的 39 幅图像进行实验的结果;采用最小二乘法分别对式(13)~式(15)中的参数  $E$ 、 $C_{50}$ 、 $x$ 、 $y$  进行优化,误差分析和相关性分析的实验结果分别如表 2~表 4 所示。

图 4~图 6 为  $C_{\text{SV}}$ 、 $C_{\text{POE}}$ 、 $C_{\text{TSSIM}}$ 、 $C_{\text{VSD}}$ 、 $C_{\text{ESSIM}}$  与目标探测概率、虚警概率和目标搜索时间的拟合曲线实验结果。由表 2、表 3、表 4 可以看到基于  $C_{\text{SV}}$  和  $C_{\text{POE}}$  预测的探测概率、预虚警概率、预测时间与实际目标获取性能相差较大,由图 4~图 6 可以发现  $C_{\text{SV}}$  和  $C_{\text{POE}}$  的预测性能曲线与目标的实际探测概率、虚警概率、搜索时间相差较远。 $C_{\text{TSSIM}}$ 、 $C_{\text{VSD}}$  性能优于  $C_{\text{SV}}$  和  $C_{\text{POE}}$ 。

从表 2~表 4 以及图 4~图 6 可以发现,本文提出的杂波度量  $C_{\text{ESSIM}}$  较现有的杂波度量有明显

优势。将所有评价指标中与 search\_2 数据库中 64 位观察者的目标获取性能最好的用黑体标记出来,具体见表 2~表 4,本文提出的方法  $C_{\text{ESSIM}}$  在

相关系数方面明显高于其它杂波度量方法,线性相关系数( $R_p$ )分别高达 0.870、0.845、0.897;均方根误差都低于其它杂波度量方法,均方根误差

表 1 不同图像的杂波度量值以及实验探测概率(PD)、虚警率(FAR)和搜索时间(ST)

Tab. 1 Clutter metrics of different images and detection probability (PD), search time(ST) and false alarm rate (FAR)

IMG_NO.	$C_{\text{SV}}$	$C_{\text{POE}}$	$C_{\text{TSSIM}}$	$C_{\text{VSD}}$	$C_{\text{ESSIM}}$	PD	FAR	ST/s
1	2.831	60.95	0.803 8	0.161 6	0.684 4	0.838 71	0.145 16	10.1
2	2.738	93.95	0.835 8	0.120 7	0.668 6	0.741 94	0.241 94	11.2
3	2.770	61.79	0.819 4	0.134 8	0.667 6	0.887 10	0.112 90	9.6
4	2.893	20.07	0.745 4	0.146 9	0.631 0	0.483 87	0.322 58	24.4
5	4.742	1364	0.882 0	0.317 8	0.798 9	1	0	2.6
6	3.308	37.65	0.798 6	0.312 3	0.759 8	1	0	5.1
8	3.021	36.33	0.801 9	0.195 0	0.690 2	0.887 10	0.080 65	7.6
9	4.210	1990	0.871 1	0.263 6	0.788 8	1	0	2.3
10	3.283	183.5	0.835 0	0.168 5	0.709 4	0.983 87	0.016 13	2.6
11	3.056	66.73	0.778 7	0.143 6	0.677 6	0.709 68	0.241 94	9.4
12	4.520	625.2	0.842 9	0.330 0	0.804 4	1	0	2.3
13	3.661	198.7	0.828 9	0.200 5	0.750 4	1	0	3.1
14	3.686	296.6	0.858 4	0.231 2	0.771 3	0.935 48	0.064 52	5.8
16	2.975	117.6	0.847 6	0.219 1	0.711 6	0.983 87	0.016 13	2.3
17	3.721	116.4	0.835 5	0.252 3	0.731 9	1	0	4.1
18	2.987	444	0.900 3	0.220 8	0.710 4	0.983 87	0.016 13	2.6
19	3.788	455.1	0.758 4	0.127 9	0.673 7	0.822 58	0.161 29	8.8
20	4.140	312.6	0.875 8	0.233 7	0.734 1	0.951 61	0.032 26	2.6
21	3.072	36.58	0.773 1	0.164 9	0.643 7	0.774 19	0.209 68	10.9
22	3.220	51.31	0.761 6	0.100 2	0.644 6	0.645 16	0.322 58	21.6
24	3.497	47.13	0.761 5	0.141 3	0.679 7	0.870 97	0.112 90	6.2
25	3.399	91.45	0.716 1	0.239 3	0.733 0	0.967 74	0.032 26	4.4
27	2.972	76.02	0.811 9	0.176 1	0.726 0	0.887 10	0.112 90	7.9
28	3.700	175.4	0.836 1	0.199 9	0.752 6	1	0	3.9
29	3.040	27.34	0.822 6	0.199 3	0.700 1	0.887 10	0.112 90	5.5
30	3.458	55.63	0.794 7	0.216 5	0.743 5	0.967 74	0.032 26	4.9
31	4.024	430.8	0.897 1	0.212 2	0.774 8	1	0	3.1
32	3.470	33.77	0.782 1	0.181 7	0.701 0	0.725 81	0.258 06	10
33	3.694	58.51	0.839 8	0.256 5	0.737 6	0.967 74	0.032 26	4.2
34	5.277	1851	0.878 9	0.303 8	0.814 9	0.983 87	0	2.2
35	4.905	1037	0.891 2	0.316 7	0.811 0	1	0	2.1
36	3.849	196.4	0.866 8	0.258 1	0.774 2	0.967 74	0.032 26	4.3
37	4.598	662.6	0.814 2	0.273 7	0.781 5	0.983 87	0	2.4
38	3.575	218.1	0.819 7	0.296 8	0.744 3	0.951 61	0.048 39	8.3
40	4.100	255.5	0.873 8	0.239 3	0.759 5	0.983 87	0.016 13	2.5
41	4.425	1186	0.892 0	0.252 4	0.807 2	1	0	3.3
42	3.851	100.2	0.827 4	0.269 2	0.767 3	1	0	4.9
43	3.828	100.3	0.823 7	0.258 3	0.763 0	0.967 74	0.032 26	3.6
44	2.891	32.94	0.783 0	0.171 3	0.661 1	0.919 35	0.048 39	7.6

分别为 0.056 9、0.046 9、2.129。以上实验数据说明本文所提出的引入梯度分布特征的杂波度量与实际目标探测概率、虚警概率、搜索时间密切相关,且从图 4~图 6 中能够清楚发现,本文方法与观察者的目标获取性能一致性较高,没有明显的偏离点,具有较高的预测精度。

表 2 各杂波度量方法与目标探测概率之间相关性

Tab. 2 Correlation between PD and different clutter metric methods

C	$C_{50}$	E	$\nabla$	$R_p$	$R_k$	$R_s$
$C_{ESSIM}$	<b>0.620 4</b>	<b>18.956 5</b>	<b>0.056 9</b>	<b>0.870</b>	<b>0.629</b>	<b>0.806</b>
$C_{VSD}$	0.087 9	3.024 8	0.071 8	0.751	0.582	0.752
$C_{TSSIM}$	0.734 3	25.703 0	0.065 3	0.807	0.537	0.693
$C_{POE}$	11.230 5	1.227 1	0.079 8	0.660	0.465	0.630
$C_{SV}$	2.185 2	5.395 7	0.096 1	0.556	0.462	0.641

表 3 各杂波度量方法与目标虚警概率之间相关性

Tab. 3 Different coefficients between false alarm rate and different clutter metric methods

C	$C_{50}$	E	$\nabla$	$R_p$	$R_k$	$R_s$
$C_{ESSIM}$	<b>0.600 3</b>	<b>14.225 9</b>	<b>0.046 9</b>	<b>0.845</b>	<b>0.653</b>	<b>0.828</b>
$C_{VSD}$	0.081 5	2.775 1	0.051 1	0.809	0.602	0.774
$C_{TSSIM}$	0.714 2	18.699 8	0.061 0	0.762	0.524	0.680
$C_{POE}$	4.481 7	0.774 5	0.072 1	0.618	0.504	0.661
$C_{SV}$	2.003	4.449 1	0.075 7	0.575	0.515	0.688

表 4 各杂波度量与目标搜索时间之间相关性

Tab. 4 Different coefficients between search time and different clutter metric methods

C	x	y	$\nabla$	$R_p$	$R_k$	$R_s$
$C_{ESSIM}$	<b>0.579 2</b>	<b>-0.607 4</b>	<b>2.128 7</b>	<b>0.897</b>	<b>0.772</b>	<b>0.595</b>
$C_{VSD}$	0.779	-0.063 3	3.15	0.756	0.712	0.528
$C_{TSSIM}$	-0.500 9	-0.276 3	2.752	0.821	0.760	0.565
$C_{POE}$	999.83	58.423	3.864	0.618	0.737	0.562
$C_{SV}$	8.254 6	-2.059	3.987 4	0.561	0.698	0.546

表 5 各杂波度量的平均计算时间

Tab. 5 Average computing time of different image clutter metric methods (s/frame)

指标	$C_{ESSIM}$	$C_{VSD}$	$C_{TSSIM}$	$C_{POE}$	$C_{SV}$
时间	<b>0.791</b>	<b>0.828</b>	<b>0.545</b>	<b>0.173</b>	<b>0.052</b>

本文算法用 Matlab 语言编写,在处理器为 Intel i5-2400 3.1 GHz、内存为 3GB 的微机上完成。表 5 给出了几种杂波度量方法的计算耗时比较,其中  $C_{SV}$ 、 $C_{POE}$  方法计算最简单,速度相对较快。从表 5 中可以看出本文所提出的  $C_{ESSIM}$  杂波度量方法的计算时间与  $C_{VSD}$  的计算时间接近,但性能预测精度明显优于  $C_{VSD}$  方法。后期本文所提出的杂波度量方法可通过 DSP 和 FPGA 等硬件方式实现实时计算。

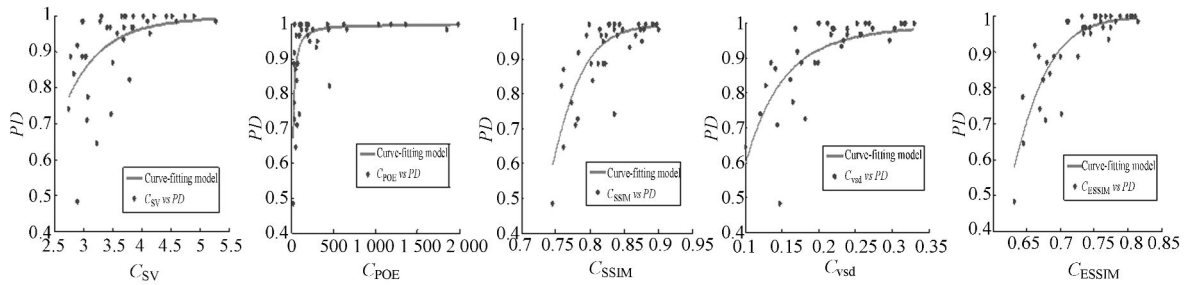


图 4 各杂波度量与目标探测概率的拟合曲线

Fig. 4 Fitted curves between PD and different image clutter metric methods

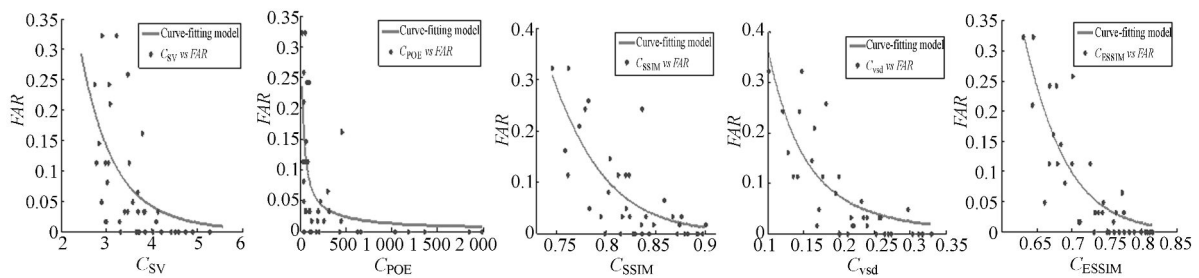


图 5 各杂波度量与目标虚警概率的拟合曲线

Fig. 5 Fitted curves between FRA and different image clutter metric methods

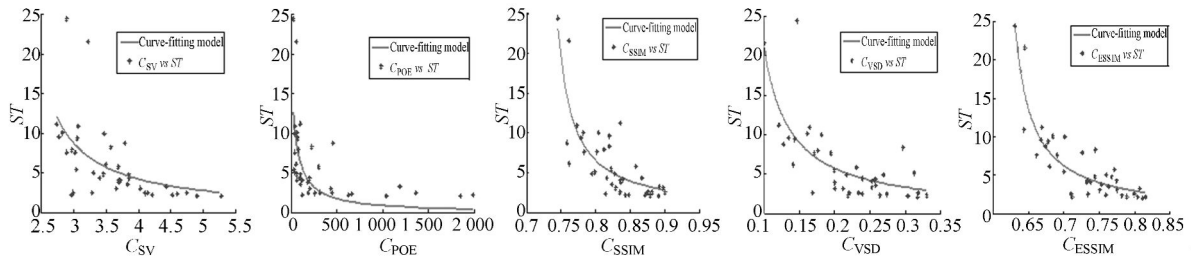


图 6 各杂波度量与目标搜索时间的拟合曲线

Fig. 6 Fitted curves between ST and different image clutter metric methods

## 4 结 论

本文根据人眼视觉在目标识别中所关注物体结构的特性,用边缘梯度方向直方图表征目标结构特征,对杂波度量中的图像结构相似性进行加权,提出了一种引入梯度分布特征的图像背景杂波度量。实验结果表明,本文方法与观察者的目

标获取性能一致性较高,没有明显的偏离点,具有较高的预测精度,在目标探测概率、虚警率和搜索时间方面的表现优于现有的背景杂波度量方法。然而,本文方法只在 search\_2 数据库上进行了验证,数据库的单一性致使模型的有效性及充分性稍显不足,所以今后的一项重要工作就是建立更丰富的场景图像、目标图像和探测特性数据库,对本文提出的杂波度量方法进行进一步验证。

## 参考文献:

- [1] SCHMIEDER D E, WESTHERSBY M R. Detection performance in clutter with variable resolution [J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1983, 19(4): 622-630.
- [2] ROTMAN S R, COHEN A, SHAMAY D, et al. Textural metrics for clutter affecting human target acquisition [J]. *Infrared Physics & Technology*, 1996, 37(6): 667-674.
- [3] AVIRAM G, ROTMAM S R. Evaluation of human detection performance of targets embedded in natural and enhanced infrared images using image metrics [J]. *Opt. Eng.*, 2000, 39(4): 885-896.
- [4] CHANG H H, ZHANG J Q. New metrics for clutter affecting human target acquisition [J]. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 2006, 42(1): 361-368.
- [5] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structure similarity [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4): 600-612.
- [6] 徐德江, 史泽林, 罗海波. 利用人眼视觉特性的图像结构差异性杂波度量[J]. *红外与激光工程*, 2013, 42(6): 1635-1641.
- [7] KOCH C, ULLMAN S. Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry [J]. *Human Neurobiology*, 1985, 4: 219-227.
- [8] XU D J, SHI Z L. DSIM: A dissimilarity-based image clutter metric for targeting performance [J]. *IEEE Transactions On Image Processing*, 2013, 22(10): 4108-4122.
- [9] TRIVEDI M M, SHIRVAIKAR M V. Quantitative characterization of image clutter: problem, progress and promises [J]. *Characterization, Propagation, and Simulation of Sources and Backgrounds II*, 1993, 1967: 288-299.
- [10] CHANG H H, ZHANG J Q. Detection probability and detection time using clutter metrics [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2007, 51(2): 83-90.
- [11] CHANG H H, ZHANG J Q, LIU D L. Modeling human false alarms using clutter metrics [J]. *MIPPR 2007: Automatic Target Recognition and Image Analysis, and Multi-Spectral Image Acquisition*, 2007, 6786: N7863.
- [12] LI Q, YANG C, ZHANG J Q. Target acquisition performance in a cluttered environment [J]. *Ap-*

- plied Optics*, 2012, 51(31): 7668-7673.
- [13] 李倩,张建奇,杨翠. 边缘结构背景杂波尺度[J]. 西安电子科技大学学报, 2012, 39(3): 95-100.  
LI Q, ZHANG J Q, YANG C. Structure of the edge background clutter metric [J]. *Journal of Xidian University*, 2012, 39(3): 95-100. (in Chinese)
- [14] DALAL NAMEET, TRIGGS BILL. Histograms of oriented gradients for human detection [C]. *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, San Diego*, 2005: 886-893.
- [15] 马如奇,王伟东,董为,等. 基于改进梯度投影算法的腹腔微创外科手术机器人系统术前摆位分析[J]. 机器人, 2014, 36(2): 156-163. (in Chinese)  
MA R Q, WANG W D, DONG W, et al.. Preoperative positioning analysis of the celiac minimally invasive surgery robotic system based on an improved gradient projection algorithm [J]. *ROBOT*, 2014, 36(2): 156-163. (in Chinese)
- [16] 潘锋,闫贝贝,肖文,等. 基于数学形态学的数字全息再现像融合方法[J]. 中国光学, 2015, 8(1): 60-67.  
PAN F, YAN B B, XIAO W, et al.. Digital holographic reconstruction image fusion based on mathematical morphology [J]. *Chinese Optics*, 2015, 8(1): 60-67. (in Chinese)
- [17] 孙晓燕,常发亮. 梯度特征稀疏表示目标跟踪[J]. 光学精密工程, 2013, 21(12): 3191-3197.  
SUN X Y, CHANG F L. Object tracking based on sparse representation of gradient feature [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(12): 3191-3197. (in Chinese)
- [18] 高文,朱明,贺柏根,等. 目标跟踪技术综述[J]. 中国光学, 2014, 7(3): 365-375.  
GAO W, ZHU M, HE B G, et al.. Overview of target tracking technology [J]. *Chinese Optics*, 2014, 7(3): 365-375. (in Chinese)
- [19] 赵文达,续志军,赵建. 基于梯度直方图变换增强红外图像的细节[J]. 光学精密工程, 2014, 22(7): 1962-1968.  
ZHAO W D, XU ZH J, ZHAO J. Enhancement of infrared image details based on gradient histogram transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(7): 1962-1968. (in Chinese)
- [20] 肖传民,史泽林,夏仁波. 一种基于视觉显著性的边缘检测算法[J]. 信息与控制, 2014, 43(1): 9-13.  
XIAO CH M, SHI Z L, XIA R B. An edge detection algorithm based on visual saliency [J]. *Information and Control*, 2014, 43(1): 9-13. (in Chinese)
- [21] 杨桃,童涛,陆松岩. 基于多特征的红外与可见光图像融合[J]. 光学精密工程, 2014, 22(2): 489-496.  
YANG G, TONG T, LU S Y. Fusion of infrared and visible images based on multi-features [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(2): 489-496. (in Chinese)
- [22] ALEXANDER TOET. Structural similarity determines search time and detection probability [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2010, 53(6): 464-468.
- [23] WILSON D L. Image-based contrast-to-clutter modeling of detection [J]. *Opt. Eng.*, 2001, 40(9): 1852-1857.

## 作者简介:



肖传民(1978—),男,辽宁大连人,博士研究生,2009年于中国科学院沈阳自动化研究所获得硕士学位,主要从事自动目标识别技术方面的研究工作。E-mail: xiaochuanmin@sia.cn

## 导师简介:



史泽林(1965—),男,江苏宜兴人,研究员,博士生导师,现任中国科学院沈阳自动化研究所副所长,兼任中国科学院光电信息处理重点实验室主任,国家高技术领域专家组成员,国家973计划项目首席专家,担任《信息与控制》编委,《红外与激光工程》副主编,主要从事精确制导、图像处理方面的研究工作。E-mail: zlshi@sia.cn