

文章编号 1004-924X(2013)12-3205-09

# 红外与可见光图像融合系统的探测概率

许 辉, 张俊举\*, 袁轶慧, 张鹏辉, 韩 博

(南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:**提出了一种定量计算红外与可见光图像融合系统目标探测概率的方法,建立了该融合系统的目标探测概率计算模型。首先,研究了影响目标探测概率的主要因素:目标与背景的光谱对比度、红外与可见光探测器的特性、环境照度条件、融合图像质量、目标大小与距离。针对这些影响因素,分别构建了 5 个影响目标探测概率因素的数学模型。在此基础上,设计了基于红外与可见光图像融合系统的探测概率计算模型。最后,针对两组实际任务进行了实验。以第一组为例,其对于单一探测系统目标为树木的探测概率  $p_{\text{vis}}$  为 0.294 8,  $p_{\text{IR}}$  为 0.136 0,而采用不同算法的融合系统探测概率为 0.414 2,远高于单一探测器的探测概率。得到的结果验证了融合系统的目标探测概率计算方法的有效性,证明了融合图像质量以及目标自身的光谱特性对融合系统目标探测概率起着重要作用。该模型实验结果符合人眼视觉特征。

**关键词:**红外图像;可见光图像;图像融合;探测概率;目标探测

**中图分类号:** TN215; TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132112.3205

## Detection probability of infrared and visible image fusion system

XU Hui, ZHANG Jun-ju\*, YUAN Yi-hui, ZHANG Peng-hui, HAN Bo

(School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

\* Corresponding author, E-mail: zj\_w1231@163.com

**Abstract:** A method to calculate the target detection probability quantitatively for a infrared and visible image fusion system was proposed and a corresponding calculation model was established. First, the main factors affecting on the target detection probability were analyzed, and they were the spectral contrast of target and background, the characteristics of infrared and visible light detector, environmental illumination conditions, the integration of image quality, and the target size and distance. Then, five mathematical models on the effect factors mentioned above was constructed. On this basis, a calculation model for the detection probability based on infrared and visible image fusion system was completed. Finally, the experiments for two practical missions were performed. The first experiment show its results as follows: target detection probability of trees for a single detection system  $p_{\text{vis}}$  is 0.294 8,  $p_{\text{IR}}$  is 0.136 0, but the detection probability for the fusion detection system is 0.414 2, much higher than that of single detector, which verifies the validity of the calculation method of fusion sys-

收稿日期:2013-03-29;修订日期:2013-07-11.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61101195);江苏省自然科学基金资助项目(No. BK20130775)

tem for target detection probability. It proves that the fusion image quality and the spectral characteristics of goal itself play important roles for target detection probability. Moreover, the experiment results of the model is accord with the human visual characteristics as well.

**Key words:** infrared image; visible image; image fusion; detection probability; target detection

## 1 引言

目标探测概率是表示估计目标可探测性的重要的指标之一<sup>[1]</sup>。随着图像融合技术的发展,需要一种有效的方法来定量地评估融合系统相比单一系统对目标的探测概率的提高。现在对目标探测概率的研究,多集中在单一探测系统或者是决策级的融合上<sup>[2]</sup>,这并不完全适用于像素级的图像融合系统。一方面由于决策级融合的探测概率依赖于传感器的先验概率,在实际应用中并不可行。另一方面,目标探测概率不仅仅取决于探测器的性质,还受到其他因素的影响,如图像融合质量。

现有的针对融合图像目标探测概率的研究还集中在图像自身的评价上<sup>[3]</sup>,本文提出了一种定量计算红外与可见光图像融合系统目标探测概率的方法。方法基于 5 个因素:目标与背景的光谱对比度;红外与可见光探测器的特性;环境照度条件;融合图像质量;目标大小与距离。最后,用 2 个实际的探测任务,计算了图像融合系统对不同目标的探测概率,结果与人眼的主观评价取得了较好的一致性。

## 2 一种客观的红外与可见光图像融合系统目标探测概率计算方法

### 2.1 目标与背景的光谱对比度指标

#### 2.1.1 目标的反射对比度指标

红外与可见光融合系统工作于从可见光到红外波段,然而同一目标在可见光和红外波段的光谱特性是不同的。在可见光波段主要通过探测目标的反射光谱,在红外波段主要通过探测目标自身的辐射。

目标的反射辐射光谱分布即为每一波长对应的天空的辐射强度与目标反射系数的乘积:

$$\Phi_t(\lambda) = \Phi(\lambda) \cdot \rho(\lambda), \quad (1)$$

式中: $\Phi_t(\lambda)$ 是目标的反射辐射光谱分布; $\Phi(\lambda)$ 是天空的辐射分布; $\rho(\lambda)$ 为目标反射系数。

在可见光波段,目标的反射对比度可以定义为目标与背景光谱分布的比例<sup>[5]</sup>。因此,这里定义目标的反射对比度  $C_{vis}$  为:

$$C_{vis} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\rho_t(\lambda) \cdot |\Phi_t(\lambda) - \Phi_b(\lambda)|}{\Phi_b(\lambda)} d\lambda, \quad (2)$$

式中: $\rho_t(\lambda)$ 为目标的光谱反射率, $\Phi_t(\lambda)$ 与  $\Phi_b(\lambda)$ 分别为目标与背景的光谱分布, $\lambda_1$ 与  $\lambda_2$ 分别为积分的上下截止波长。由于在同一场景下,目标与背景处在相同的天空辐射下,所以可以近似为:

$$C_{vis} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\rho_t(\lambda) \cdot |\rho_t(\lambda) - \rho_b(\lambda)|}{\rho_b(\lambda)} d\lambda, \quad (3)$$

式中: $\rho_b(\lambda)$ 为背景的反射率。

#### 2.1.2 目标的辐射对比度指标

目标的辐射特性可以用普朗克定律描述。波长  $\lambda(\mu\text{m})$ 、温度为  $T(\text{K})$  的黑体辐射出射度为:

$$M_\lambda = c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}, \quad (4)$$

式中: $c_1 = 3.741\ 844 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^2$ ,为第一辐射常数; $c_2 = 1.438\ 833 \text{ cm} \cdot \text{K}$ ,为第二辐射常数。实际物体在某一红外波段的辐射出射度  $M(\lambda)$  为:

$$M(\lambda) = \epsilon_\lambda M(\lambda), \quad (5)$$

式中: $\epsilon_\lambda$ 为该物体的光谱发射率。

对于红外成像而言,目标是否能被探测到,取决于目标与其背景的辐射差异。因此,定义目标的辐射对比度  $C_{IR}$  为:

$$C_{IR} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_t(\lambda) dt - \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_b(\lambda) dt}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M_b(\lambda) dt}, \quad (6)$$

式中: $M_t$ 为目标的辐射出射度, $M_b$ 为背景的辐射出射度。

### 2.2 探测器的目标探测性能及环境照度指标

#### 2.2.1 探测器特性

光谱响应率用来描述光电器件的灵敏程度,

它是器件对单色入射辐射的响应能力。探测器的光谱响应分布与目标的光谱分布的差异,对最终探测器的成像质量有着很大的影响。这里利用光谱匹配系数<sup>[6]</sup>来描述可见光和红外探测器的特性,光谱匹配系数定义为:

$$\alpha = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda)R(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) d\lambda}, \quad (7)$$

式中: $S(\lambda)$ 为探测器归一化的光谱响应曲线, $R(\lambda)$ 为目标的归一化光谱分布,即:

$$S(\lambda) = \frac{S_\lambda}{S_m}, \quad (8)$$

$$R(\lambda) = \frac{R_\lambda}{R_m}, \quad (9)$$

式中: $S_\lambda$ 为探测器的光谱响应率, $S_m$ 为其峰值响应; $R_\lambda$ 为目标的光谱分布,对于可见光探测器而言 $R_m$ 为其峰值。

### 2.2.2 环境因素

对于可见光成像系统而言,环境的照度对最终的成像效果起着重要影响。为了简化问题,这里通过定义一个随着环境照度变化的系数(表 1) $l$ 来描述环境因素的影响。

表 1 照度修正系数

Tab. 1 Correction coefficients of illumination

环境条件	照度/lx	$l$
星光	$10^{-3}$	1
其他	$10^{-2}$	2
月光	$10^{-1}$	3
微明	1	4
黎明	10	5
黄昏	$10^2$	6
阴天	$10^3$	7
晴天	$10^4$	8

### 2.2.3 单一探测器的探测性能

考虑到环境照度因素,定义了单一探测器的探测性能。对于可见光系统:

$$p_{\text{vis}} = \begin{cases} C_{\text{vis}} \cdot \alpha_{\text{vis}} \cdot l & \text{if } C_{\text{vis}} \cdot \alpha_{\text{vis}} \cdot l \leq 1 \\ 1 & \text{if } C_{\text{vis}} \cdot \alpha_{\text{vis}} \cdot l > 1 \end{cases}, \quad (10)$$

式中: $C_{\text{vis}}$ 为目标的反射对比度, $\alpha_{\text{vis}}$ 为可见光系统与目标的光谱匹配系数, $l$ 为环境照度修正系数。

对于红外系统:

$$p_{\text{IR}} = C_{\text{IR}} \cdot \alpha_{\text{IR}}, \quad (11)$$

式中: $C_{\text{IR}}$ 和 $\alpha_{\text{IR}}$ 分别为目标的辐射对比度、红外系统与目标的光谱匹配系数。

### 2.2.4 基于单一探测器的融合系统探测概率计算

从概率上来说,目标探测是一个二元决策问题,将信号划分为目标和背景两个部分。通常可以用一个二元假设问题表述:目标能够探测到的假设为 $H_1$ ,目标不能被探测到的假设为 $H_0$ 。记目标被探测器 $d_i$ 探测到的假设为 $d_i(H_1)$ ,目标不能被探测器 $d_i$ 探测到的假设为 $d_i(H_0)$ ,记目标被融合系统探测到的假设为 $F(H_1)$ 。在各个探测器独立工作的条件下,多探测器融合后的探测概率可以看作目标被多个探测器探测到的概率的并集,即:

$$P(F(H_1)) = P(d_1(H_1) \cup d_2(H_1) \cup \dots \cup d_i(H_1)), \quad (12)$$

根据式(13)可以推出:

$$P(F(H_1)) = 1 - P(d_1(H_0) \cap d_2(H_0) \cap \dots \cap d_i(H_0)). \quad (13)$$

因为 $P(d_i(H_0)) = 1 - P(d_i(H_1))$ ,且各个探测器相互独立,所以又可以推得:

$$P(F(H_1)) = 1 - \prod_{i=1}^M (1 - P(d_i(H_1))), \quad (14)$$

式中: $M$ 为融合系统中探测器的个数。对于红外与可见光的融合系统, $M=2$ ,所以融合后的探测概率 $p_i$ 为:

$$p_i = 1 - [1 - P(d_{\text{IR}}(H_1))] \times [1 - P(d_{\text{vis}}(H_1))], \quad (15)$$

式中: $P(d_{\text{IR}}(H_1))$ 和 $P(d_{\text{vis}}(H_1))$ 即 $p_{\text{IR}}$ 与 $p_{\text{vis}}$ 。这样,就可以得到基于单一探测器的融合系统探测概率。但是,对于图像融合系统而言,还必须考虑融合图像质量的影响。

### 2.3 融合图像质量因子

在目标探测任务中,人眼对于图像的局部信息更加敏感<sup>[7]</sup>。同时,目标所在区域越清晰,则目标更加容易被探测到。这里通过设计局部目标对比度指标和局部清晰度指标来描述融合图像质量对探测概率的影响。

#### 2.3.1 局部目标对比度指标

通过对人眼视觉系统(Human Vision Sys-

tem)的研究可以得知,在观察某一图像时,观察者的视野<sup>[8]</sup>可以划分为 4 个区域:刺激(stimulus),近场(proximal field),背景(background)和周围(surround),如图 1 所示。

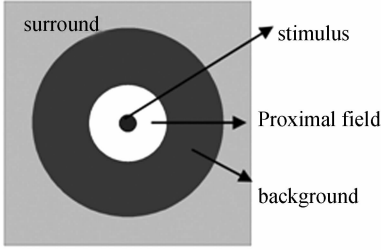


图 1 视野结构示意图

Fig. 1 Configuration of the viewing field

在“近场”区域中,以目标为中心,“近场”区域边界与目标的距离  $r$  为:

$$r = D \tan(\theta/2) \times 10^{-2}, \quad (16)$$

$$N = rX / (L \times 10^{-2}), \quad (17)$$

式中: $D$ 为观察者与屏幕间的距离; $\theta$ 为视场角,在该模型中为  $2^\circ$ ; $r$ 为“近场”区域边界与目标的距离; $X$ 为显示屏的水平分辨率; $L$ 为显示屏的水平尺寸; $N$ 表示  $\Omega$  区域边界与目标的距离在图像上的距离,单位为像素。

得到  $N$  的大小后,就可以在融合图像上选取某个目标的最佳敏感区域  $\Omega$ ,从而建立局部目标对比度指标  $LTC$  为:

$$LTC = \sqrt{\frac{\sum_{i,j \in \Omega} (I(i,j) - U)^2}{N}}, \quad (18)$$

式中: $I(i,j)$ 表示区域  $\Omega$  内每个像素的灰度值。 $U$ 表示  $\Omega$  区域内所有像素的灰度均值, $N$ 为  $\Omega$  区域内的像素个数。

### 2.3.2 局部清晰度指标

在时域,图像的清晰度可以通过计算边缘信息量得到。我们采用  $3 \times 3$  大小的 Sobel 算子提取图像的边缘。每个方向的 Sobel 模板为:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad (19)$$

该模板窗口在区域  $\Omega$  内遍历每个像素。对于每一个窗口  $w$ ,融合图像  $I$  在  $\Omega$  区域内每个像素  $(i,j)$  处的梯度为:

$$\nabla I(i,j|w) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} (i,j \in \Omega). \quad (20)$$

这样,定义该区域内像素梯度信息均值为局部清晰度 (LSM),即:

$$LSM = \frac{1}{|W|} \sum_{i,j \in \Omega} \nabla I(i,j|w), \quad (21)$$

式中: $|W|$ 为所有窗口的个数。LSM 的值越大,说明区域  $\Omega$  的清晰度越好。

对于一个给定的目标,在红外图像、可见光图像和融合图像中目标的最佳敏感区域  $\Omega$  内,分别计算其局部目标对比度指标  $LTC_{vis}$ 、 $LTC_{IR}$ 、 $LTC_f$  和局部清晰度指标  $LSM_{vis}$ 、 $LSM_{IR}$ 、 $LSM_f$ 。

融合图像质量因子  $IF_{img}$  定义为:

$$IF_{img} = \sqrt{\frac{LTC_f \cdot LSM_f}{LTC_0 \cdot LSM_0}}, \quad (22)$$

其中:

$$LTC_0 = \begin{cases} LTC_{vis} & \text{if } p_{vis} \geq p_{IR} \\ LTC_{IR} & \text{if } p_{IR} > p_{vis} \end{cases}, \quad (23)$$

$$LSM_0 = \begin{cases} LSM_{vis} & \text{if } p_{vis} \geq p_{IR} \\ LSM_{IR} & \text{if } p_{IR} > p_{vis} \end{cases}. \quad (24)$$

## 2.4 目标距离因子

在目标探测中,较远的距离会以非线性的关系减弱探测效果。另外,即使在同一距离下,不同大小的目标也会有不同的探测效果。

首先,目标对人眼的张角定义为:

$$\varphi = 3.44 \times \frac{H}{R \times 10^3}, \quad (25)$$

式中: $H$ 为目标的高度, $R$ 为目标距离。设计目标距离因子  $\sigma$  为:

$$\sigma = \begin{cases} 0.02 \times (10^{\log_{10} \varphi + 0.5} - 2)^{-1} & \text{if } \sigma \leq 1 \\ 1 & \text{else} \end{cases}. \quad (26)$$

## 2.5 融合系统的目标探测概率

最终的融合系统的目标探测概率可以看成基于物理特性的探测概率、目标距离和融合图像综合作用的结果。那么,定义融合系统最终的目标探测概率为:

$$P_f = \begin{cases} p_f \cdot \sigma \cdot IF_{img} & \text{if } P_f \leq 1 \\ 1 & \text{else} \end{cases}. \quad (27)$$

在计算最终的单一探测器探测性能时也引入目标距离因子,则最终的可见光与红外单一探测器的目标探测概率分别为:

$$P_{vis} = p_{vis} \cdot \sigma, \quad (28)$$

$$P_{IR} = p_{IR} \cdot \sigma. \quad (29)$$

这样,就得到了红外及可见光单一探测器和

融合系统对不同目标的探测概率。

### 3 实验分析

为了验证提出的方法的有效性,本文设计了两个不同场景、不同环境条件下的实验。首先,设计了主观感知实验进行验证。具体定义如表 2 所示。

表 2 主观感知实验度量分数

Tab. 2 Experimental measurement scores of subjective perception

分数	0	1	2	3	4
被探测到的可能性	完全不可能被探测到	不容易被探测到	可以被探测到	容易被探测到	非常容易被探测到

#### 3.1 实验一

该实验在春末夏初的某个满月的晚上进行,观察场景为小花园。环境温度大约为 15 °C (288 K)。该场景的主要目标包括树木、喷泉、一个躲在树丛后面的人。可见光探测系统与红外探测系统成像结果如图 2 和图 3 所示。目标的基本参数如表 3 所示。



图 2 可见光图像  
Fig. 2 Visible image

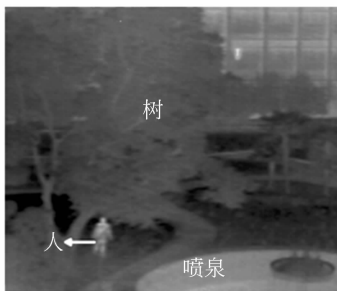


图 3 红外图像  
Fig. 3 IR image

表 3 目标的基本参数

Tab. 3 Basic parameters of target

	人	树木	喷泉
大小/m	1.7	4	4
距离/km	0.04	0.04	0.039
温度/K	310	298	300
表面发射率	0.98	0.98	0.97

实验中,本文选择了 6 种融合算法用来评估不同融合算法下融合系统的目标探测概率。源图像的融合图像如图 4 所示。



(a)对比度金字塔融合 (b)加权平均融合 (c)拉普拉斯融合  
(a)Contrast Pyramid fusion (b)Weighted average fusion (c)Laplace fusion



(d)取大融合 (e)小波融合 (f)目标增强融合  
(d) Large fusion (e) Wavelet fusion (f) Target enhancement fusion

图 4 融合图像  
Fig. 4 Fusion image

目标探测概率计算结果如表 4、表 5。

表 4 可见光系统目标探测概率计算结果

Tab. 4 Calculation results of detection probability by visible system

目标	人	树	喷泉
$C_{vis}$	0	0.140 7	0.200 6
$\alpha_{vis}$	0	0.745 5	0.738 4
$l$	3	3	3
$p_{vis}$	0	0.314 7	0.444 4
$\sigma$	0.842 9	0.936 9	0.939 5
$P_{vis}$	0	0.294 8	0.417 5

表 5 红外探测系统目标探测概率计算结果

Tab. 5 Calculation results of detection probability by IR detection system

目标	人	树	喷泉
$C_{IR}$	0.402 2	0.154 7	0.209 3
$\alpha_{IR}$	0.957 3	0.957 5	0.957 4
$\rho_{IR}$	0.377 3	0.145 2	0.194 4
$\sigma$	0.842 9	0.936 9	0.939 5
$P_{IR}$	0.318 0	0.136 0	0.182 6

基于单一探测器的融合系统探测概率  $p_f$  和采用不同算法的融合图像质量因子  $IF_{img}$  计算结果如表 6 所示。

表 6 融合系统探测概率计算结果

Tab. 6 Calculation results of detection probability by fusion system

目标	$p_f$	$IF_{img}$					
		CP	AVE	LP	CM	WAV	TEF
人	0.377 3	1.184 2	0.601 8	1.061 0	0.680 1	0.941 3	1.814 1
树	0.414 2	1.012 4	0.558 8	0.964 4	0.797 6	0.917 7	1.012 3
喷泉	0.552 4	0.912 8	0.628 4	0.917 1	0.786 2	0.819 3	0.904 0

我们通过计算探测概率计算值和主观实验结果的相关系数来验证该方法的有效性。如图 5 所示。

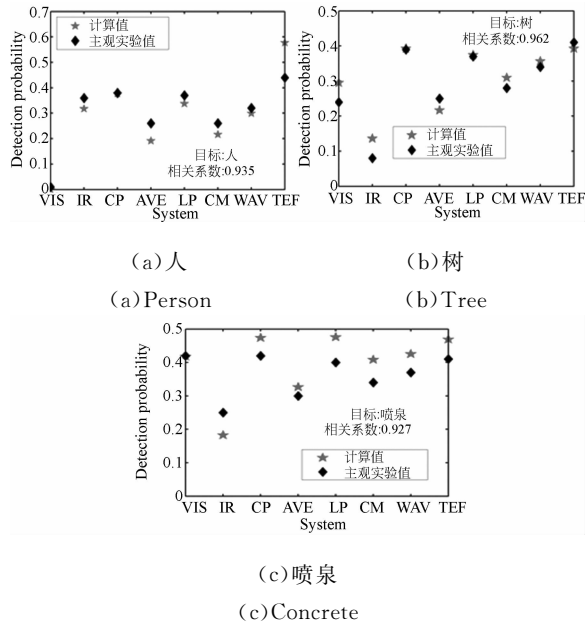


图 5 不同探测系统对同一个目标探测概率的计算值与实验值比较结果

Fig. 5 Comparison between calculated and experimental values

### 3.2 实验二

第二个实验在星光夜间条件下的野外进行，时间在三月份，周围温度约为  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $281\text{ K}$ )。主要目标即为人、混凝土堆、树和车辆。该场景的可见光图像与红外图像如图 6 和图 7 所示。各个目标的基本参数如表 7 所示。



图 6 可见光图像

Fig. 6 Visible image

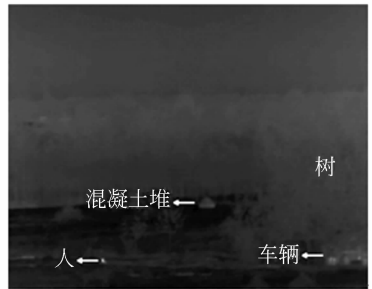


图 7 红外图像

Fig. 7 IR image

表 7 目标的基本参数

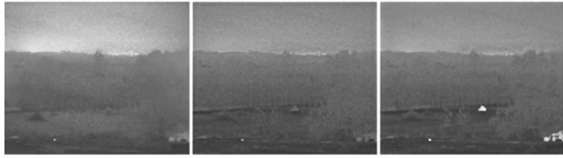
Tab. 7 Basic parameters of target

	人	混凝土	树	车辆
大小/m	0.4	1	4	1.5
距离/km	0.2	0.22	0.2	0.2
温度/K	310	291	287	293
表面发射率	0.98	0.92	0.98	0.97

源图像图 6 和图 7 基于不同融合算法下的融合图像如图 8 所示。



(a)对比度金字塔融合 (b)加权平均融合 (c)拉普拉斯融合  
 (a)Contrast Pyramid fusion (b)Weighted average fusion (c)Laplace fusion



(d)取大融合 (e)小波融合 (f)目标增强融合  
 (d)Large fusion (e)Wavelet fusion (f)Target enhancement fusion

图 8 融合图像

Fig. 8 Fusion image

目标探测概率计算结果如表 8、9 所示。

表 8 可见光系统目标探测概率计算结果

Tab. 8 Calculation results of detection probability by visible system

目标	人	混凝土	树	车辆
$C_{vis}$	0	0.199 6	0.140 7	0.082 1
$\alpha_{vis}$	0	0.680 7	0.621 4	0.682 0
$l$	1	1	1	1
$p_{vis}$	0	0.135 9	0.087 4	0.056 0
$\sigma$	0.357 6	0.513 8	0.746 9	0.599 7
$P_{vis}$	0	0.069 8	0.065 3	0.033 6

表 9 红外探测系统目标探测概率计算结果

Tab. 9 Calculation results of detection probability by IR detection system

目标	人	混凝土	树	车辆
$C_{IR}$	0.577 4	0.181 3	0.106 6	0.219 8
$\alpha_{IR}$	0.957 3	0.957 7	0.967 8	0.957 7
$p_{IR}$	0.541 7	0.159 7	0.103 2	0.204 2
$\sigma$	0.357 6	0.513 8	0.746 9	0.599 7
$P_{IR}$	0.193 7	0.082 1	0.077 1	0.122 5

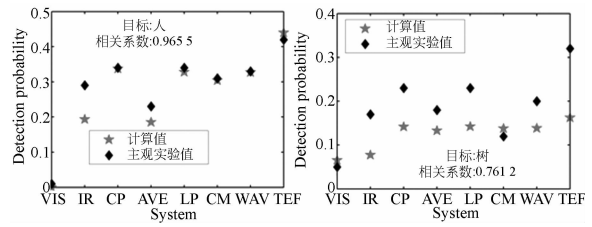
基于单一探测器的融合系统探测概率  $p_f$  和采用不同算法的融合图像质量因子  $IF_{img}$  计算结果如表 10 所示。

表 10 融合系统探测概率计算结果

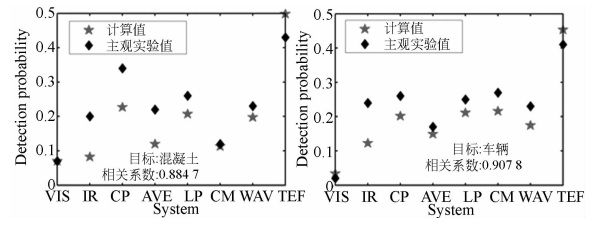
Tab. 10 Calculation results of detection probability by fusion system

目标	$p_f$	$IF_{img}$					
		CP	AVE	LP	CM	WAV	TEF
人	0.541 7	1.740 3	0.954 6	1.693 4	1.567 4	1.688 0	2.268 8
混凝土	0.273 9	1.611 9	0.851 8	1.469 1	0.801 1	1.403 1	3.540 4
树	0.181 6	1.044 7	0.979 7	1.047 7	1.015 5	1.021 8	1.195 8
车辆	0.248 8	1.352 4	0.997 6	1.414 0	1.449 2	1.169 4	3.036 1

这里通过计算探测概率计算值和主观实验结果的相关系数来验证该方法的有效性。如图 9 所示。



(a)人 (b)树  
 (a)Person (b)Tree



(c)混凝土 (d)车辆  
 (c)Concrete (d)Vehicle

图 9 不同探测系统对同一个目标探测概率的计算值与实验值比较结果

Fig. 9 Comparison between calculated and experimental values

上述两组实验选择了通常具有典型代表的人、混凝土、树木、车辆等为目标,以草地、树木等为背景的场景。通过实验数据分析知,融合方法是否会提高目标探测概率取决于融合图像质量以及目标自身的光谱特性。总体来说,探测概率计算模型的计算结果与人眼视觉主观感受很好的吻合。

## 4 结 论

针对目前缺少定量的图像融合系统探测概率评估方法的缺陷,本文设计了 5 个影响探测概率因素的模型(目标与背景的光谱对比度;红外与可见光探测器的特性;环境照度条件;融合图像质量;目标大小与距离),提出了一种能定量计算红

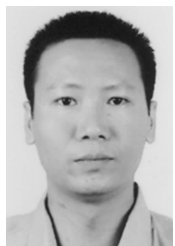
外与可见光图像融合系统目标探测概率的方法。该方法并不是针对探测器自身的统计特性,而是评价目标被融合系统探测到的明显程度。通过在两个实际的探测任务中定量计算图像融合系统对不同目标的探测概率,并与人眼主观评价对比,证明了我们提出的方法是合理的,它能够有效地计算图像融合系统的目标探测概率。

## 参考文献:

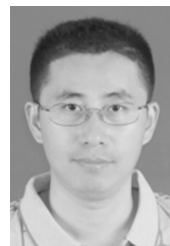
- [1] MEITZLER T J, KISTNER R W, PIBIL W T, *et al.*. Computing the probability of target detection in dynamic visual scenes containing clutter using fuzzy logic approach [J]. *Optical Engineering*, 1998, 37(7): 1951-1959.
- [2] 汪朝群. 雷达/红外成像双模导引头的联合探测概率研究[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(3): 221-224. WANG CH Q. Study on joint probability of detection for radar/IR integrated dual-model seeker [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(3): 221-225. (in Chinese)
- [3] 张必银, 张天序, 刘纯胜. 图像恢复算法目标获取有效性的评估方法[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(1): 151-155. ZHANG B Y, ZHANG T X, LIU CH SH. Method of evaluating the restoration algorithm's effects on target acquisition from turbulence-degraded images [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(1): 151-155. (in Chinese)
- [4] 刘磊, 钱芸生, 邱亚峰, 等. 激光助视/微光夜间驾驶仪设计及野外试验[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(3): 361-364. LIU L, QIAN Y SH, QIU Y F, *et al.*. Field experi-

- ment on the performance of LLL night vision instrument for drive with laser illuminator [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(3): 361-364. (in Chinese)
- [5] YUAN Y H, CHANG B K, ZHANG J J, *et al.*. Real-time implementation of visible and infrared image fusion and new measure based on spectral information [J]. *Proc. SPIE*, 2009, 7383: 73830S-1-73830S-7.
- [6] 李蔚, 宗志园, 常本康. S25 光电阴极与景物反射光谱的光谱匹配系数[J]. 光学学报, 2000, 20(2): 279-282. LI W, ZONG ZH Y, CHANG B K. Spectral matching factors of S25 photocathodes for reflecting spectrum of objects [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, 20(2): 279-282. (in Chinese)
- [7] 邵明省, 杜广朝. 基于量子克隆多宇宙算法的图像融合研究[J]. 液晶与显示, 2012, 27(6): 837-841. SHAO M SH, DU G CH. Image fusion processing based on multi-universe quantum cloning algorithm [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(6): 837-841. (in Chinese)
- [8] FAIRCHILD M D. Color Appearance Models [M]. U. S. A: Addison Wesley Inc, 1998.

## 作者简介:



许 辉(1974—),男,安徽凤阳人,博士研究生,驻扬州地区军代室工程师,1997年于军械工程学院获得学士学位,2005年于浙江大学获得硕士学位,主要从事图像融合的军事应用研究。E-mail: wolf7463@sina.com



张俊举(1979—),男,河南清丰人,博士,副教授,2006年于南京理工大学获得博士学位,主要从事光电信息探测与图像信号处理研究。E-mail: zj\_w1231@163.com

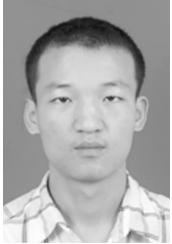




**袁轶慧**(1984—),女,江苏南京人,博士,2012年于南京理工大学获得博士学位,主要从事红外与微光图像融合及评价技术研究。E-mail: xi-aoyuan1101yyh@yahoo. cn



**韩 博**(1987—),男,河南三门峡人,硕士,主要从事红外图像处理算法研究。E-mail: hanboo9876@163. com



**张鹏辉**(1987—),男,陕西澄城人,硕士,主要从事红外图像处理算法研究。E-mail: zph. njlg@163. com

(版权所有 未经许可 不得转载)