

文章编号 1004-924X(2009)08-2032-08

基于信息融合的空中红外小目标识别

陈 谋,谭晓宇,姜长生

(南京航空航天大学 自动化学院,江苏 南京 210016)

摘要:针对空中红外小目标难以识别且可信度低的问题,本文结合已有的识别算法,利用非平等 D-S 证据融合设计了一种小目标识别方法。将小目标的灰度和速度信息作为主要识别证据,并在此基础上加入小目标的轨迹信息作为补充证据,以提高识别置信度。首先利用灰度和速度信息进行小目标识别,如果无法完成识别则将轨迹信息加入到证据当中,进行非平等的 D-S 证据融合。当增加的轨迹信息强烈支持速度或灰度信息的判决倾向时,本算法能显著提高空中红外小目标的识别能力。仿真结果表明,所研究的算法在不增加传感器数目的情况下能将识别置信度平均提高 125%。

关键词:小目标识别;红外目标;信息融合;D-S 证据

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

IR small target recognition in sky background based on information fusion

CHEN Mou, TAN Xiao-yu, JIANG Chang-sheng

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: For the difficulty of recognizing infrared small targets in sky backgrounds and its low recognition reliability, an improved method based on the unfair D-S evidential theory for small target recognition is presented combined with the previous methods. To improve the recognition confidence degree, the velocity and gray information of small targets is regarded as the major evidence, and the track information of the targets is treated as the supplement evidence. The proposed algorithm firstly recognizes the small target by using the velocity and gray information. If the targets cannot be recognized only by using the velocity and gray information, the target track information should be added into the fusion evidences to complete the fusion by the unfair D-S evidence method. If the added target track information can strongly support the decision of target velocity or target gray, the proposed algorithm can evidently improve the recognition reliability of infrared small targets in sky backgrounds. The simulation results show that recognition confidence degrees are raised by 125% without adding new sensors.

Key words: small target recognition; infrared target; information fusion; D-S evidence

收稿日期:2008-07-28;修订日期:2009-09-24.

基金项目:航空科学基金项目(No. 20075152014);江苏省自然科学基金项目(No. BK2008390)

1 引 言

目标自动识别(Automatic Target Recognition, ATR)技术一直是军用指挥自动化系统的研究重点与热点^[1-5]。随着远程打击武器和超视距攻击技术的发展,要求在目标与传感器的距离较远的时候,即小目标阶段,就能正确识别目标以便进行有效地防御和攻击^[1-14]。此时红外图像传感器获得的图像序列经过检测阶段的预处理之后,得到的仅是一些点状物体,这些点状物可能是真实目标,也有可能是虚假目标或随机干扰。如何从众多点状物中识别出真实的目标,是目前研究的重点,也对后续的目标捕获和跟踪尤为关键^[7-14]。

由于点目标所含信息较少,只凭借于单一的红外图像传感器所获得的图像序列将很难进行识别。因此目前主要是将多传感器得到的小目标灰度和速度信息进行融合,增强信息的互补性,以提高识别能力。文献[1]对证据组合公式进行改进,并将多帧图片进行像素级融合。文献[2]将雷达图片所获得的小目标运动信息相融合,从而实现小目标的识别。文献[3]将不同红外图像传感器得到的小目标灰度和速度信息分别进行融合,分步实现小目标识别。文献[4]研究了一种基于模糊理论与 D-S 证据理论的红外小目标与诱饵识别算法。文献[5]针对小目标提出了一种序列星图中目标运动轨迹的提取算法。文献[6]研究了红外弱小目标实时检测跟踪系统的硬件设计方法。文献[7-14]分别研究了不同的红外弱小目标的检测与识别算法。

本文结合已有的信息融合方法,将小目标的灰度、速度信息作为主要识别依据,并在此基础上加入轨迹信息作为补充依据,在使用基本 D-S 证据分别融合了多传感器的灰度和速度信息后如果仍无法完成识别,采用改进的证据组合公式,将轨迹信息加入证据进行非平等的 D-S 证据信息融合,提高识别能力。

2 小目标速度、灰度和轨迹信息

图像序列经过检测阶段的预处理之后,得到

的空中点状物体一般是以下 4 类^[3]:真实目标、伴随诱饵、随机干扰和红外辐射星体。如以图像左下角的顶点为原点,下边界为 x 轴,左边界为 y 轴,取轨迹的起点和终点的坐标为 $(x_{\text{start}}, y_{\text{start}})$ 和 $(x_{\text{end}}, y_{\text{end}})$ 以及检测帧数 f ,便可计算出两个方向的平均运动速度 $V_x = |x_{\text{end}} - x_{\text{start}}|/f$ 和 $V_y = |y_{\text{end}} - y_{\text{start}}|/f$,从而得到目标速度 $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$ pixel/frame。实际经验表明,大多数情况下真实目标和伴随诱饵的速度比较近似,而它们的速度低于随机干扰的速度,但高于红外辐射星体的速度。因此可以利用速度对目标进行第一次分类,以除去随机干扰和红外辐射星体^[3]。

同时,作为有规律运动的目标,真实目标和伴随诱饵在序列图像上的轨迹较为平滑,而随机干扰的轨迹较为杂乱,红外辐射星体几乎没有轨迹。图像正立时,取某一目标在序列图像上的起点和终点,同样以图像左下角的顶点为原点,下边界为 x 轴,左边界为 y 轴,作一条直线 $y = kx + b$,其中 k 为斜率, b 为直线在 y 轴上截距。计算目标轨迹上各个点 $(x_i, y_i), i = 1, \dots, n$ 到这条直线的平均距离的平方,即轨迹离散度 d^2 :

$$d^2 = \frac{\sum_{i=2}^{n-1} \frac{(ky_i - k^2x_i - bk)^2 + (kx_i + b - y_i)^2}{(k^2 + 1)^2}}{n - 2} \quad (1)$$

一般说来在拍摄时间 < 1 s 时,远距离拍摄的真实目标和伴随干扰的轨迹接近直线,其 d^2 大于红外辐射星体而小于随机干扰。因此也可以利用轨迹离散度对目标进行第二次分类,以除去随机干扰和红外辐射星体等虚假目标。

对于那些空中具有动力源的真实目标,由于它们本身的温度一般高于背景和周围其它物体(如机体的典型温度在 350 K 左右),表面温度差异有 5 K 以上^[3]。设同一目标在两个不同波段的红外图像中的平均灰度为 $\overline{G_1}$ 和 $\overline{G_2}$,其比值为 $\overline{G_2}/\overline{G_1}$ 。设有 n 个小目标,则不同小目标的灰度比为^[3]:

$$r_i = \frac{\overline{G_2}}{\overline{G_1}}(T_i) / \frac{\overline{G_2}}{\overline{G_1}}(T_{\min}) \quad (2)$$

式中 $\overline{G_2}/\overline{G_1}(T_{\min})$ 为同一传感器中平均灰度最低的小目标的平均灰度比; $\overline{G_2}/\overline{G_1}(T_i)$ 为同一传感

器中第 $i(1 \leq i \leq n)$ 个小目标的平均灰度比。根据温度不同导致双波段的辐射比不同来检测目标, 可以将真实目标和伴随诱饵区分开。

伴随诱饵由于不具动力源, 会因为重力的影响下降, 垂直速度增加。同时由于空气阻力的原因, 水平速度会减慢。对求取轨迹离散度时所得直线 $y=kx+b$, 将其 x 轴与水平线平行对准得到直线方程, 新的斜率 k' 为:

$$k' = \begin{cases} \tan(\arctan k + \theta) & \text{水平线较图像下边界顺时针转动} \\ \tan(\arctan k - \theta) & \text{水平线较图像下边界逆时针转动} \end{cases} \quad (3)$$

在速度相近、运动方向相同时, 在大多数情况下, 真实目标轨迹的斜率与伴随诱饵轨迹斜率不同。若真实目标从左向右运动, 则真实目标的 k_1' 大于伴随诱饵的轨迹 k_2' 。若真实目标从右向左运动, 则真实目标的 k_1' 小于伴随诱饵的轨迹 k_2' 。令轨迹角度差 $s = \arctan(|k_1' - k_2'|)$, 从而可利用轨迹角度差来识别目标。

3 基于小目标速度、灰度和轨迹信息的非平等 D-S 证据融合

红外图像传感器获取取得空中小目标信息主要是灰度信息和运动信息, 其中速度信息受拍摄条件的影响较小, 可作为识别小目标的主要依据。而小目标的轨迹信息受拍摄条件的影响较大。随着小目标和传感器的相对位置变化或在拍摄过程中存在抖动, 拍摄同一目标的轨迹也会有所不同。因此小目标的轨迹信息不能作为识别小目标的主要依据, 但它在某些时候可以作为主要依据的一种补充, 称为补充证据。本文中, 当利用小目标的速度和灰度信息无法识别时, 加入轨迹信息, 增加信息量, 可扩大识别范围。

3.1 Dempster-Shafer 证据理论^[3-4]

设 U 表示 X 所有可能取值的一个论域集合, 且所有在 U 内的元素间是互不相容的, 则称 U 为 X 的识别框架。

定义 1^[15]: 设 U 为一识别框架, 则函数 $m: 2^U \rightarrow [0, 1]$ 在满足条件: $m(\phi) = 0$, $\sum_{A \subset U} m(A) = 1$ 时,

称 $m(A)$ 为 A 的基本概率赋值。 $m(A)$ 表示对命题 A 的精确信任程度, 表示了对 A 的直接支持。

定义 2^[15]: 设 m_1 和 m_2 是同一识别框架 U 上的两个基本概率赋值, 焦元分别为 A_1, \dots, A_k 和 B_1, \dots, B_k , 则:

$$m(C) = \begin{cases} \frac{\sum_{A_i \cap B_j = C} m_1(A_i) m_2(B_j)}{1 - K_1}, & \forall C \subset U \quad C \neq \phi, \\ 0, & C = \phi \end{cases} \quad (4)$$

$$K_1 = \sum_{A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i) m_2(B_j) < 1. \quad (5)$$

在前述两个定义的基础上, 基于 D-S 证据理论的信息融合一般过程可简要概括为如下^[3]: 首先, 根据各传感器检测到的信息分别计算基本概率分配。然后, 利用 D-S 证据合成公式, 求得两个传感器共同作用下的基本概率分配; 在一定的传感器组合结构下, 求得多个传感器共同作用下的基本概率分配。最后, 在决策规则下选择具有最大支持度的假设判决。本文中, 对于同一类型的证据, 对不同传感器得到的基本概率分配进行 D-S 证据融合; 对于不同类型的证据, 则需要考虑证据间的相互关系, 选择相应的融合方法。

3.2 非平等 D-S 证据融合

使用基本的 D-S 证据融合时, 是将各条证据看作相互平等的。因此, 在产生证据冲突时认为无法判决, 需要舍弃冲突部分。本文中由于轨迹信息随机性较强, 不能作为判决的主要依据, 有时甚至会造成错误的判决。因此当主要证据和补充证据冲突时可分两种情况处理。若冲突严重, 即判决偏向不一致时, 则不进行融合, 按照主要证据的基本概率赋值判决; 若冲突不严重, 则不能简单地舍弃冲突的部分, 而是要将冲突加以分配。冲突分配时, 要考虑补充依据不能对最终判决产生过大的影响, 补充信息对主要信息起的仅是一种“有限支持”的作用。因此在本文中, 当将轨迹信息与速度或灰度信息进行融合时, 不能直接采用经典的 D-S 证据融合, 需要对其加以改进。

由于 m_1 和 m_2 是同一识别框架 U 上的两个基本概率赋值且焦元分别为 A_1, \dots, A_k 和 B_1, \dots, B_k , 定义:

$$m'(C_i) = \sum_{\substack{j=1 \\ A_i \cap B_j = C_i}}^k m_1(A_j)m_2(B_j) + \sum_{\substack{j=1 \\ A_i \cap B_j = C_i}}^k m_1(A_j)m_2(B_i) - m_1(A_i)m_2(B_i), i = 1, \dots, k. \quad (6)$$

显然 $m'(C_i)$ 反映了完全支持融合后各个焦元的基本概率赋值。将 m_1 设立为主要证据的基本概率赋值, 设定证据关系因子 $p, 0 < p < 1$ 。 p 越大, 两条证据越平等。当 $p=1$ 时, 即变成了基本的 D-S 证据融合。由 p 计算出冲突判决系数。

$$\bar{f} = \frac{m'(C_n)}{\sum_{i=1}^k m'(C_i)} \times p, \quad (7)$$

其中 $m'(C_n) = \max_{i=1, \dots, k} m'(C_i)$ 。

非平等 D-S 融合公式为:

$$m(C_n) = m'(C_n) + \left(\sum_{\substack{j=1 \\ A_i \cap B_j = \phi}}^k m_1(A_n)m_2(B_j) + \sum_{\substack{j=1 \\ A_i \cap B_j = \phi}}^k m_1(A_j)m_2(B_n) \right) \times \bar{f}, \quad (8)$$

$$m(C_i) = m'(C_i) + \frac{(1 - m(C_n) - \sum_{i=1}^k m'(C_i) + m'(C_n)) \times m'(C_i)}{\sum_{i=1}^k m'(C_i) - m'(C_n)}, \quad i = 1, \dots, k \text{ 且 } i \neq n. \quad (9)$$

由(8)式和(9)式可知, 两条证据在进行非平等 D-S 证据融合时, 只有在补充证据强烈支持主要证据目前的判决倾向时, 才会明显提高主要证据的判决能力。因此当小目标的速度信息和轨迹离散度或灰度信息与轨迹角度差融合时, 选取轨迹信息作为补充依据进行融合。当轨迹信息强烈支持速度或灰度信息的判决倾向时, 就会明显提高系统的判决能力。

4 红外双波段图像中的小目标融合识别研究实例

根据证据理论的信息积累特点, 根据文献 [3] 可以给出一个多传感器目标信息融合识别的

串行结构, 如图 1 所示。其中 IRS_1 、 IRS_2 、 IRS_3 为 3 个红外成像传感器, 且 IRS_1 和 IRS_3 为同一波段的红外成像传感器, IRS_2 为另一波段的红外成像传感器。 IRS_1 、 IRS_2 和 IRS_3 在分别接收到各自检测的 Y_1 、 Y_2 和 Y_3 后都对目标的类别属性提出置信度。首先将 IRS_1 提出信任度 U_1 与 IRS_2 提出的信任度相融合, 得到 U_2 。然后, 再将 U_2 与 IRS_3 提出的信任度相融合得到 U_3 。最后由 U_3 做出全局判决。随着后续传感器信息的不断加入, 系统判决的可信度将不断提高。克服了单个传感器由于对目标提供的信息太少而使得目标识别的可靠性差的缺陷, 使提高红外图像序列中的弱小目标的信度成为可能。

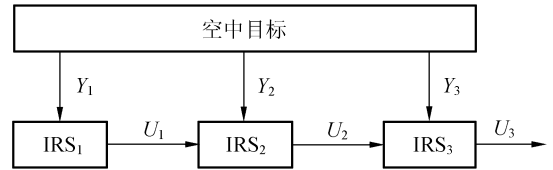


图 1 多传感器目标信息融合识别的串行结构^[3]
Fig. 1 Serial configuration of target information fusion recognition using multi-sensor

将原来的辨识框架 $\{T, D, S, N\}$ 划分成两个层次的辨识框架: $\Theta_1 = \{TD, S, N\}$ 、 $\Theta_2 = \{T, D\}$, 其中 TD 是目标或诱饵。首先, 将速度作为主要依据, 轨迹离散度作为补充依据, 对第一个辨识框

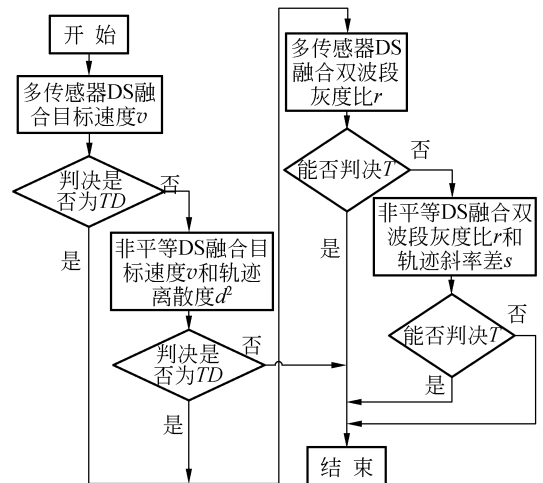


图 2 小目标识别流程图
Fig. 2 Flowchart of small target recognition

架中的物体进行第一次分类。若 TD 类中含有多于一个小目标。则以它们构成第二个辨识框架,再将灰度信息作为主要依据,轨迹斜率作为补充依据,进行再次分类。小目标的目标识别流程如图 2 所示。

本文在文献[1-14]所提供的相关数据的基础上进行小目标识别仿真。把点目标各类信息转换成证据可以依据的各类目标的先验知识和测量结果,通过基本概率分配来实现。本例中的速度证据的基本概率分配如表 1 所示^[3]。轨迹离散度证据的基本概率分配如表 2 所示。本文中,IRS₁、IRS₃ 的波长为 λ₁ = 3~ 5 μm, IRS₂ 的波长为 λ₂ = 8~ 12 μm,两个红外波段成像传感器所获得的图像双波段的平均灰度比之比证据的基本概率分配如表 3 所示^[3]。轨迹角度差证据的基本概率分

表 1 速度证据的基本概率分配^[3]

Tab.1 Basic probability assignment of velocity evidence

速度 (pixel/frame)	$m(\{TD\})$	$m(\{S\})$	$m(\{n\})$	$m(\{\overline{\Theta}_1\})$
0 < v ≤ 0.1	0.20	0.60	0.02	0.18
0.1 < v ≤ 0.2	0.30	0.40	0.04	0.26
0.2 < v ≤ 1.0	0.60	0.12	0.18	0.10
1.0 < v ≤ 1.2	0.30	0.06	0.60	0.04
v > 1.2	0.20	0.03	0.75	0.02

配如表 4 所示。设有 4 个点目标,各个传感器的速度与轨迹离散度检测结果如表 5 所示。

表 2 轨迹离散度证据的基本概率分配

Tab.2 Basic probability assignment of track dispersion evidence

轨迹离散度 d^2	$M(\{TD\})$	$m(\{S\})$	$m(\{n\})$	$m(\{\overline{\Theta}_1\})$
0 < d ² ≤ 0.5	0.20	0.60	0.03	0.17
0.5 < d ² ≤ 5	0.70	0.20	0.02	0.08
d ² > 5	0.2	0.03	0.7	0.07

表 3 双波段的平均灰度比之比证据的基本概率分配

Tab.3 Basic probability assignment of average gray ratio evidence in two-waveband

双波段的平均灰度比之比 r	$m(\{T\})$	$m(\{D\})$	$m(\{\overline{\Theta}_2\})$
r ≤ 1.05	0.30	0.45	0.25
1.05 < r ≤ 1.10	0.55	0.35	0.10
r > 1.10	0.75	0.20	0.05

表 4 轨迹角度差证据的基本概率分配

Tab.4 Basic probability assignment of track angle difference evidence

轨迹角度差 s	$m(\{T\})$	$m(\{D\})$	$m(\{\overline{\Theta}_2\})$
s ≤ 15	0.4	0.4	0.20
15 < s ≤ 40	0.65	0.25	0.10
s > 40	0.75	0.15	0.1

表 5 传感器速度和轨迹离散度检测结果

Tab.5 Detection results of sensor velocity and track dispersion

信息类型	点目标											
	点目标 1			点目标 2			点目标 3			点目标 4		
传感器编号	IRS ₁	IRS ₂	IRS ₃	IRS ₁	IRS ₂	IRS ₃	IRS ₁	IRS ₂	IRS ₃	IRS ₁	IRS ₂	IRS ₃
v	0.10	0.12	0.09	0.19	0.23	0.21	0.22	0.23	0.21	0.22	0.23	0.22
d ²	0.30	0.26	0.31	1.45	1.57	1.80	1.92	1.56	1.70	2.30	2.10	2.15

决策规则如下:设 ∃ A₁, A₂ ⊂ U, m(A₁) = max{m(A_i), A_i ⊂ U}, m(A₂) = max{m(A_i), A_i ⊂ U 且 A_i ≠ A₁}。同时满足 m(A₁) - m(A₂) > ε₁, m(U) < ε₂, m(A₁) > m(U) 时, A₁ 即为判决结果,其中 ε₁ 和 ε₂ 为预先设定门限。

对于第一次分类:根据经验选取 ε₁ = 0.80 和 ε₂ = 0.1,关系因子 p = 0.8,采用“无轨迹信息的基本 D-S 证据融合”、“加入轨迹信息的基本 D-S

证据融合”和本文方法融合,其判决结果如表 6 所示。

由表 6 中对目标 1 和 2 的识别结果可见,在加入了轨迹信息后,置信度平均提高了 113%,使原来无法判决的小目标得到判决,因而扩展了小目标识别的范围。而对目标 3 和 4 而言,在已经可以判决的情况下,本文的方法无需再将补充信息加入原有信息融合,以提高算法的实时性。

表 6 第一次分类融合和判决结果

Tab.6 Fusion and decision results of the first classification

识别方法	点目标	$m(\{TD\})$	$m(\{S\})$	$m(\{n\})$	$m(\{\Theta_1\})$	判决结果
不加入轨迹信息的基本 D-S 证据融合	点目标 1	0.151 7	0.823 2	0.007 5	0.017 6	无法判决
	点目标 2	0.837 2	0.090 4	0.064 4	0.008 0	无法判决
	点目标 3	0.915 4	0.025 8	0.056 1	0.002 7	TD
	点目标 4	0.915 4	0.025 8	0.056 1	0.002 7	TD
加入轨迹信息的基本 D-S 证据融合	点目标 1	0.021 6	0.977 9	0.000 3	0.000 2	红外星体
	点目标 2	0.994 5	0.005 3	0.000 2	0.000 0	TD
	点目标 3	0.998 4	0.001 4	0.000 1	0.000 0	TD
	点目标 4	0.998 4	0.001 4	0.000 1	0.000 0	TD
本文方法	点目标 1	0.065 5	0.932 9	0.000 4	0.000 3	红外星体
	点目标 2	0.954 9	0.043 7	0.000 3	0.000 0	TD
	点目标 3	0.915 4	0.025 8	0.056 1	0.002 7	TD
	点目标 4	0.915 4	0.025 8	0.056 1	0.002 7	TD

各个传感器对目标 2、3 和 4 的灰度、角度差检测结果如表 7 所示。对于第二次分类:同样选取 $\epsilon_1=0.80, \epsilon_2=0.1$, 关系因子 $p=0.8$, 采用“无轨迹信息的基本 D-S 证据融合”、“加入轨迹信息的基本 D-S 证据融合”和本文方法融合与判决结果如表 8 所示。

表 7 传感器对目标 2、3、4 的灰度和角度差检测结果

Tab.7 Sensor detection results of gray and angle difference for targets 2, 3 and 4

信息类型	点目标					
	点目标 2、3			点目标 3、4		
传感器编号	IRS ₁	IRS ₂	IRS ₃	IRS ₁	IRS ₂	IRS ₃
r	1.09	1.06	1.07	1.07	1.08	1.06
s	23.9	27.5	21.7	14.8	15.6	15.2

由表 8 中对目标 2 和 3 的识别结果可见,在加入了补充信息(轨迹角度差)后,对原有的主要信息(双波段的平均灰度比)进行了“有限支持”,置信度平均提高了 130%,扩展了小目标识别的范围。可以判断出小目标 2 为真目标,可信度为 91.09%。小目标 3 为真目标的可信度为 8.91%,所以它为小目标 2 的伴随诱饵。对目标 3 和 4 而言,主要依据(双波段的平均灰度比)的判决倾向较弱,此时的补充依据(角度差证据)的概率分布为: 0.831 7, 0.162 6, 0.005 7, 补充依据的判决倾向也不够强,补充依据不能绝对支持主要依据的判决倾向。此时不能判决,需要加入其它传感器。若使用基本的 D-S 证据融合可能造成误判,而用本文方法可以得到更符合实际的融合结果。

表 8 第二次分类融合和判决结果

Tab.8 Fusion and decision results of the second classification

识别方法	点目标	$m(\{T\})$	$m(\{D\})$	$m(\{\Theta_2\})$	判决结果
不加入轨迹信息的基本 D-S 证据融合	点目标 2、3	0.750 2	0.247 1	0.002 7	无法判决
加入轨迹信息的基本 D-S 证据融合	点目标 3、4	0.618 6	0.374 7	0.006 7	无法判决
本文方法	点目标 2、3	0.967 4	0.032 6	0.000 0	可以判决
	点目标 3、4	0.937 5	0.062 5	0.000 0	可以判决
本文方法	点目标 2、3	0.910 9	0.089 1	0.000 0	可以判决
	点目标 3、4	0.867 1	0.132 9	0.000 0	无法判决

5 结 论

本文结合已有的信息融合手段,在小目标的灰度和速度信息的基础上加入轨迹信息作为补充信息,在利用灰度和速度信息后仍无法识别的情

况下,采用改进的证据组合公式,将轨迹信息加入证据进行融合,提高了识别能力。仿真结果表明,本文算法在不增加传感器数目的情况下较好地提高了小目标识别的能力,扩展了识别范围,使判决结果更符合实际情况。

参考文献:

- [1] 杜峰,施文康. 红外小目标的证据理论识别方法[J]. 光电工程, 2005, 32(8): 6-8.
DU F, SHI W K. Recognition of small infrared objects with evidence theory [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, 32(8): 6-8. (in Chinese)
- [2] 侯志强,李鸿艳,韩崇昭,等. 基于雷达与图像信息融合的目标跟踪仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1831-1834.
HOU ZH Q, LI H Y, HAN CH ZH, *et al.*. Simulation study on target tracking by using radar and image detection information fusion [J]. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(8): 1831-1834. (in Chinese)
- [3] 李秋华,李吉成,沈振康,等. 一种基于 D-S 证据理论的红外小目标融合识别方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(6): 25-27.
LI Q H, LI J CH, SHEN ZH K, *et al.*. IR small target recognition based on the D-S Evidential theory [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2002, 24(6): 25-27. (in Chinese)
- [4] 肖利平,杨嘉伟. 一种基于模糊理论与 D-S 证据理论的红外小目标与诱饵识别算法[J]. 红外技术, 2005, 27(3): 240-244.
XIAO L P, YANG J W. An algorithm of infrared small targets and decoys recognition based on fuzzy theory and D-S evidence theory [J]. *Infrared Technology*, 2005, 27(3): 240-244. (in Chinese)
- [5] 张春华,陈标,周晓东. 运动背景星空图像中小目标的运动轨迹提取算法[J]. 光学精密工程, 2008, 16(3): 524-530.
ZHANG CH H, CHEN B, ZHOU X D. Small target trace acquisition algorithm for sequence star images with moving background [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(3): 524-530. (in Chinese)
- [6] 王广平,许廷发,倪国强,等. 多 ADSP-TS201 红外弱小目标实时检测跟踪系统的硬件设计[J]. 光学精密工程, 2007, 15(8): 1275-1279.
WANG G P, XU T F, NI G Q, *et al.*. Hardware design of infrared dim target real time detection and tracking system based on multiple ADSP-TS201S [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(8): 1275-1279. (in Chinese)
- [7] 张蓉,陈兴无,卓红艳,等. 空中红外运动点目标检测算法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(5): 472-475.
ZHANG R, CHEN X W, ZHUO H Y, *et al.*. Detection algorithm for moving infrared point target in the sky [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(5): 472-475. (in Chinese)
- [8] 彭嘉雄,周文琳. 红外背景抑制与小目标分割检测[J]. 电子学报, 1999, 27(12): 47-51, 8.
PENG J X, ZHOU W L. Infrared background suppression for segmenting and detecting small target [J]. *Acta Electronica Sinica*, 1999, 27(12): 47-51, 8. (in Chinese)
- [9] 何伟,晋兆虎,张玲. 一种改进的利用背景检测弱小目标的方法[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(7): 64-66.
HE W, JIN ZH H, ZHANG L. Improved method of small weak targets detection based on background [J]. *Journal of Chongqing University (Natural Science Edition)*, 2005, 28(7): 64-66. (in Chinese)
- [10] 尹超,向健勇,韩建栋. 一种基于区域背景预测的红外弱小目标检测方法[J]. 红外技术, 2004, 26(6): 62-65.
YIN CH, XIANG J Y, HAN J D. Weak and small infrared targets detection based on background prediction [J]. *Infrared Technique*, 2004, 26(6): 62-65. (in Chinese)
- [11] 卓宁,孙华燕,张海江. 红外图像中弱小目标检测算法概述[J]. 光学仪器, 2005, 27(4): 83-86.
ZHUO N, SUN H Y, ZHANG H J. Algorithm surveys on small target detection in infrared image [J]. *Optical Instruments*, 2005, 27(4): 83-86. (in Chinese)
- [12] 谭晓宇,陈谋,姜长生. 改进动态规划算法在小目

标检测中的应用[J]. 光电工程, 2008, 35(5): 23-27.

TAN X Y, CHEN M, JIANG CH SH. Applications of improved dynamic programming algorithm in small targets detection [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2008, 35(5): 23-27. (in Chinese)

[13] 唐莹, 田金文, 柳健. 红外序列图像点目标检测的一种方法[J]. 华中科技大学学报, 2001, 29(4): 4-6.

TANG Y, TIAN J W, LIU J. A method for the point target detection in the infrared image sequences [J]. *Journal of Hua Zhong University*

of Science and Technology, 2001, 29(4): 4-6. (in Chinese)

[14] 张彩梅, 张启衡. 图像序列中运动弱小目标的检测[J]. 光电工程, 2004, 31(3): 44-46.

ZHANG C M, ZHANG Q H. Detection of moving small target in image sequence [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, 31(3): 44-46. (in Chinese)

[15] SHAFER G. *A Mathematical Theory of Evidence* [M]. Princeton: Princeton University Press, 1976.

作者简介:



陈 谋(1975—),男,四川蓬安人,博士,副教授,硕士生导师,1998年于南京航空航天大学获得学士学位,2004年于南京航空航天大学获得博士学位,主要从事非线性系统控制、图像处理与模式识别、火力控制等方面的研究。E-mail: chenmou@nuaa.edu.cn



姜长生(1942—),男,南京六合人,教授,博士生导师,1964年于南京航空航天大学获得学士学位,1968年于南京航空航天大学获得硕士学位,主要从事非线性系统控制和火力控制等方面的研究。E-mail: jiangcs@nuaa.edu.cn



谭晓宇(1983—),男,江苏盐城人,硕士,2005年于南京航空航天大学获得学士学位,2008年于南京航空航天大学获得硕士学位,主要从事图像处理与目标检测研究。E-mail: txy356@163.com

●下期预告

用于大功率激光二极管列阵的硅基微通道热沉研制

杨 涛,何 叶,刘婷婷

(西南科技大学 信息工程学院,四川 绵阳 621010)

二极管激光器的散热对于提高其寿命和波长稳定性具有重要的意义。为了提高大功率激光二极管列阵的散热效率,研制了一种屋脊式硅基微通道热沉,该微通道热沉具有封装集成度高的优点。将田口稳健设计方法用于微通道热沉的优化设计,利用正交试验和信噪比分析并实现了参数的稳健优化。以(110)单晶硅作为基片,采用KOH各向异性刻蚀和硅-玻璃-硅三层阳极键合方法制作出了通道宽度约为 $50\ \mu\text{m}$ 的微通道热沉,通道壁面粗糙度优于 $0.1\ \mu\text{m}$ 。采用激光二极管芯片对样品进行了封装和测试,利用砷化镓激光波长的温度漂移系数估算出了中间激光二极管的有源区温升,从而计算出热沉的热阻。测试结果表明,该微通道热沉的单位面积热阻约为 $0.070\ \text{K}\cdot\text{cm}^2/\text{W}$,与有限元分析结果基本一致。