

# 基于 DHGF 算法的激光线扫描成像引信目标识别方法

郑震, 查冰婷, 张合

南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 江苏 南京 210094

**摘要** 为了解决目前目标识别方法应用平台难以实现小体积、低成本的问题, 利用线扫描完成激光引信的探测成像, 得到了 DHGF 算法的样本矩阵, 建立了基于激光线扫描成像引信的四元评价算法对典型目标的识别模型。该模型使用德尔菲法确定目标轮廓相似度指标集; 采用层次分析法确定指标权重分配; 运用灰色系统理论确定评价灰类, 得到单因素模糊评判矩阵; 通过模糊数学理论得出目标识别的评价结果。该算法克服了在小样本数据的情况下, 目标识别过程中的模糊性、不确定性等问题, 并完成了对典型目标的仿真。仿真结果表明: 该算法具备对典型目标的识别能力, 可为激光扫描成像引信目标识别提供参考。

**关键词** 测量; 目标识别; 激光引信; DHGF 算法; 灰色系统理论; 模糊数学理论

中图分类号 TJ43+9.2

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201845.0704004

## Target Recognition Method of Laser Line Scanning Imaging Fuze Based on DHGF Algorithm

Zheng Zhen, Zha Bingting, Zhang He

ZNDY of Ministerial Key Laboratory, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China

**Abstract** Current target recognition method application platform is difficult to achieve small size and low cost, the detection imaging of the laser fuze is obtained by the line scanning. The sample matrix of the DHGF algorithm is obtained, and a quaternary evaluation algorithm based on laser line scanning imaging fuze is established for recognition model of typical target, which uses Delphi method to determine target contour similarity index set. Analytic hierarchy process (AHP) is adopted to determine the index weight distribution, and grey system theory is applied to determine evaluation gray level to get single factor fuzzy evaluation matrix. Fuzzy mathematics theory is applied to evaluate target recognition results. The algorithm overcomes the ambiguity and uncertainty in target recognition process in the case of small sample data. The simulation of a typical target is completed, and the simulation results show that the proposed algorithm has ability to recognize typical targets. The research can provide a reference to laser scanning imaging target recognition.

**Key words** measurement; target recognition; laser fuze; DHGF algorithm; grey system theory; fuzzy mathematics theory

**OCIS codes** 140.3538; 100.3008; 220.4830

## 1 引 言

激光引信具有体积小、抗干扰能力强、分辨率高等优点, 是目前近场探测的主要方式之一<sup>[1]</sup>。目前的目标识别算法一般是在大样本或服从典型概率分

布等条件下进行的, 但是在实际探测过程中, 参考目标信息之外的信息量很小, 目标识别过程中的灰度较大, 很难找到典型的概率分布规律, 对激光成像系统的计算处理速度、探测距离等要求很高, 因此目标识别功能大多应用于体积大、成本高、数据处理速度

收稿日期: 2018-01-08; 收到修改稿日期: 2018-02-21

基金项目: 国家自然科学基金(51709147)、中央高校基本科研业务费专项资金资助(309171B8805)、基础加强计划重点基础研究项目(2017-JCJQ-ZD-004)

作者简介: 郑震(1992—), 男, 博士研究生, 主要从事激光周向探测与目标反射特性方面的研究。

E-mail: Jeff\_GogoZHENG@163.com

导师简介: 查冰婷(1990—), 女, 讲师, 主要从事激光近程探测方面的研究。E-mail: zhabingting@163.com(通信联系人)

快、探测距离远的平台上。灰色理论在非大样本、典型概率模型未知的情况下依然适用,且在处理小样本数据时的计算量很小,因此对电路设计,尤其是对微处理器的要求很低,可以应用在低成本激光成像引信的近场探测上。

基于 Sobel、Prewitt、LoG 等的边缘检测方法是先针对图像中的小领域构造出边缘检测算子,然后进行相应的微分梯度运算,进而进行边界提取,因此抗噪能力差,计算量大。偏振成像方法虽然可以消除噪声,提高目标的识别效率,但该方法对光学设计的要求很高,成本较高。基于几何特征和图像特征的点云自适应拼接方法的稳定性与精度较差,且数据量巨大,对单片机要求较高<sup>[2-4]</sup>。DHGF 算法是将德尔菲法(Delphi)、层次分析法(AHP)、灰色关联理论(Grey)、模糊数学理论(Fuzzy)结合在一起形成的算法,它以灰色关联理论和模糊数学为基础,将定性的分析转换成定量的数学模型,DHGF 算法可以降低因灰色关联理论忽略系统内在联系而带来的误差,提高了目标的识别精度<sup>[5]</sup>。

为了满足激光成像引信小体积、低成本的设计要求,本文采用激光光线扫描方式完成探测成像,得到目标数据序列矩阵,采用灰色关联分析将序列矩阵转化成 DHGF 算法的分析数据序列,建立基于 DHGF 四元算法的目标识别方法模型,完成目标的识别过程,通过实例仿真验证该算法对典型目标的识别能力。

## 2 激光光线扫描成像引信目标识别模型的建立

### 2.1 激光光线扫描成像引信的工作原理

激光光线扫描成像引信探测模式是通过与弹体同轴的直流电机周期性转动完成一维的扫描过程,通过弹体与目标的相对飞行完成另一维的扫描,从而获得目标的二维图像。因为激光光线扫描成像引信的发射光束具有前倾角,因而时效性好。图 1 所示为激光光线扫描成像引信的探测图,目标的回波信号经光电探测器接收后,再经后续电路的放大和处理得到相应的距离值。在弹体飞行过程中,可以得到目标轮廓各点的距离值,其中横向扫描得到平行于扫描方向的目标截面的距离数据,如 AA'、BB'、CC' 等目标截面数据,电机完成一个周期后进入下一目标横截面的扫描,可以获得如 ABC、A'B'C' 等沿飞行方向的目标截面数据,从而完成纵向扫描<sup>[6-8]</sup>。

电机与弹体同轴,因此在电机转动过程中,激光

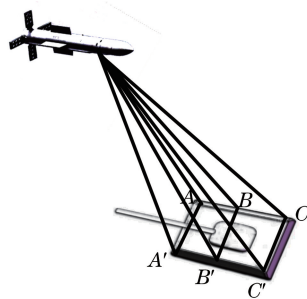


图 1 激光光线扫描成像引信探测图

Fig. 1 Detection figure of laser scanning imaging fuze

引信对目标的扫描方式为横向扫描,棱镜可以改变光路方向,电机带动  $N$  角棱镜旋转,则电机每转动  $360^\circ/N$  就完成一次横向扫描,得到目标探测的一个距离序列,此距离序列认定为目标横截面的折线序列,将此序列用向量表示为

$$\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \cdots \ x_n]^T, \quad (1)$$

式中:  $x_i$  为第  $i$  次扫描得到的距离点;  $n$  为电机在一个周期内扫描目标的次数。

设探测器探测的最远距离为  $L_{\max}$ ,扫描激光引信在距离目标  $L'$  的高空处对目标进行扫描,目标的长、宽、高分别为  $L$ 、 $W$ 、 $H$ 。

目标探测过程中各长度的关系如图 2 所示,得到目标探测的最小探测角为

$$\theta = \arccos\left(\frac{2L_{\max}^2 - W^2}{2L_{\max}^2}\right). \quad (2)$$

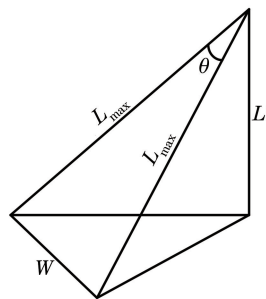


图 2 长度关系

Fig. 2 Length relationship

在整个探测过程中,电机带动探测器绕弹体轴方向转动,转动  $\theta$  角即可完成一个横截面的探测过程。

设电机的转速为  $n_d$ ,激光脉冲频率为  $f$ ,弹体的飞行速度为  $v$ (忽略目标的移动速度),反射棱镜为  $N$  角棱镜。则激光引信的纵向扫描次数,即纵截面目标轮廓折线序列个数为

$$n = \frac{\theta f}{360n_d/60} = \frac{f \arccos\left(\frac{2L_{\max}^2 - W^2}{2L_{\max}^2}\right)}{6n_d}. \quad (3)$$

随着弹体的飞行,目标在横向的扫描次数,即横

截面目标轮廓折线序列个数  $m$  为

$$m = \frac{LNn_d}{60v} \quad (4)$$

整个扫描过程一共得到  $m \times n$  个距离数据,表示成数据序列矩阵:

$$\mathbf{X}_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中,横向量为横扫描得到的横截面折线序列,列向量为纵向扫描得到的纵截面折线序列。

### 2.2 DHGF 样本数据计算

灰色关联分析的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断不同序列之间的联系是否紧密:

$$\rho_{ij} = \theta \epsilon_{ij} + (1 - \theta) r_{ij}, \theta \in [0, 1], \quad (6)$$

式中:  $\epsilon_{ij}$  为序列  $X_i$  与  $X_j$  的灰色绝对关联度,灰色绝

对关联度表示序列曲线变化速率的接近程度;  $r_{ij}$  为序列  $X_i$  与  $X_j$  的灰色相对关联度,灰色相对关联度表示序列曲线的相似程度;  $\rho_{ij}$  为序列  $X_i$  与  $X_j$  的综合关联度。一般情况下,  $\theta = 0.5$ , 如果是绝对关联度,即对数据的变化趋势更为关心,则  $\theta$  可适当取大一些,反之则取小一些<sup>[9-11]</sup>。

将序列矩阵(5)式中的横截面折线序列和纵截面折线序列,分别与提前储存于弹体上的参考目标的横截面折线序列信息、截面折线序列信息进行关联度计算,得到灰色关联序列  $C$ , 灰色关联序列由纵截面上和横截面上的综合关联度(共  $m+n$  个)组成:

$$C = \{\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n, \rho_{n+1}, \dots, \rho_{n+m}\}. \quad (7)$$

## 3 基于 DHGF 的目标识别算法

DHGF 算法在扫描式激光引信目标识别中的流程如图 3 所示。

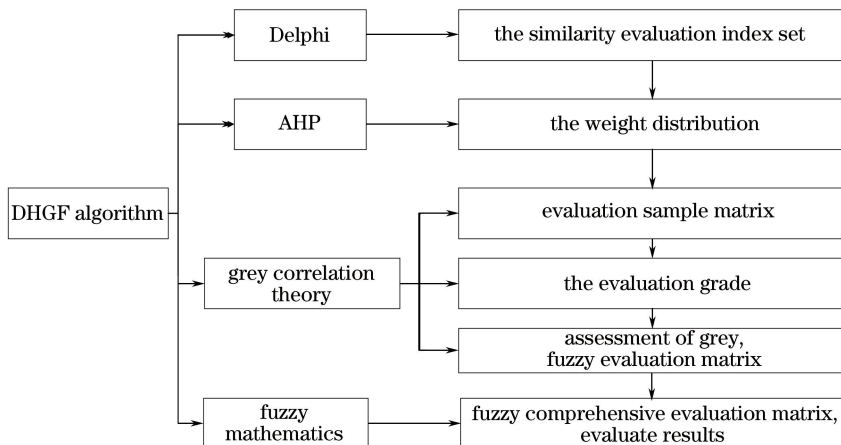


图 3 基于 DHGF 算法的目标识别流程

Fig. 3 Target recognition process based on DHGF algorithm

### 3.1 确定相似度评价指标集

使用德尔菲法设定由 5 个评价指标主体共同构成目标识别的评价指标,表示为  $\mathbf{V} = [V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4 \ V_5] = [1 \ 0.9 \ 0.8 \ 0.7 \ 0.6]$ , 其相对应的目标识别结果分别为:是目标、很像目标、像目标、不像目标、不是目标,当综合评价结果大于或等于 0.95 时,判定待识别目标为参考目标。

### 3.2 确定加权子集

采用层次分析法确定评价指标的权重。表 1 所示为目标识别评价指标体系。将激光引信的目标识别评价系统分为 3 层,即目标层、准则层和指标层。

一级因素构成的权重序列为  $\mathbf{W} = [W_1 \ W_2 \ W_3 \ W_4 \ W_5]$ , 且  $\sum_{i=1}^5 W_i = 1$ , 一级因素  $\mathbf{W}$  的大小由该一级因素所包含的二级因素占总

二级因素的比例决定的。二级因素的权重序列为

$$\mathbf{W}' = \left[ \frac{1}{q_i} \ \frac{1}{q_i} \ \frac{1}{q_i} \ \cdots \ \frac{1}{q_i} \right] (i = 1, 2, 3, 4, 5), \mathbf{W}'$$

中共有  $q_i$  个元素。

### 3.3 确定评估灰类

根据评价指标集,确定评估灰类为 5 类:  $\otimes = \{\otimes_1, \otimes_2, \otimes_3, \otimes_4, \otimes_5\} = \{0.95, 0.85, 0.75, 0.65, 0.55\}$ 。为确定评估灰类,建立 5 个灰度的隶属度函数如下。

1) 第一灰类,其隶属度函数为

$$f_1(\rho_i) = \begin{cases} 0, & \rho_i \in [-\infty, 0] \\ \frac{\rho_i}{0.95}, & \rho_i \in [0, 0.95] \\ 1, & \rho_i \in [0.95, +\infty] \end{cases} \quad (8)$$

表 1 目标识别评价系统  
Table 1 Target recognition evaluation system

Target layer	Criterion layer	Index layer	Weight distribution
Evaluation method	Grade a, $\rho_{ij} \in [0.95, 1]$	Containing $q_1$ data	$W_1 = q_1 / \sum_{i=1}^5 q_i$
	Grade b, $\rho_{ij} \in [0.85, 0.95]$	Containing $q_2$ data	$W_2 = q_2 / \sum_{i=1}^5 q_i$
	Grade c, $\rho_{ij} \in [0.75, 0.85]$	Containing $q_3$ data	$W_3 = q_3 / \sum_{i=1}^5 q_i$
	Grade d, $\rho_{ij} \in [0.65, 0.75]$	Containing $q_4$ data	$W_4 = q_4 / \sum_{i=1}^5 q_i$
	Grade e, $\rho_{ij} \in [0.55, 0.65]$	Containing $q_5$ data	$W_5 = q_5 / \sum_{i=1}^5 q_i$

2) 第二灰类,为上端级,其隶属度函数为

$$f_2(\rho_i) = \begin{cases} 0, & \rho_i \notin [0, 0.95] \\ \frac{\rho_i}{0.85}, & \rho_i \in [0, 0.85] \\ \frac{-\rho_i + 0.95}{0.95 - 0.85}, & \rho_i \in [0.85, 0.95] \end{cases} \quad (9)$$

$$A = \begin{bmatrix} f_1(\rho_1) & f_1(\rho_2) & \cdots & f_1(\rho_{n+m}) \\ f_2(\rho_1) & f_2(\rho_2) & \cdots & f_2(\rho_{n+m}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_5(\rho_1) & f_5(\rho_2) & \cdots & f_5(\rho_{n+m}) \end{bmatrix} \quad (13)$$

为了降低因灰色关联理论忽略系统内部联系而带来的误差,考虑二级因素的影响:

3) 第三灰类,为中间级,其隶属度函数为

$$f_3(\rho_i) = \begin{cases} 0, & \rho_i \notin [0, 0.85] \\ \frac{\rho_i}{0.75}, & \rho_i \in [0, 0.75] \\ \frac{-\rho_i + 0.85}{0.85 - 0.75}, & \rho_i \in [0.75, 0.85] \end{cases} \quad (10)$$

$$d_1^l = W_1^l f_l(\rho_i) = \begin{bmatrix} 1/q_1 \\ 1/q_1 \\ \vdots \\ 1/q_1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_l(\rho_1) \\ f_l(\rho_2) \\ \vdots \\ f_l(\rho_{q_1}) \end{bmatrix} \quad (14)$$

同理可得到  $d_2^l, d_3^l, d_4^l, d_5^l (l=1, 2, 3, 4, 5)$ 。

得到的单因素模糊评判矩阵为

$$f_4(\rho_i) = \begin{cases} 0, & \rho_i \notin [0, 0.75] \\ \frac{\rho_i}{0.65}, & \rho_i \in [0, 0.65] \\ \frac{-\rho_i + 0.75}{0.75 - 0.65}, & \rho_i \in [0.65, 0.75] \end{cases} \quad (11)$$

$$R = \begin{bmatrix} d_1^1 & d_2^1 & d_3^1 & d_4^1 & d_5^1 \\ d_1^2 & d_2^2 & d_3^2 & d_4^2 & d_5^2 \\ d_1^3 & d_2^3 & d_3^3 & d_4^3 & d_5^3 \\ d_1^4 & d_2^4 & d_3^4 & d_4^4 & d_5^4 \\ d_1^5 & d_2^5 & d_3^5 & d_4^5 & d_5^5 \end{bmatrix} \quad (15)$$

### 3.5 计算模糊评判矩阵

将模糊权矩阵与单因素模糊评判矩阵进行复合运算,便可得到模糊综合评判矩阵为

$$B = WR = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5] \quad (16)$$

式中  $b_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$  为模糊评判得分。对矩阵  $B$  使用向量归一法进行数据标准化处理,即

$$b'_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^5 b_i} \quad (17)$$

得到综合评价结果  $Z = BV^T$ 。根据最大隶属度关系,当  $Z \geq 0.95$  时得到最终的评价结果:待识别目标为参考目标。

### 3.4 求出单因素模糊评判矩阵

计算出  $\rho_i$  隶属于第  $l$  灰类的评价等级的权  $f_l(\rho_i) (l=1, 2, 3, 4, 5; i=1, 2, \dots, n+m)$ , 得到评判矩阵:

## 4 验证与仿真

取电机转速为 2250 r/min,采用八角棱镜方案,激光脉冲频率为 18 kHz,引信平台距离目标的垂直高度  $L'=12$  m,激光引信的探测距离  $L_{\max}=15$  m,目标的长、宽、高分别为 8,5,3 m。弹体飞行速度  $v=150$  m/s,则根据(3)式和(4)式得到纵向和横向扫描次数分别为

$$n = \frac{f \arccos\left(\frac{2L_{\max}^2 - W^2}{2L_{\max}^2}\right)}{6n_d} = 25, \quad (18)$$

$$m = \frac{LNn_d}{60v} = 16, \quad (19)$$

共得到 41 个目标轮廓折线序列。

为验证算法的有效性,建立如图 4 所示的三维模型参考目标,记为参考目标 1,并建立如图 5 所示的待识别目标仿真模型,记为待识别目标 2,参考目标 1 与待识别目标 2 的区别在于:参考目标 1 的炮塔处为半卵型,而待识别目标 2 的炮塔为方形。

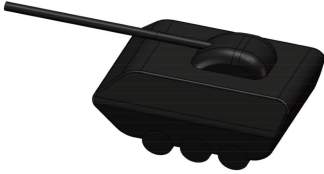


图 4 参考目标 1

Fig. 4 Reference target 1

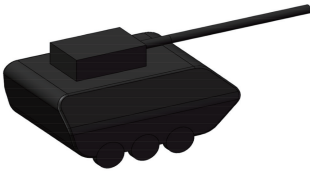


图 5 待识别目标 2

Fig. 5 Recognized target 2

### 4.1 参考目标的自身识别

该仿真项目的目的:模拟待识别目标为参考目标时的识别过程,并对算法进行验证,将激光线扫描得到的数据矩阵  $X_{ij}$  对应的行与列,分别与参考目标 1 的折线序列,即自身的横截面与纵截面折线序列进行灰色关联分析,得到  $m+n$  个综合关联系数,构成序列  $C$ 。

使用线性插值法将折线序列上的各点进行运算得到:  $|s_i - s_j| = \sum_{k=2}^{n-1} [X_i^0(k) - X_j^0(k)] + 0.5[X_i^0(n) - X_j^0(n)] \approx 0$ 。因而灰色绝对关联度

$\varepsilon_{ij} = \frac{1 + |s_i| + |s_j|}{1 + |s_i| + |s_j| + |s_i - s_j|} \approx 1$ 。  $|s'_i - s'_j| = \sum_{k=2}^{n-1} [X_i^0(k) - X_j^0(k)] + \frac{1}{2}[X_i^0(n) - X_j^0(n)] \approx 0$ , 因而灰色相对关联度  $r_{ij} = \frac{1 + |s'_i| + |s'_j|}{1 + |s'_i| + |s'_j| + |s'_i - s'_j|} \approx 1$ , 取  $\theta = 0.5$ , 得到灰色综合关联度:  $\rho_{ij} = \theta\varepsilon_{ij} + (1-\theta)r_{ij} \approx 1$ 。由此可得到 41 对有效的、基本重合的序列折线图,并且序列  $C$  的元素值(灰色综合关联度)皆为 1 或接近 1, 都在准则层的 a 级别内,对其进行 AHP 分析,将  $\rho_i$  进行等级隶属划分,得到的各等级的权重分配如表 2 所示。

表 2 各等级的权重分配

Table 2 Weight distribution of all levels

Criterion layer	Index layer	First weight distribution	Secondary weight distribution
Grade a	41	1	0.0244
Grade b	0	0	0
Grade c	0	0	0
Grade d	0	0	0
Grade e	0	0	0

因此一级因素权重为  $\mathbf{W} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ , 代入隶属度函数得到  $f_l(\rho_i) = f_1(\rho_i) = 1, f_l(\rho_i) = 0 (l=2,3,4,5)$ , 得到评判矩阵为

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

考虑到二级因素的影响,得到单因素模糊评判函数为

$$\mathbf{R} = \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (21)$$

因而  $\mathbf{B} = \mathbf{WR} = [1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ , 得到综合评价结果:  $Z = \mathbf{BV}^T = 1 > 0.95$ , 即待识别目标 2 为参考目标 1。

### 4.2 待识别目标 2 的识别过程

对待识别目标 2 与参考目标 1 的数据序列矩阵  $X_{ij}$  对应的行序列与列序列分别进行灰色关联分析, 即将待识别目标 2 的横截面和纵截面的折线序列分别与参考目标 1 的横截面和纵截面折线序列进行灰

色关联分析。在扫描过程中,得到参考目标 1 与待识别目标 2 横截面方向序列折线的扫描图变化趋势,如图 6 所示,得到参考目标 1 与待识别目标 2 纵截面方向序列折线的扫描图变化趋势,如图 7 所示。算法的运算时间相对于边缘扫描时间可忽略不计,

整个目标识别完成的总时间  $t$  为

$$t = \frac{L_1}{v_1} = \frac{8 \text{ m}}{150 \text{ m/s}} = 53.33 \text{ ms}, \quad (22)$$

式中: $L_1$ 为待识别目标的长度; $v_1$ 为弹目交汇的相对速度。

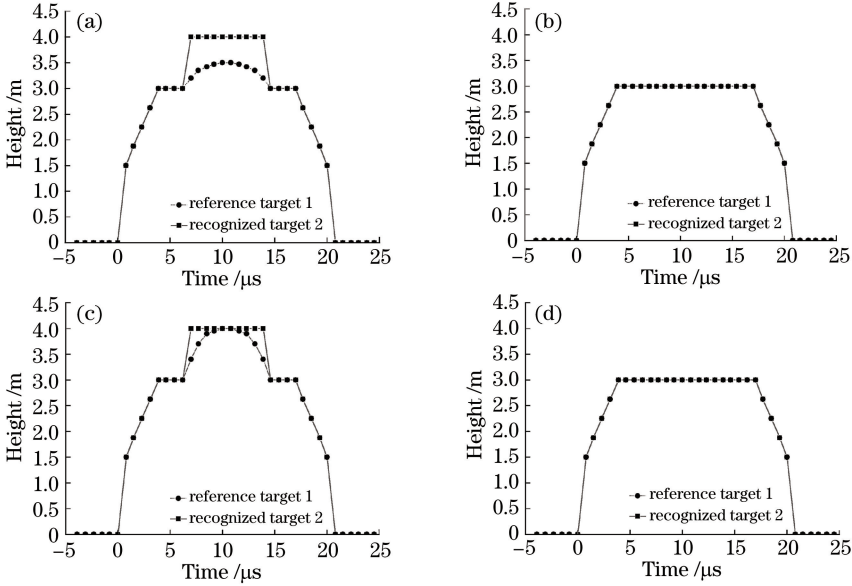


图 6 参考目标 1 与待识别目标 2 横截面方向的折线序列扫描图。(a)状态 a;(b)状态 b;(c)状态 c;(d)状态 d  
Fig. 6 Scanning polyline sequences of reference target 1 and recognized target 2 in cross-sectional direction.

(a) Status a; (b) status b; (c) status c; (d) status d

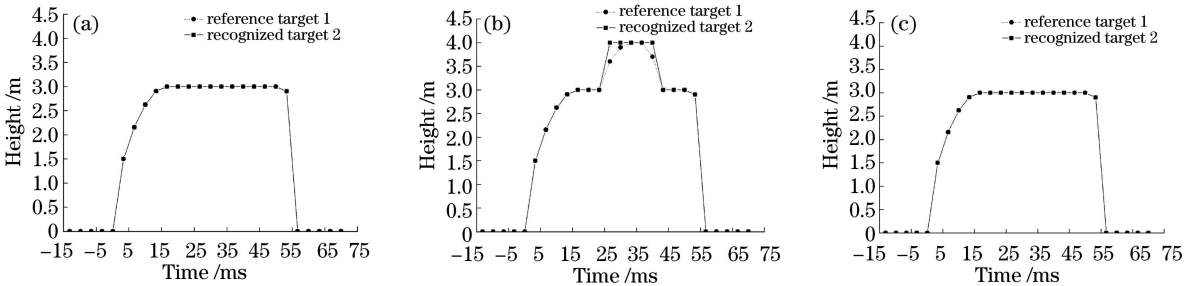


图 7 参考目标 1 与待识别目标 2 纵截面的方向折线序列扫描图。(a)状态 a;(b)状态 b;(c)状态 c

Fig. 7 Scanning polyline sequence of reference target 1 and recognized target 2 in longitudinal section direction.

(a) Status a; (b) status b; (c) status c

根据图 6 和图 7 的折线序列,通过灰色关联理论对横截面折线序列与纵截面折线序列进行分析计算,得到共 16 个有效的横截面灰色综合关联度和 25 个有效的纵截面灰色综合关联系数,如图 8 所示,对其进行 AHP 分析,将  $\rho_i$  进行等级隶属划分,得到权重分配如表 3 所示。

因此一级因素权重为  $\mathbf{W} = [0.7561 \ 0.2439 \ 0 \ 0]$ ,将其代入白化权函数,并考虑到二级因素的影响,得到单因素模糊评判矩阵:

表 3 各等级权重分配

Table 3 Weight distribution of all levels

Criterion layer	Index layer	First weight distribution	Secondary weight distribution
Grade a	31	0.7561	0.0323
Grade b	10	0.2439	0.1
Grade c	0	0	0
Grade d	0	0	0
Grade e	0	0	0

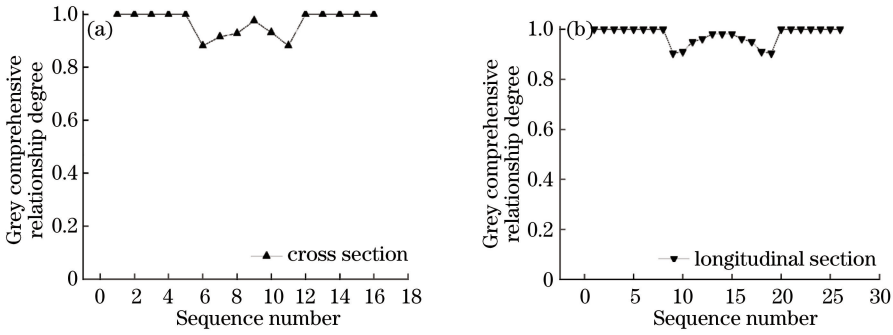


图 8 灰色综合关联度。(a)横截面方向;(b)纵截面方向

Fig. 8 Grey comprehensive relationship degree. (a) Cross-sectional direction; (b) longitudinal section direction

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.9537 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.44 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (23)$$

模糊综合评判矩阵  $B = [0.7561 \ 0.8284 \ 0 \ 0]$ , 进行归一化得到  $B' = [0.4772 \ 0.5228 \ 0 \ 0]$ , 得到最大隶属度  $Z = BV^T = 0.948 < 0.95$ , 因而评价结果为: 待识别目标 2 很像参考目标 1, 但不是参考目标 1。

## 5 结 论

针对激光扫描成像引信提出了一种基于典型目标的小样本快速识别算法。建立了基于 DHGF 的目标识别算法模型, 该算法模型使用德尔菲法确定目标轮廓相似度指标集; 使用层次分析法确定一级因素与二级因素的指标权重分配; 使用灰色理论确定评估灰类, 得到考虑了二级因素的单因素模糊评判矩阵, 减小了灰色关联分析因忽略数据内部联系而带来的误差; 使用模糊数学理论得出目标识别的评价结果。通过实例与仿真分析可知, 当系统采用八棱镜反射方案时, 所提算法只需扫描 41 对目标轮廓折线序列, 减小了引信体积, 降低了硬件与设计成本, 验证了所提算法对典型目标识别的有效性。采用该算法的激光成像引信具有电路要求低、体积小、成像质量高的优势, 适用于高速获取目标信息的应用场合。但该算法对脉冲激光频率的要求较高, 理论上, 在一定范围内, 频率越高, 算法的精度越高。

## 参 考 文 献

- [1] Wei B, Zheng L, Wang K Y, *et al.* A new method for detecting plane target by imaging in laser fuze[J]. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(1): 36-39. 魏斌, 郑链, 王克勇, 等. 一种激光引信成像探测新方法[J]. 光电工程, 2005, 32(1): 36-39.
- [2] Meng F, Xia Z H, Qiang Z J, *et al.* Edge detection algorithm of intensity image for laser active imaging[J]. Laser & Infrared, 2013, 43(10): 1192-1196. 孟飞, 夏朝辉, 强征捷, 等. 激光主动成像图像边缘检测算法研究[J]. 激光与红外, 2013, 43(10): 1192-1196.
- [3] Liu Y, Zhao G Z, Shen Y C. Polarization imaging detection based on the continuous terahertz wave[J]. Chinese Journal of Lasers, 2016, 43(1): 0111001. 刘影, 赵国忠, 申彦春. 连续太赫兹波偏振成像检测[J]. 中国激光, 2016, 43(1): 0111001.
- [4] Wu M Q, Li Z W, Zhong K, *et al.* Adaptive point cloud registration method based on geometric features and photometric features[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(2): 0215002. 伍梦琦, 李中伟, 钟凯, 等. 基于几何特征和图像特征的点云自适应拼接方法[J]. 光学学报, 2015, 35(2): 0215002.
- [5] Xu W X, Zhang Q S. Study on evaluation method for information system projects from qualitative analysis to quantitative analysis[J]. System Engineering—Theory & Practice, 2001, 21(3): 124-127. 徐维祥, 张全寿. 从定性到定量信息系统项目评价方法研究[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(3): 124-127.
- [6] Yan X W, Deng J H, Sun Z H. Modelling and simulation of laser imaging system based on linear array detection[J]. Transaction of Beijing Institute of Technology, 2010, 30(4): 456-459. 闫小伟, 邓甲昊, 孙志慧. 线阵扫描式激光成像探测系统建模与仿真[J]. 北京理工大学学报, 2010, 30(4): 456-459.
- [7] Vasile A N, Marino R M. Pose-independent automatic target detection and recognition using 3D laser radar imagery[J]. Lincoln Laboratory Journal, 2005, 15(1): 61-78.
- [8] Jin C F, Zhao Y, Zhang Y, *et al.* Experimental research on a scannerless 3D imaging laser radar[J].

- Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(6): 1383-1387.  
靳辰飞, 赵远, 张勇, 等. 一种无扫描三维成像激光雷达的实验研究[J]. 中国激光, 2009, 36(6): 1383-1387.
- [9] Andrew A M. Why the world is grey [J]. Grey Systems: Theory and Application, 2011, 1(2): 112-116.
- [10] Liu S F, Cai H, Yang Y J, *et al.* Advance in grey incidence analysis modelling [ J ]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2013, 33 ( 8 ): 2041-2046.
- 刘思峰, 蔡华, 杨英杰, 等. 灰色关联分析模型研究进展[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(8): 2041-2046.
- [11] Xiao Y S, Zhou J J, Liu S F, *et al.* Radar target recognition by high-resolution range profile based on gray system[J]. Control and Decision, 2011, 26(7): 1036-1040.
- 肖永生, 周建江, 刘思峰, 等. 基于灰色系统的雷达目标高分辨距离像识别[J]. 控制与决策, 2011, 26(7): 1036-1040.