

基于二阶不变矩的弹头痕迹自动比对 优化方法研究*

何成刚, 张燕平, 赵 姝

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 合肥 230039)

摘要: 在国内外对弹头痕迹比对方法的研究中,传统方法是通过显微镜肉眼观察,比对两个弹头上的线条型痕迹,看线条的粗细分布是否吻合,但是效率极低、误差大。为了消除实际测量过程中的误差(平移误差和转动误差),提出基于不变矩的方法来识别弹头痕迹,并通过与基于相似度的方法进行对比,最终得出基于二阶不变矩的痕迹识别方法。该方法具有误差小、识别率高的特点,并将其应用于实际的弹头痕迹比对中,取得了良好的效果。

关键词: 弹头痕迹; 平移误差; 转动误差; 相似度; 二阶不变矩; 识别率高

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)08-2895-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.08.022

Research of bullet engraving automated comparison optimization method based on second moment invariants

HE Cheng-gang, ZHANG Yan-ping, ZHAO Shu

(Key Lab of Intelligent Computing & Signal Processing of Ministry of Education, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: In the research of bullet engraving comparison method at home and abroad, the traditional method is through visual observation by microscope, comparing line-type engraving of two bullets to distinct whether the line match, but inefficient and having big error. In order to eliminate the actual measurement error (translation error and rotation error), this paper proposed a method based on moment invariants to identify the bullet engraving, and through compared with correlation method. Finally got the bullet engraving identifying based on second moment invariants. This method has the character of small error and high identical rate, putting it into bullet engraving comparison and getting good result.

Key words: bullet engraving; translation error; rotation error; similarity; second moment; high identical rate

枪弹痕迹检验是用来侦破涉枪犯罪案件的一项重要的刑侦技术手段。在公安实践中,对弹头痕迹的检验通过显微镜肉眼观察比对两个弹头上的线条型痕迹,看这些线条的粗细分布是否吻合。目前国内外的检测技术多以定性分析为主^[1,2],这些方法效率极低,误差大。因为很多情况是似是而非的,所以对多个弹头(如几十、几百个)的比对几乎无法进行,并且受人为干扰的因素较大,而且弹头样本不易保存,容易发生锈蚀损坏。为提高弹头痕迹检验、分析的准确性,本文采取相关的方法减小测量误差和痕迹对数据造成的误差、噪声。在此基础上,提出应用不变矩的方法直接得到不同弹头痕迹相似度的结果。通过与相似度的方法比较,选择一个最佳的方案即基于二阶不变矩的方法,以期量化地获取弹痕的真实形态。对真实数据库中的 22 个弹头痕迹进行两两之间的比对,并得出了每个弹头相似度由高到低的前 5 位的弹头。

1 枪弹痕迹误差的处理

1.1 误差产生的机理

根据测量子弹痕迹的标准:a)测量的基准平面取为固定在测量设备上的空间直角坐标系的 xoy 平面;b)弹头圆柱中心线尽量平行于基准平面;c) y 轴尽量平行于擦痕的走向。可以确定弹头安置在空间直角坐标系的理想位置如图 1 所示,以弹头圆柱中心线为 y 轴,方向为子弹头的走向, xoy 平面平行于基准平面, z 轴垂直于 xoy 平面。然而在实际中弹头的姿态是通过人工调节的,所以弹头在空间直角坐标系中的位置不可能是准确的,存在误差。其中, y 轴不能精确地平行于擦痕的走向引起绕 y 轴的平移误差,圆柱中心线不能精确地平行于基准平面引起绕 xoy 面的旋转误差。弹头在摆放不正确的情况下的可能位置如图 2 所示,此情况下点的空间坐标 (x, y, z) 与实际的数值存在着偏差。在实际的子弹测量过程中会存在平移误差和转动误差。平移误差是指子弹的理想状态和实际状态平

收稿日期: 2010-02-04; **修回日期:** 2010-03-09 **基金项目:** 国家“973”计划重点基础研究项目(2007BC311003,2004CB318108); 安徽省高等学校优秀青年人才基金资助项目(2009SQZ020ZD); 安徽大学人才队伍建设经费资助项目

作者简介: 何成刚(1984-),男,河南信阳人,硕士研究生,主要研究方向为神经网络、机器学习、数学建模(hechenggangzi@126.com); 张燕平(1963-),女,安徽巢湖人,教授,博导,主要研究方向为智能计算、机器学习、人工智能及其应用; 赵姝(1979-),女,安徽巢湖人,副教授,硕导,主要研究方向为机器学习、神经网络、粒度计算。

移所造成的误差,如图 3 所示;转动误差是指子弹的理想状态和实际状态下的角度误差,如图 4 所示。

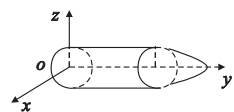


图1 子弹理想状态下的状态

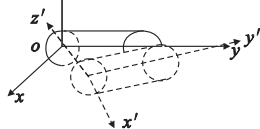


图2 实际情况下子弹的状态

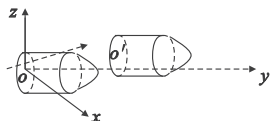


图3 子弹平移误差示意图

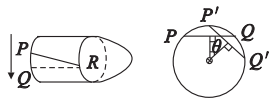


图4 子弹转动误差示意图

1.2 减小误差的方法

1.2.1 平移误差的处理方法

如图 3 所示,在实际的子弹痕迹处理过程中会出现平移误差,将弹头的位置变化抽象为圆柱中心线的前后变化^[3]。如图 5 所示,设理想位置弹头底面圆中心 o 的坐标为 $(0,0,0)$, c 的坐标为 $(0,l,0)$ (其中 l 为弹头圆柱部分的高度,是一确定的值),实际位置弹头底面圆中心 o' 的坐标为 $(x_{o'}, y_{o'}, z_{o'})$, c' 的坐标为 $(x_{c'}, y_{c'}, z_{c'})$, 这里平面 $o'o'c''$ 垂直于平面 $c''o'c''$, 并设 $\angle c'o'c''$ 的值为 α , $\angle c''o'c''$ 的值为 β 。由于点 c'' 和 c''' 都在平面 $x'o'y'$ 上, 而该平面在原空间直角坐标系下的 z 轴方向上的坐标为 $z_{o'}$, 故可设点 c'' 和 c''' 在新空间直角坐标系下的坐标分别是 $(x_{c''}, y_{c''}, z_{o'})$ 和 $(x_{c'''}, y_{c'''}, z_{o'})$ 。

对于点 c'' 的坐标 $(x_{c''}, y_{c''}, z_{o'})$, 其满足条件:

$$|o'c''| = |o'c'| \tag{1}$$

$$\cos \alpha = (o'c' \cdot o'c'') / |o'c'| \cdot |o'c''| \tag{2}$$

对于点 c''' 的坐标 $(x_{c'''}, y_{c'''}, z_{o'})$ 作同样的考虑, 满足以下条件:

$$|o'c'''| = |o'c''| \tag{3}$$

$$\cos \beta = (o'c'' \cdot o'c''') / |o'c''| \cdot |o'c'''| \tag{4}$$

基于上述条件式(1)~(4)建立方程组求解点 c'' 和 c''' 坐标, 相应的方程组为

$$\begin{cases} (x_{c'} - x_{o'})^2 + (y_{c'} - y_{o'})^2 + (z_{c'} - z_{o'})^2 = (x_{c''} - x_{o'})^2 + (y_{c''} - y_{o'})^2 \\ \cos \theta = \frac{(x_{c'} - x_{o'})(x_{c''} - x_{o'}) + (y_{c'} - y_{o'})(y_{c''} - y_{o'})}{(x_{c'} - x_{o'})^2 + (y_{c'} - y_{o'})^2 + (z_{c'} - z_{o'})^2} \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} (x_{c''} - x_{o'})^2 + (y_{c''} - y_{o'})^2 + (z_{o'} - z_{o'})^2 = (x_{c'''} - x_{o'})^2 + (y_{c'''} - y_{o'})^2 \\ \cos \theta = \frac{(x_{c''} - x_{o'})(x_{c'''} - x_{o'}) + (y_{c''} - y_{o'})(y_{c'''} - y_{o'})}{(x_{c''} - x_{o'})^2 + (y_{c''} - y_{o'})^2 + (z_{o'} - z_{o'})^2} \end{cases} \tag{6}$$

这样完成了将子弹调整到其圆柱中心线与 y 轴平行的情况, 即为图 3 所示的平移误差状况, 再基于转换后的弹头的位置信息考虑原空间直角坐标系下简单的平移误差。 $\eta = oo' = (x_{o'}, y_{o'}, z_{o'})$ 表示理想位置到转换坐标后的两个弹头的位置平移向量, 因而理想状态下该弹头的位置参数(数据)只需将调整后的数据参数分别除去平移向量三个 η 分量的影响即可, 最终调整完成的数据信息满足: 最终调整完成的位置数据参数 = 第一步调整的位置参数—— η 。

1.2.2 转动误差的处理方法

如图 4 所示, 转动误差主要考虑手动调整导致的弹头观测区域的微小变化, 实际上 y 轴方向上观测点的坐标不随转动的变化而变化, 也即转动误差只影响 x 轴和 z 轴方向上坐标分量的变化。分两步考虑消除转动误差的影响, 首先观察图 6。如

图 6 所示, 为了使得观测的区域正对镜头, 需要使得图中线段 $P'Q'$ 尽量与线段 PQ 一致, M 和 N 两点分别为线段 $P'Q'$ 和线段 PQ 的中点, 则 $\angle MON = \theta$ 可设定为转动误差, 且容易验证 $\angle P'Q'P''$ 的值也为 θ 。首先考虑由图 6 转动误差变化简图中 $P'Q'$ 位置转换角度 θ 后原坐标关系的变化。如图 6 所示, 对应于固定的任意 y 轴方向的坐标 y_o , 所选取的截面均在 $y = y_o$ 这个平面上, 设点 P' 和点 Q' 的真实坐标为 $(x_{p'}, y_o, z_{p'})$ 和 $(x_{q'}, y_o, z_{q'})$, 位置转换后点 P'' 的坐标为 $(x_{p''}, y_o, z_{p''})$, 则 P', Q', P'' 三点满足如下的关系:

$$|P'Q'| = |P''Q'| \tag{7}$$

$$\cos \theta = (P'Q' \cdot P''Q') / |P'Q'| \cdot |P''Q'| \tag{8}$$

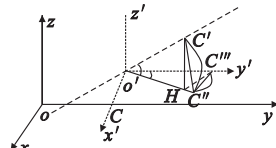


图5 子弹位置变化的细化简图

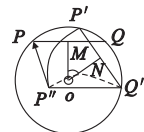


图6 消除转动误差示意图

类似于第一部分, 基于上述条件建立相应的方程可求解获得第一步位置转新坐标参数 $P'' : (x_{p''}, y_o, z_{p''})$ 。事实上, 对应于弧 $P'Q'$ 上的任意一点均可基于上述条件式(7)(8)建立方程组得到转换, 最终实现整个带状区域的整体转换。其次, 考虑由第一步转换后的 $P''Q'$ 位置向理想位置的坐标转换。设实际的带宽 $P'Q'$ 为 $2d$, 则点 Q 的坐标为 $(d, y_o, \sqrt{r^2 - d^2})$, 这里 r 为弹头底面圆直径(7.90 mm)的一半, 则第二步的平移转换向量为 $Q'Q$, 且其值为

$$Q'Q = (d - x_{q'}, 0, \sqrt{r^2 - d^2} - z_{q'}) \tag{9}$$

依据向量 $Q'Q$ 直接对第一步转换获得的坐标关系进行一步平移转换即可, 即最终调整好的状态数据参数满足: 最终调整完成的状态数据参数 = 第一步调整的状态数据参数—— $Q'Q$ 。这样, 由于原始转动造成的误差经一步坐标转动变换和一步坐标平移变换后即将其转换到理想位置。综上, 对于处于任意位置和姿态的弹头应首先对其进行位置的调整转换和一步平移转换, 其次对于转动误差再进行姿态的调整和一步平移转换, 最终实现对于任意一个弹头将其当前所在的位置和姿态划归到理想的位置和姿态下, 为进一步更为精确的信息比对提供有效的数据支持。

2 不变矩

不变矩函数在图像分析中有着广泛的应用^[4], 如模式识别、目标分类、目标识别与方向估计、图像编码与重构等。一个从一幅数字图像中计算出来的矩集, 通常描述该图像的形状的全局特征, 并提供大量的关于该图像不同类型的几何特征信息, 如大小、位置、方向及形状等。图像矩的这种特性描述能力被广泛地应用于各种图像处理、计算机视觉和机器人技术领域的目标识别和方向估计中。

通过考察在图像平面上区域的矩来进行图像的特征比对。对数字图像函数 $f(x, y)$, 如果它分段连续且只在 XY 平面上的有限个点不为零, 则可以证明它的各阶矩存在。区域的矩是用所有属于区域内的点计算出来的, 因而不太受噪声等的影响。 $f(x, y)$ 的 $p+q$ 阶矩定义为

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \tag{10}$$

可以证明, m_{pq} 唯一地被 $f(x, y)$ 所确定, 反之, m_{pq} 也唯一地确定了 $f(x, y)$ 。 $f(x, y)$ 的 $p+q$ 阶中心矩定义为

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (11)$$

其中: $\bar{x} = m_{00}/m_{01}, \bar{y} = m_{01}/m_{00}$,是与式(10)和(11)中定义的二值图重心坐标对应的灰度推广。 $f(x, y)$ 的归一化中心矩可以表示为

$$\eta_{pq} = u_{pq}/u_{00}^{\gamma} \quad (12)$$

其中: $\gamma = (p + q)/2 + 1, p + q = 2, 3, \dots$

一阶矩与形状有关,二阶矩显示曲线围绕直线平均值的扩展程度,三阶矩则是关于平均值的对称性测量。Hu^[5]利用二阶和三阶中心矩构造了七个不变矩(这里写出前五个),它们可使图像保持平移、缩放和旋转不变。具体定义如下:

$$\varphi_1 = \eta_{20} + \eta_{02}, \varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2$$

$$\varphi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{13})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2$$

$$\varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2$$

$$\varphi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] +$$

$$(3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]$$

研究表明^[5],只有基于二阶矩的不变矩对二维物体的描述才是真正的与旋转、平移和尺度无关的。较高阶的矩对于成像过程中的误差、微小的变形等因素非常敏感,所以相应的不变矩基本上不能用于有效的物体识别。在这些不变矩中,只有两个不变矩 φ_1, φ_2 是基于二阶矩的,其余的 $\varphi_3 \dots \varphi_7$ 都是基于三阶矩的。所以,选取 φ_1, φ_2 两个二阶不变矩来处理数据。

3 基于不变矩的弹痕比对方法

在公安实践中,要根据弹头上的痕迹来判断两个弹头是否为同一支枪发射的,判断标准就是根据痕迹特征^[6]。根据实际在光源仪器上测量的弹头痕迹的三维数据做出其散点图,可以看出由于巨大的数据量和角度的差异,不能从直观上观察到准确的数据信息,但是可以将其转换成图像、擦痕与每一个次棱的痕迹作为一幅图像,从而将划痕的数据信息反映在图像上。划痕的大小和深浅体现在其深度和宽度上,可以作为刻画划痕的特征。根据光学原理,图像上的灰度体现了不同区域,在图像上的线条中相对比较亮的一条粗线代表划痕,关键是要找到这条划痕的宽度和深度,如图 7、8 所示。划痕的宽度可以使用边缘检测把划痕上下两条线算出来,从而得到痕迹区域大小;划痕的深度反映在划痕的亮度上,亮度比较大的说明深度较深。

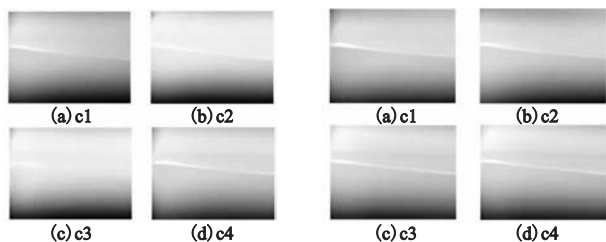


图7 同一枪发射的第一发子弹四条次棱划痕图像

图8 同一枪发射的第二发子弹四条次棱划痕图像

3.1 数据的预处理

针对枪弹弹头表面的损伤、锈迹、油斑、杂质物及痕迹生成的随机性、所造成的数据误差和噪声的特征,先应用小波分析方法^[7,8],再用中值滤波法^[9],对原始痕迹数据进行消噪处理^[10],使消噪后的数据更能反映弹头痕迹的本质和变化规律。

3.2 基于二阶不变矩的痕迹对比

基于不变矩的理论,对某一颗弹头的第 k 个划痕数据中的

竖坐标 $z_{ij} (k = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, \dots, 426384)$ 进行如下的计算:

a) 对于第 i 个固定的 y 轴坐标 y_i ,将相应 z 坐标值组成一列,这里 $i = 1, 2, \dots, 756$,从而构成了如下的由 z_{ij} 组成的 564×756 阶矩阵

$$Z_k = \begin{pmatrix} z_{y_0}^1 & z_{y_1}^1 & \dots & z_{y_{756}}^1 \\ z_{y_0}^2 & z_{y_1}^2 & \dots & z_{y_{756}}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{u} & \hat{u} & \dots & \hat{u} \end{pmatrix}$$

b) 对上述数据作如下的规范化处理:对于矩阵 Z_k 中的任一元素 z_{ij}^k ,将其转换为

$$z_{ij}^{k'} = \frac{z_{ij}^k - \min_{\substack{1 \leq i \leq 564 \\ 1 \leq j \leq 756}} \{z_{ij}^k\}}{\max_{\substack{1 \leq i \leq 564 \\ 1 \leq j \leq 756}} \{z_{ij}^k\} - \min_{\substack{1 \leq i \leq 564 \\ 1 \leq j \leq 756}} \{z_{ij}^k\}}$$

这样,将任意一颗弹头的任一道划痕数据转换到 $[0, 1]$ 区间上。矩不变量是形状识别的基本特征之一,它们建立在对区域内部灰度值的统计分析基础上,是一种图像细节描述。一般地,在计算机领域中,灰度数字图像是每个像素只有一个采样颜色的图像。这类图像通常显示为从最暗黑色到最亮的白色的灰度,通常设置为 $0 \sim 255$ 级灰度。基于上述规范化操作,将划痕的数字信息转换为图像的灰度值,再依据图像的不变矩理论对弹痕的信息进行比对。

c) 在某一个不变矩下,设 φ_{pk}^p 表示第 $p (p = 1, 2, \dots, 6)$ 把枪的第 $q (q = 1, 2)$ 颗弹头的第 $k (k = 1, 2, 3, 4)$ 组数据的该不变矩值,集合 C 表示数组 φ_{pk}^p 的下标 k 按一定顺序的转置,可记为

$$C = \{(\varphi_{21}^p, \varphi_{22}^p, \varphi_{23}^p, \varphi_{24}^p), (\varphi_{22}^p, \varphi_{23}^p, \varphi_{24}^p, \varphi_{21}^p), (\varphi_{23}^p, \varphi_{24}^p, \varphi_{22}^p, \varphi_{21}^p), (\varphi_{24}^p, \varphi_{21}^p, \varphi_{22}^p, \varphi_{23}^p)\}$$

定义某把枪 P 的第一个弹头与第二个弹头的上述转置集合 C 中的某一置换 $\varphi = (\varphi_{21}^p, \varphi_{22}^p, \varphi_{23}^p, \varphi_{24}^p) \in C$ 的矩之间的距离 D_p^o 为 $D_p^o = \sum (\varphi_{1k}^p - \varphi_{2k}^p)^2$,定义 E_p 为某把枪 p 的第一个弹头与第二个弹头矩的误差为 $E_p = \min_{\varphi \in C} \{D_p^o\}$ 。

d) 基于步骤 c) 获得的同一把枪在某一类不变矩下两颗弹头的误差即可判定两颗弹头相应四道划痕的对应关系(误差越小表示相似程度越高)。

4 实验结果与分析

本文使用 <http://www.shumo.com/home/html/-481>^[11] 中的第六届研究生数学建模竞赛 B 题的数据库。该数据库包含:

a) 数据库 1。以 77 开头的 12 个文件,数据分别是 6 支枪发射的 12 个弹头(每支枪发射 2 个弹头)的次棱部分的测量数据,每个文件包含有 4 个以 c 开头的次棱数据子文件。子文件名中的 c1、c2、c3、c4 分别为同一个弹头的 4 个次棱按固定顺序的编号。

b) 数据库 2。以 t 开头的 22 个文件,文件名以 t 开头的 22 个文件分别是另外 11 支枪发射的 22 个弹头(每支枪发射 2 个弹头)次棱部分的测量数据,每个文件包含有 4 个以 c 开头的次棱数据子文件,子文件名中的 c1、c2、c3、c4 的意义同数据库 1(注:每个文件的数据有 40 多万行,每行有 3 列。)

应用相关系数法(表 1)和基于不变二阶矩的方法(表 2)对数据库 1 中的子弹弹痕相似度进行计算。从表 1 可以看出,子弹 t2 的 c1 棱对应 t1 的 c3 棱,而 t2 的 c2 棱对应 t1 的 c2 棱,实际上应该是按照 c1、c2、c3、c4 的一个轮转顺序来对应,因此

这种方法是不可靠的。从表 3 可以看出,二阶不变矩方法所得到的结果是一致的,这与文献[11]中所给的实际结果完全相同,即匹配率为 100%。从结果中可以看出,基于 φ_2 的方法对应的弹头的矩(最小距离)误差更小,所以采用这种方法更有效。

表 1 数据库 1 中子弹次棱的相关系数比对

子弹 t2 的次棱 c1	子弹 t1 的次棱			
	c1	c2	c3	c4
c1	0.812 4	0.903 4	0.852 2	0.925 5
c2	0.907 3	0.943 7	0.945 0	0.963 5
c3	0.947 0	0.790 4	0.790 4	0.852 4
c4	0.946 7	0.824 4	0.837 1	0.920 3

注:t1 为编号 1203959 枪的一发子弹,t2 为它的另外一发子弹。

表 2 数据库 1 中子弹的 φ_1 和 φ_2 二阶不变矩的结果

t1 的次棱顺序	c1 c2 c3 c4	c2 c3 c4 c1	c3 c4 c1 c2	c4 c1 c2 c3
t2 的次棱顺序	c1 c2 c3 c4	c1 c2 c3 c4	c1 c2 c3 c4	c1 c2 c3 c4
1203959 号枪的 φ_1	0.005 482	0.003 105	0.001 868	0.004 872
1203959 号枪的 φ_2	0.000 060	0.000 050	0.000 013	0.000 036
1504519 号枪的 φ_1	0.017 673	0.015 363	0.016 105	0.014 086
1504519 号枪的 φ_2	0.000 131	0.000 088	0.000 100	0.000 080
1811345 号枪的 φ_1	0.001 612	0.000 578	0.002 147	0.001 799
1811345 号枪的 φ_2	0.000 038	0.000 033	0.000 067	0.000 035
1812492 号枪的 φ_1	0.004 631	0.002 001	0.003 287	0.005 048
1812492 号枪的 φ_2	0.000 068	0.000 022	0.000 053	0.000 085
1923252 号枪的 φ_1	0.011 675	0.009 147	0.003 999	0.018 660
1923252 号枪的 φ_2	0.000 099	0.000 127	0.000 060	0.000 186
1928033 号枪的 φ_1	0.007 671	0.002 873	0.005 601	0.010 159
1928033 号枪的 φ_2	0.000 147	0.000 051	0.000 139	0.000 173

表 3 数据库 2 中的子弹匹配结果

匹配程度由高到低的前 5 位弹头编号						匹配程度由高到低的前 5 位弹头编号						
弹头编号	t20	t11	t21	t08	t16	弹头编号	t12	t11	t20	t16	t14	t03
t01	t20	t11	t21	t08	t16	t12	t11	t20	t16	t14	t03	
t02	t20	t11	t21	t16	t03	t13	t20	t11	t16	t17	t08	
t03	t07	t02	t13	t09	t19	t14	t07	t13	t15	t04	t19	
t04	t11	t20	t16	t08	t17	t15	t11	t20	t16	t08	t17	
t05	t07	t13	t19	t01	t18	t16	t07	t13	t15	t04	t06	
t06	t20	t11	t21	t16	t08	t17	t07	t13	t19	t04	t15	
t07	t20	t11	t16	t17	t14	t18	t20	t11	t08	t16	t17	
t08	t07	t13	t04	t19	t15	t19	t20	t11	t17	t08	t16	
t09	t20	t11	t07	t17	t07	t20	t07	t13	t15	t04	t19	
t10	t07	t13	t11	t21	t20	t21	t07	t06	t13	t01	t04	
t11	t07	t13	t15	t04	t19	t22	t20	t11	t15	t19	t07	

综上所述,进行子弹匹配的方法,得出最有效的方法即基于二阶

不变矩的子弹匹配方法。其中基于 φ_2 二阶不变矩的方法误差很小,将其应用于数据库 2 中 22 弹头痕迹的匹配之中,并得到了每发子弹相似度从高到低的前 5 位子弹(表 3)。

5 结束语

本文在消除测量过程中弹头痕迹的误差(平移误差和转动误差)后,对二阶不变矩方法在子弹痕迹匹配中的应用进行了研究,并通过与相似度的方法进行了比较。实验表明,基于二阶不变矩的方法误差很小,而且匹配率很高。将此方法应用到第九届全国研究生数学建模中,得到了赛题中所给的 22 发弹头痕迹匹配程度从高到低的前 5 位子弹。

注:本文的研究成果获第六届(2009)全国研究生数学建模竞赛三等奖

参考文献:

[1] 李小虎,赖杨威,孙文英,等.初探枪弹痕迹三维自动识别系统[J].刑侦技术,2008,1(9):34-36.

[2] 潘自勤.对枪弹弹头痕迹特征自动检索技术的探讨[J].警察技术,2003,1(6):29-31.

[3] 丘维声.解析几何[M].北京:北京大学出版社,2003:61-62.

[4] 章毓晋.图像工程(中册)图像分析[M].2版.北京:高等教育出版社,2003:101-102.

[5] HU M K. Visual pattern recognition by moment invariants[J]. IEEE Trans on Information Theory,1962,8(2):179-187.

[6] 潘自勤.对枪弹弹头痕迹特征自动检索技术的探讨[J].警察技术,2003(6):35-37.

[7] 寿海涛,尹继尧,于海英,等.余山地磁信号的小波消噪处理[J].地震地磁观测与研究,2009,10(3):85-89.

[8] 刘清,孙颖.用实时小波分析消除噪声的动态测量误差补偿[J].南京师范大学学报:工程技术版,2006,33(6):101-103.

[9] 董付国,杜萍.图像中值滤波快速计算的符号检验法[J].计算机工程与应用,2009,45(19):163-165.

[10] 张晓强,高莉,于洪珍.基于 Focuss 的自适应去噪误差消除方法[J].清华大学学报:自然科学版,2007,42(Z2):1848-1852.

[11] 全国研究生数学建模组委会.第六届全国研究生数学建模 B 题[EB/OL].(2009-09-23)[2009-09-24].http://www.shumo.com/home/html/481.html.

(上接第 2885 页)

参考文献:

[1] KENNEDY J, EBERHART R C, SHI Yu-hui. Swarm intelligence[M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001.

[2] 徐星,李元香,姜大志,等.一种基于分子动力理论的改进粒子群优化算法[J].系统仿真学报,2009,21(7):1904-1907.

[3] 梁斌,董会宁,虞有康.普通物理学[M].北京:机械工业出版社,2009.

[4] 宋晓岚,黄学辉.无机材料科学基础[M].北京:化学工业出版社,2006.

[5] 周道品,赵永金,张延金. Arrhenius 公式与活化能[J].石河子大学学报:自然科学版,1995(4):76-80.

[6] 王铁奇,邱德华,胡桂武.基于迁徙策略的 PSO 集成及其在序列模式识别中的应用[J].衡阳师范学院学报,2008,29(3):21-25.

[7] 赫然,王永吉,王青,等.一种改进的自适应逃逸微粒群算法及实验分析[J].软件学报,2005,16(12):2036-2044.

[8] 马海平,陈子栋,潘张鑫.一类基于物种迁移优化的进化算法[J].控制与决策,2009,24(11):1620-1624.

[9] LOVBJERG M, RASMUSSEN T K, KRINK T. Hybrid particle swarm optimiser with breeding and subpopulations[C]//Proc of Genetic and Evolutionary Computation Conference. [S. l.]: ACM Press, 2001: 469-476.

[10] BERGH F Van den, ENGELBRECHT A P. A cooperative approach to particle swarm optimization [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2004, 8(3): 225-239.

[11] 王元元,曾建潮,谭瑛.多种群协同进化的微粒群算法[J].计算机工程与设计,2007,28(15):3661-3664.

[12] 陶新民,徐晶,杨立标,等.改进的多种群协同进化微粒群优化算法[J].控制与决策,2009,24(9):1406-1411.

[13] 黄芳,樊晓平.基于岛屿群体模型的并行粒子群优化算法[J].控制与决策,2006,21(2):175-179.

[14] 刘卓倩,顾幸生,陈国初.三群协同粒子群优化算法[J].华东理工大学学报:自然科学版,2006,32(7):754-757.

[15] 夏桂梅,曾建潮.双群体随机微粒群算法[J].计算机工程与应用,2006,42(24):46-48.