

· 信号与信息处理 ·

## 基于信息点的红外成像精确跟踪算法研究

王 迅

(91404部队, 河北 秦皇岛 066001)

**摘 要:** 研究最优的阶梯型边缘检测算法, 包括用高斯滤波器平滑图像、用一阶偏导的有限差分来计算每个像素的梯度的幅值和方向、对梯度幅值进行非极大值抑制以及用双阈值算法检测边缘, 避免了其他算子常常会产生双边界或不闭合区域的问题。采用了正弦编码方法将红外灰度图像转换为伪彩色图像, 然后得出从机身前端到发动机之间的温度跳跃区域, 并以该区域的中心作为跟踪点完成导弹的末端制导。

**关键词:** 红外成像; 精确跟踪; 伪彩色; 信息点

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2015)-03-0033-03

## Research on Infrared Imaging Precision Tracking Algorithm Based on Information Points

WANG Xun

(91404 Army Unit, Qinhuangdao 066001, China)

**Abstract:** The optimal ladder type edge detection algorithm is researched. Gauss filter is used to smooth images and the finite difference of the first order partial derivative is used to calculate the gradient magnitude and the direction of each pixel. Non maximum value suppression is performed to gradient amplitude and double threshold algorithm is used to detect edges, which avoids double borders or unclosed area problems from other operators. Sinusoidal encoding method is used to convert infrared gray images to pseudo color images, and then the temperature jump area from the fuselage front to the engine is obtained. And the center of the area is taken as a tracking point to finish missile terminal guidance.

**Key words:** infrared imaging; precision tracking; pseudo-color; information points

红外成像制导导弹在战争中发挥重要作用, 其射击精度是其重要的性能指标之一<sup>[1]</sup>, 也是提高打击效果最有效的手段。因此, 改善红外成像末制导精确跟踪算法, 提高射击精度是极有必要的, 也是增强导弹作战能力的重要手段<sup>[2]</sup>。

### 1 基于飞机前端的跟踪方法

从飞机红外辐射特性分析, 前端相对于其他几何角点具有更稳定的几何特征, 易于提取。这种跟踪方法在大多数情况下都具有非常好的稳定性, 同时也是目前大多数的对空导弹制导模式<sup>[3]</sup>。

然而这种方法具有两个无法克服的缺点:

(1) 飞机前端相对于整个机身非常小, 这就意味着即使导弹瞄准了前端, 对飞机的毁伤概率也较低;

(2) 飞机前端对于跟踪而言不够稳定, 在某些视场角范围内, 该前端有可能被机翼、尾翼及机身遮挡而无法探测。这也是为什么当前用飞机前端作为瞄准点的跟踪方法容易丢失目标的原因。

### 2 基于信息点的跟踪方法

信息点是根据局部亮度变化率来定义的<sup>[4]</sup>。计算该信息点需要图像大量的细节变化率。伪彩色红

外图像满足该要求,它有三个颜色分量,能提供比灰度图像更多的局部变化率信息。伪彩色红外图像用不同的颜色代表不同的温度。

通过对飞机的红外图像的研究,发现不同飞行速度下飞机的发动机温度总是最高的<sup>[5]</sup>,在伪彩色图像中可用红色或深红色表示,从机身前端到发动机之间有一个明显的温度跳跃,在伪彩色图像中,分别用绿色、蓝色和红色曲线描述该跳跃。跳跃发生的区域包含大量的强度变化的局部信息。因此,探测该区域的信息点来完成末端制导。

该方法具有以下优点:

(1)信息点所在的区域是稳定和不变的,当视点改变时,他们的数量和位置变化非常缓慢;

(2)该区域位于飞机前端和发动机之间,它比飞机的头部和尾部要宽,几乎能从任何视点进行探测而不易丢失目标<sup>[6]</sup>;

(3)该信息点位于发动机附近,所以如果导弹锁定目标则将极大提高对目标的毁伤概率。

### 3 关键技术

#### 3.1 最优的阶梯型边缘检测算法

在常用的几种用于边缘检测的算子中,Laplace算子常常会产生双边界,而其他一些算子如Sobel算子又往往会形成不闭合区域<sup>[7]</sup>。在此,采用了最优的阶梯型边缘检测算法。

步骤1:用高斯滤波器平滑图像。

$$H(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$G(x,y) = f(x,y) \times H(x,y) \quad (2)$$

步骤2:用一阶偏导的有限差分来计算每个像素的梯度的幅值和方向。

使用以下 $2 \times 2$ 大小的模板作为对 $x$ 和 $y$ 方向偏微分的一阶近似如下

$$H_1 = \frac{1}{2} \times \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$H_2 = \frac{1}{2} \times \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

由此得到梯度的大小和方向为

$$\varphi(m,n) = \sqrt{\varphi_1^2(m,n) + \varphi_2^2(m,n)} \quad (5)$$

$$\theta_\varphi = \tan^{-1} \frac{\varphi_2(m,n)}{\varphi_1(m,n)} \quad (6)$$

步骤3:对梯度幅值进行非极大值抑制(non-

maximum suppression, NMS), 仅仅得到全局的梯度并不足以确定边缘。因此为确定边缘,必须保留局部梯度最大的点,而抑制非极大值。

解决方法:梯度的方向可以被定义为属于四个区之一,各个区有不同的邻近像素用来进行比较,以决定局部极大值。这四个区及其相应的比较方向如图1所示。

3	2	1
0	$M$	0
1	2	3

图1 中心像素与相应的比较方向

例如,如果中心像素 $M$ 的梯度方向属于第3区,则把 $M$ 的梯度值与它的左上和右下相邻像素的梯度值比较,看 $M$ 的梯度值是否是局部极大值。如果不是,就把像素 $M$ 的灰度设为0。即

$$N[i,j] = NMS(M[i,j], \xi[i,j]) \quad (7)$$

这个过程叫作“非极大抑制”。

步骤4:用双阈值算法检测边缘。

减少假边缘段数量的典型方法是对 $N[i,j]$ 使用一个阈值。将低于阈值的所有值赋零值。但问题是如何选取阈值。

解决方法:双阈值算法。双阈值算法对非极大值抑制图像作用两个阈值 $\tau_1$ 和 $\tau_2$ ,且 $2\tau_1 \approx \tau_2$ ,将梯度值小于 $\tau_1$ 的像素灰度设为0,得到图像 $N1[i,j]$ ,然后将梯度值小于 $\tau_2$ 的像素灰度设为0,得到图像 $N2[i,j]$ ,从而可以得到两个阈值边缘图像 $N1[i,j]$ 和 $N2[i,j]$ 。由于 $N1[i,j]$ 使用低阈值得到,因而保留了较多信息,由于 $N2[i,j]$ 使用高阈值得到,因而含有很少的假边缘,但有间断(不闭合)。因此,可以以图像 $N2[i,j]$ 为基础,以图像 $N1[i,j]$ 为补充来连接图像的边缘。

步骤5:用双阈值算法连接边缘

双阈值法要在 $N2[i,j]$ 中把边缘连接成轮廓,当到达轮廓的端点时,该算法就在 $N1[i,j]$ 的8邻点位置寻找可以连接到轮廓上的边缘,这样,算法不断地在 $N1[i,j]$ 中收集边缘,直到将 $N2[i,j]$ 连接起来为止。

### 3.2 伪彩色转换

伪彩色转换就是把飞机红外灰度图像的各个不同灰度等级按照线性和非线性映射函数变换成不同的彩色代码。

文中采用灰度级彩色变换方法。该方法是把图像的各个灰度值按照一定的函数关系映射成颜色渐变的彩色,不同的灰度级对应不同的彩色。根据色度学原理<sup>[8]</sup>,任何一种颜色都可以由红、绿、蓝三个基色按不同的比例来合成,因此图像的伪彩色处理先要设定红、绿、蓝三个基色的函数关系,使对应的每一个函数都有相应的红、绿、蓝输出,之后三者合成一个色。

对提取的目标依据其进行伪彩色处理。采用了三个正弦函数依据灰度值分别对  $R, G, B$  三通道进行转换。如图2所示。

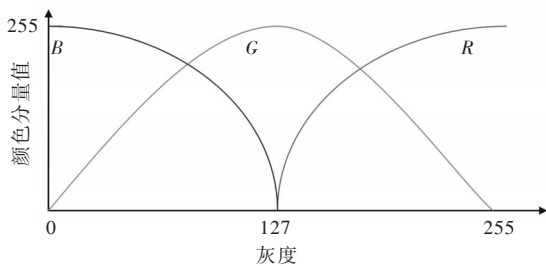


图2 伪彩色的变换函数

低温区域为蓝色为主、绿色为辅的变换,中温区域的前半部分是以绿色为主,蓝色为辅的变化,后半部分则是以绿色为主,红色为辅的变化,高温区域则是以红色为主,绿色为辅的变换。

### 3.3 信息点跟踪

依次对每个像素的  $R, G, B$  三个颜色通道分别进行 Laplace 运算<sup>[9-10]</sup>。公式如下

$$L_R = \left( \frac{\partial^2 R}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 R}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

$$L_G = \left( \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \right) \quad (9)$$

$$L_B = \left( \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} \right) \quad (10)$$

根据对红外序列图像的测试,设定三个阈值:  $T_R, T_G, T_B$ , 根据这三个阈值,删除不需要的像素点,保留下来的像素点就是所需要的信息点。

$$L = \begin{cases} 1, L_R < T_R, L_G < T_G, L_B < T_B \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

$L=1$  的点即为信息点。

对 Laplace 运算之后得到的信息点区域,是一个二维点集。为此,寻找该二维点集的最小面积的包围圆形,并以该圆形的中心作为最后的攻击点。

## 4 结束语

针对目前基于飞机前端的跟踪方法的不稳定和毁伤概率较低的不足,探讨了一种基于信息点的跟踪方法来实现对飞机的精确跟踪方法。通过用高斯滤波器平滑图像、对梯度幅值进行非极大值抑制以及用双阈值算法检测边缘,实现最优的阶梯型边缘检测算法,避免其他算子常常会产生双边界或不闭合区域的问题。采用正弦编码方法将红外灰度图像转换为伪彩色图像,获得从机身前端到发动机之间的温度跳跃区域。最后以该区域的中心作为跟踪点完成导弹对飞机的末端制导。该方法跟踪目标稳定,不易丢失目标,并且提高了对目标的毁伤概率。

## 参考文献

- [1] 常青. 巡航导弹制导系统关键技术研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2003
- [2] 蔡毅, 胡旭. 短波红外成像技术及其军事技术应用[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(6): 643-647.
- [3] 王中贤, 史建军, 张正武. 喷气式飞机尾焰红外辐射的理论计算与仿真[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(11): 83-86.
- [4] David G Lowe. Local feature view clustering for 3D object recognition [J]. Proceeding of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2001, 1(1): 682-688.
- [5] 王超哲, 童中翔, 李建勋, 等. 战斗机红外点源目标特性计算方法[J]. 红外技术, 2012, 34(11): 666-671.
- [6] 谢蓄芬, 任智斌, 曹小燕. 巡航导弹尾焰红外辐射特性建模及分析[J]. 光电工程, 2009, 36(4): 70-74.
- [7] 王丽芳. 可见光遥感图像分割算法的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [8] 张丽, 陈志强. 色彩调和理论在辐射成像的伪彩色处理中的应用[J]. 核电子学与探测技术, 2000, 20(5): 233-235.
- [9] Burt P, Adelson E. The laplacian pyramid as a compact image code[C]. IEEE Transaction on Communications, 1983, 9(4): 532-540.

(下转第73页)

长,在产生微小变化的前后,再通过调节迈克尔逊干涉仪上的螺杆,在观察屏上寻找干涉条纹“缩进”和“涌出”的分界点,就可以从迈克尔逊干涉仪系统上直接读出数值,进而可以确定两个分界点之间的距离,该距离即为待测金属棒加热后的伸长量;进而依据公式便可确定待测金属棒的线膨胀系数,这样可以减少传统方法的测量误差,提高实验结果的精确性。需要注意的是,在加热过程中待测金属棒要保持水平推动动镜 $M_2$ ,否则会造成很大的实验误差。

### 3 结 论

研究提出利用等光程法测量金属棒线膨胀系数设计的方案,其中优点是:(1)与现有利用迈克尔逊干涉仪通过数条纹的方法测量金属棒线膨胀系数技术相比,本设计直接利用了迈克尔逊干涉仪的读数系统,可精确到 $0.1\ \mu\text{m}$ ,并可以直接测量金属棒的微小长度的变化量。与传统的迈克尔逊干涉方法(通过观察干涉屏上干涉圆环“涌出”或“陷入”的条纹的个数来确定动镜移动的位移,进而确定金属丝的伸长长度,然后根据公式求出金属棒的线膨胀系数)相比,利用等光程法测量固体线膨胀系数操作更方便,实验结果的精确度更高,且具有实用性更强的优点。(2)定镜改为动镜直接放在待测金属棒的顶端上,避免了间接推动反射镜,而且更容易调节出初始时条纹“涌出”和“缩进”的分界面,从迈克尔逊干涉仪系统上可以直接读出数值,确定两个分界点之间的距离,即为金属棒的加热前后的微小伸长量,进而可得到该待测金属棒的线膨胀系

数。(3)该测量方法综合了力学和光学实验,可以测量各种金属棒等固体材料的线膨胀系数,也可用于测量其他物理量,如杨氏模量、透明液体的折射率等。该测量方法拓展了迈克尔逊干涉仪的实验用途,具有应用范围更广泛的优点。

### 参考文献

- [1] 花世群. 光的干涉法测金属线胀系数[J]. 光学技术, 2001, 27(4):383-384.
- [2] 安奎生, 张娟, 郭静杰. 用组合测量方法测金属线胀系数[J]. 物理实验, 2008, 28(1):33-35.
- [3] 刘爱华, 吴淑贞. 固体线胀系数测定仪的改进[J]. 大学物理, 2005, 24(3):48-49.
- [4] 严琴, 李东风. 低膨胀固体材料线膨胀系数的干涉测量方法[J]. 激光技术, 2004, 28(2):202-204.
- [5] 仇旭, 史建君, 李小云, 等. 光杠杆法测量固体的线膨胀系数[J]. 高校实验室工作研究, 2012, 111(1):52-53.
- [6] 范利平. 采用千分表测定金属线胀系数[J]. 大学物理, 2005, 24(2):61-62.
- [7] 贺靖勇, 肖会芹, 夏湘芳. 固体线膨胀系数测定仪的研制与改进[J]. 物理实验, 2006, 2(2):22-23.
- [8] 周秀娟, 刘心宇. 利用单缝衍射测金属材料的线膨胀系数[J]. 桂林电子科技大学学报, 2007, 27(3):224-226.
- [9] 盛爱兰. 一种基于单缝衍射的线膨胀系数测定装置[J]. 大学物理实验, 2013, 26(1):59-61.
- [10] 刘崧, 钟双英, 李鸿. 基于电容位移传感器的金属线胀系数测量[J]. 实验室研究与探索, 2013, 32(1):30-32.
- [11] 李儒颂, 徐芹, 叶文江. 基于迈克尔逊干涉测力传感器装置的设计[J]. 光电技术应用, 2015, 30(2): 83-86.
- [12] 李儒颂, 叶文江. 金属丝杨氏模量测量装置的设计[J]. 大学物理实验, 2014, 27(5):51-53.

(上接第35页)

[10] Matthew Brown, David Lowe. Invariant features from interest point groups[C]. Proceedings of the 13th British Ma-

chine Vision Conference, University of Cardiff, UK. 2002 (9): 253-262.