

文章编号: 1672-8785(2010)06-0036-04

基于兴趣点的红外成像末制导 精确跟踪算法研究

王 迅 张 建

(91404 部队 93 分队, 河北 秦皇岛 066001)

摘 要: 针对目前基于飞机前端的跟踪方法不稳定和毁伤概率较低的问题, 探讨了一种基于兴趣点的飞机跟踪方法。该方法能稳定地跟踪目标, 不易丢失目标, 并且提高了对目标的毁伤概率。该方法先用正弦编码方法将红外灰度图像转换成伪彩色图像, 从中得出从机身前端到发动机之间的温度跳跃区域, 然后以该区域的中心为跟踪点完成导弹对飞机的末端制导。

关键词: 末端制导; 精确跟踪; 伪彩色; 兴趣点

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2010.06.008

Accurate Tracking Algorithm Based on Interest Points in Infrared Imaging Terminal Guidance

WANG Xun, ZHANG Jian

(91404 Unit of the CPLA, Qinhuangdao 066000, China)

Abstract: The current tracking methods based on the anterior cusp of an aircraft have a problem of unstability and low damage probability. To solve this problem, an aircraft tracking method based on the points of interest is discussed. By using this method, an aircraft can be tracked stably and may not be lost and hence the aircraft damage probability can be improved. In this method, the sin-coding is used to convert the infrared gray level images into the false color images firstly. Then, the temperature fluctuation region between the anterior cusp and the engine of an aircraft is obtained. Finally, the center of the region is used as a tracking point so as to complete the terminal guidance of a missile to the aircraft.

Key words: terminal guidance; accurate tracking; false color; points of interest

1 引言

红外成像制导导弹在战争中发挥着重要的作用, 射击精度是其最重要的性能指标之一^[1], 也是提高打击效果的最有效因素。因此, 改善红外成像末制导精确跟踪算法对于提高导弹射击精度和增强导弹作战能力都是非常重要的。

2 基于飞机前端的跟踪方法

从飞机的红外辐射特性来看, 飞机前端具有比其他几何角点更稳定的几何特征, 且易于提取, 如图 1 所示。这种跟踪方法在大多数情况下都具有非常好的稳定性, 它也是目前大多数对空导弹的制导模式。

然而, 这种方法具有两个无法克服的缺点:

收稿日期: 2010-01-24

作者简介: 王迅(1977-), 男, 辽宁铁岭人, 工程师, 主要从事光电对抗研究。E-mail: cengceng1986@yahoo.cn

(1) 飞机前端相对于整个机身来说非常小。这也就意味着, 即使导弹瞄准了前端, 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被探测到, 这也是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。

3 基于兴趣点的跟踪方法

兴趣点是根据局部亮度的变化率定义的^[2]。计算兴趣点需要大量的图像细节变化率。伪彩色红外图像可满足该要求, 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进行研究, 我们发现不同飞行速度下飞机发动机的温度总是最高的, 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, 我们在伪彩色图像中用绿色、蓝色和红色曲线来描述该跳跃。跳跃发生的区域包含大量局部强度变化信息, 因此, 我们通过探测该区域的兴趣点来完成末端制导。

该方法具有以下优点:

(1) 兴趣点所在的区域是稳定不变的。当视点改变时, 它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, 比飞机的头部和尾部宽, 几乎能从任何视点进行探测, 目标不易丢失。

(3) 兴趣点位于发动机附近, 导弹锁定目标后可极大地提高目标的毁伤概率。

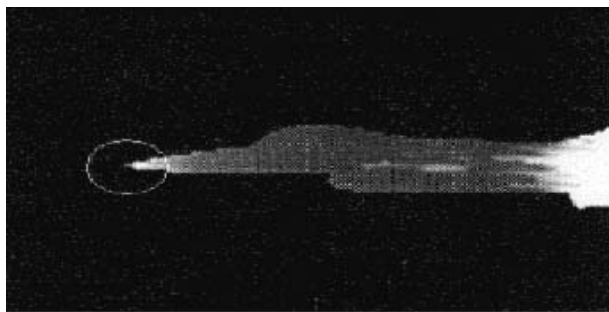


图 1 飞机前端

4 关键技术

4.1 最优的阶梯型边缘检测算法

在我们用于边缘检测的几种常用算子中, 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。因此, 我们采用了最优的阶梯型边缘检测算法。

第一步: 用高斯滤波器来平滑图像。

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

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

第二步: 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 2×2 阶模板作为对 x 和 y 方向偏微分的一阶近似:

$$H_1 = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad H_2 = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

由此得到梯度的大小和方向

$$\varphi(m, n) = \sqrt{\varphi_1^2(m, n) + \varphi_2^2(m, n)} \quad (4)$$

$$\theta_\varphi = \tan^{-1} \frac{\varphi_2(m, n)}{\varphi_1(m, n)} \quad (5)$$

第三步: 对梯度幅值进行非极大值抑制 (NMS)。

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

解决方法: 将梯度的方向定义为四个区, 各个区有可用来进行比较的不同邻近像素, 以决定局部极大值。这四个区及其相应的比较方向如图 2 所示。

3	2	1
0	M	0
1	2	3

图 2 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进行比较, 观察 M 的梯度值是否为局部极大值。如果不是, 就把像素 M 的灰度设为 0。即

$$N[i, j] = NMS(M[i, j], \xi[i, j]) \quad (6)$$

这个过程叫作“非极大抑制”。

第四步: 用双阈值算法来检测边缘。

减少假边缘段数量的典型方法是对 $N[i, j]$ 使用一个阈值并给低于阈值的所有值赋予零值。但问题是如何选取阈值?

解决方法: 采用双阈值算法。采用双阈值算法是对非极大值的抑制图像作用取两个阈值 τ_1 和 τ_2 , 且 $2\tau_1 \approx \tau_2$, 再将梯度值小于 τ_1 的像素灰度设为 0, 得到图像 $N_1[i, j]$, 然后将梯度值小于 τ_2 的像素灰度设为 0, 得到图像 $N_2[i, j]$, 从而可以得到两个阈值边缘图像 $N_1[i, j]$ 和 $N_2[i, j]$ 。由于 $N_1[i, j]$ 是使用低阈值得到的, 因而它保留了较多信息; 而 $N_2[i, j]$ 是使用高阈值得到的, 因而它含有很少的假边缘, 但有间断 (不闭合)。因此, 我们可以以图像 $N_2[i, j]$ 为基础并以图像 $N_1[i, j]$ 为补充来连接图像的边缘。

第五步: 用双阈值算法连接边缘。

用双阈值法把 $N_2[i, j]$ 中的边缘连接成轮廓。当到达轮廓的端点时, 就在 $N_1[i, j]$ 中的 8 邻点位置处寻找可以连接到轮廓上的边缘, 如此不断地在 $N_1[i, j]$ 中收集边缘, 直到将 $N_2[i, j]$ 连接起来为止。

具体步骤如下:

(1) 扫描图像 $N_2[i, j]$ 。当遇到一个非零灰度的像素 P 时, 跟踪以 P 为开始点的轮廓线, 直到该轮廓线的终点 Q 为止。

(2) 在图像 $N_1[i, j]$ 中考察与图像 $N_2[i, j]$ 中 Q 点位置相对应的点 Q' 的 8-邻近区域。如果 Q' 点的 8-邻近区域中存在非零像素 R' , 则将其纳入图像 N_2 中, 作为点 R 。从 R 开始, 重复第 (1) 步, 直到在图像 $N_1[i, j]$ 和图像 $N_2[i, j]$ 中都无法继续为止。

(3) 对包含 P 的轮廓线的连接已经结束, 将这条轮廓标记为已访问过。回到第 (1) 步, 寻找下一条轮廓线。然后, 重复第 (1)、(2)、(3) 步, 直到在图像 $N_2[i, j]$ 中再也找不到新轮廓线为止。

4.2 伪彩色转换

伪彩色转换就是把飞机的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关系变换成不同的彩色代码。

本文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, 其中不同的灰度级对应不同的彩色。根据色度学原理^[3], 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, 从而使对应的每一个函数都有相应的红、绿、蓝输出, 之后将三者合成为一色。

对提取的目标须依据上述方法进行伪彩色处理。本课题是依据灰度值采用三个正弦函数分别对 R 、 G 、 B 三通道进行转换的, 如图 4 所示。

低温区域中是以蓝色为主、绿色为辅的变换; 中温区域的前半部分是以绿色为主、蓝色为辅的变换, 后半部分则是以绿色为主、红色为辅的变换; 高温区域中则是以红色为主、绿色为辅

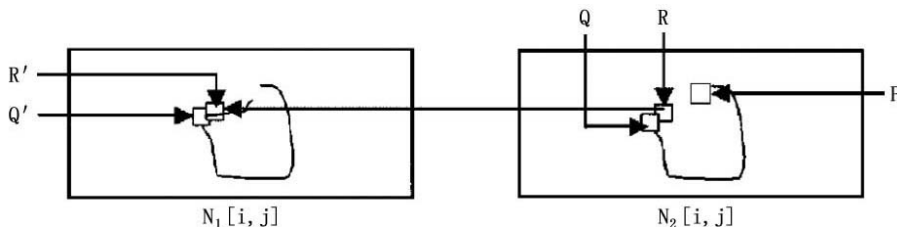


图 3 双阈值法中的边缘连接图

的变换。

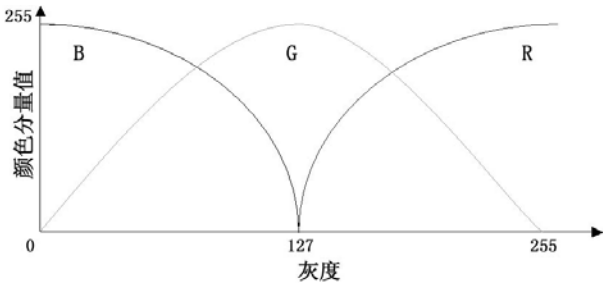


图 4 伪彩色处理的变换函数

4.3 兴趣点跟踪

依次对每个像素的 R、G、B 三个颜色通道分别进行 Laplace 运算^[4,5]。

$$L_R = \left(\left| \frac{\partial^2 R}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 R}{\partial y^2} \right| \right) \quad (7)$$

$$L_G = \left(\left| \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 G}{\partial y^2} \right| \right) \quad (8)$$

$$L_B = \left(\left| \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 B}{\partial y^2} \right| \right) \quad (9)$$

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, 于是保留下来的像素点就是我们需要的兴趣点。

$$L = \begin{cases} 1, & L_R < T_R, L_G < T_G, L_B < T_B \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

$L = 1$ 的点即为兴趣点。

(上接第 4 页)

芯片以及减少信号上升时间是提高测距精度的有效方法。以此为指导设计了一种高精度激光测距系统。测试表明, 在 3m ~ 500m 内, 几个不同距离的单次测距精度 (3σ) 为 0.077m ~ 0.115m, 而对于 500m 到 3km 的目标, 其测距精度则优于 0.05m+0.1‰D (D 为距离)。通过实验对比表明, 采用窄脉冲激光器和相匹配的接收电路带宽设计可以缩短信号的上升时间, 并对测距精度的改善有明显效果。

参考文献

得到的兴趣点区域是一个二维点集, 为此, 我们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。

5 结束语

本文采用基于兴趣点的跟踪方法来实现对飞机的精确跟踪, 并采用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, 最终实现以该区域的中心作为跟踪点来完成导弹对飞机的末端制导。

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] 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.
- [3] 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.
- [4] P Burt, E Adel son. The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code [J]. *IEEE Transaction on Communications*, 1983, 9(4): 532-540.
- [5] Matthew Brown, David Lowe. Invariant Features from InterestPoint Groups: Proceedings of the 13th British Machine VisionConference [C]. UK: University of Cardiff, 2002.

- [1] 冯国旭, 常保成. 高精度激光测距技术研究 [J]. *激光与红外*, 2007, 37(11): 1137-1140.
- [2] Califton S Fox. 主动光电系统 [M]. 天津: 《红外与激光工程》编辑部, 1996: 41-44.
- [3] Ruotsalainen T, Palojarvi P, Kostamovaara J. A Wide Dynamic Range Receiver Channel for a Pulsed Time-of-Flight Laser Radar [J]. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2001, 36(8): 1228-1238.
- [4] Merrill I Skolnik. 雷达系统导论 (第三版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [5] R Ziemer, W Tranter. Principles of Communications, 2nd ed [M]. Boston, USA: Houghton Mifflin, 1985.
- [6] 林均仰, 黄庚华, 舒嵘. 远距离目标跟踪监测激光雷达的现状与发展 [J]. *红外*, 2008, 29(3): 1-6.