

基于图像合成的导弹姿态角估计算法研究<sup>①</sup>杨文考<sup>②</sup> 郭 晶<sup>③</sup>

(北京交通大学电子信息工程学院 北京 100044)

**摘 要** 针对现有导弹姿态角估计算法对导弹姿态估计不够精确的问题,提出了一种基于图像合成的改进的导弹姿态角估计算法。该算法采用基于最大互信息的图像配准,而且选择小波变换融合算法对图像进行合成。在此基础上,采用弱透视投影理论,通过霍夫(Hough)变换自动提取模型特征点坐标,从而对导弹姿态角进行估计。基于最大互信息的图像配准,不需要对图像进行复杂地预处理,且能够很好地增强图像细节。仿真结果表明,应用图像合成方法和改进的姿态角估计算法可提高导弹姿态角估计的准确性,改进算法具有很好的通用性。

**关键词** 图像配准, 图像合成, 特征点, 姿态角

## 0 引 言

导弹跟踪控制的实现基于导弹姿态信息的准确估计<sup>[1]</sup>。也就是说,研究导弹的控制应先研究导弹的姿态信息,根据姿态信息决定如何控制。导弹的姿态信息包括导弹的位置、速度和方向,即导弹的质心位置、飞行速度和飞行过程中的俯仰角、偏航角和滚动角<sup>[2]</sup>。空中目标的姿态测量技术在国外已经有几十年的研究历史,技术较为成熟<sup>[3,4]</sup>,而国内相关单位只是做了一些概念性的研究<sup>[5]</sup>。现在国内外有关图像合成(image synthesis)的研究有很多<sup>[6]</sup>,涉及的领域也很广泛,但是将图像合成与导弹姿态控制结合起来的研究还不多见。本研究认为,创新性地图像合成与导弹姿态控制结合起来,探索图像合成对导弹姿态控制的影响,十分必要且具有现实意义。为了实现对导弹的有效控制,本研究将图像合成用于导弹姿态角的估计,提出了一种基于图像合成的改进的导弹姿态角估计算法。该方法在图像配准上引入了医学中常用的基于最大互信息的图像配准方法,不需要对图像进行特征提取,降低了算法复杂度,且能够很好地增强图像细节<sup>[6]</sup>。在姿态估计上,采用弱透视投影理论建立估测模型<sup>[7]</sup>,并创新性地通过Hough变换<sup>[8]</sup>检测直线并求取直线

交点的方法来获得模型特征点,其中特征点和需要检测的直线与导弹的模型无关,算法具有通用性。

## 1 图像的合成

在多对多系统中,由于拍摄环境、拍摄角度、拍摄误差等因素的影响,拦截方各拦截导弹在同一时刻获取的同一来袭导弹的图片不尽相同,为了确保姿态图中每一个来袭导弹的姿态都是清晰完整的,需要先对拦截导弹获取的图片进行合成。本文算法流程如图 1 所示。图像合成是一项比较复杂的工作,涉及的算法较多,计算量较大,主要包括图像配准和图像融合两部分。其中最关键的技术是图像配准。图像配准的主要工作有两点:插值算法和优化算法。

## 1.1 插值算法

常用的灰度级插值算法<sup>[8]</sup>有最邻近插值算法、双线性插值算法、立方卷积插值算法及本文所采用的部分体积(partial volume, PV)插值算法。PV插值法是一种专门针对两幅图像的联合直方图的更新而设计的插值技术,它并不是真正意义上的差值算法,因为通过 PV 差值算法并不能计算出反向变换点的灰度值。

① 863 计划(2010AA8015210P)资助项目。

② 男,1963 年生,博士,副教授;研究方向:数字视频,图像传输与处理,数字电视,多媒体技术,无线通讯;E-mail: wkyang@bjtu.edu.cn

③ 通讯作者,E-mail: 10120088@bjtu.edu.cn

(收稿日期:2011-07-01)

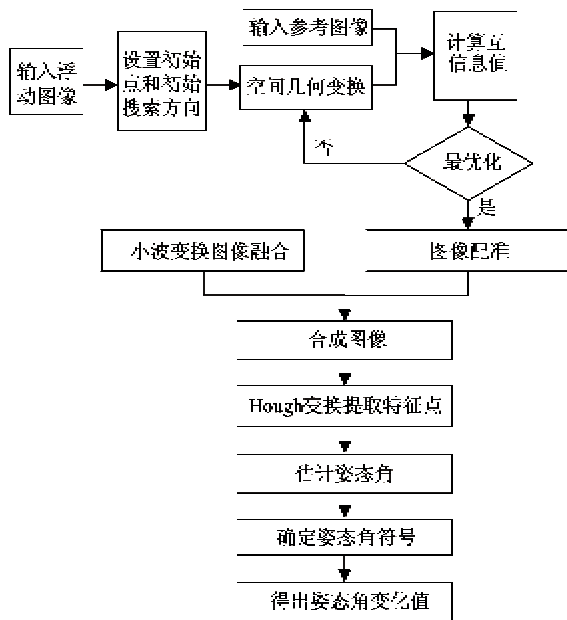


图1 本文算法流程图

PV 插值法的计算过程如图 2 所示。图中  $T_{\alpha}(x)$  为反向变换得到的一个浮点数点,其 4 个邻近像素点分别为  $n_1, n_2, n_3, n_4$ , 权值  $w_1, w_2, w_3, w_4$  与内圈像素点到左上角邻近像素点的水平距离和垂直距离  $dx, dy$  的关系如式

$$\begin{aligned}
 w_1 &= (1 - dx) \times (1 - dy) \\
 w_2 &= dx \times (1 - dy) \\
 w_3 &= dx \times dy \\
 w_4 &= (1 - dx) \times dy
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

所示。

PV 插值法避免了一次插值运算,使互信息的计算更为精确。更重要的是,将每对像素对联合直方图的贡献分散到联合直方图与之相邻的各个像素对上,联合直方图上各个点的值以一个小于 1 的小数值增加,从而得到比双线性插值更为光滑的目标函数,有利于优化搜索。

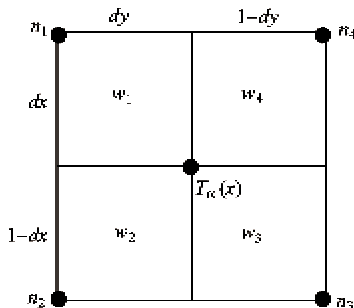


图2 PV 插值法示意图

### 1.2 改进的 Powell 优化算法

目前已经有很多优化算法,基本上都是组合了全局优化算法(如遗传算法)和局部优化算法(如 Brent 法、Powell 法等),由文献[5]可知在基于最大互信息的图像配准中采用改进的 Powell 算法进行优化搜索可以尽量减少局部极值的出现。

Powell 算法<sup>[9]</sup>是把整个计算过程分成若干轮迭代,每轮迭代由  $n+1$  次( $n$  为搜索函数的参数个数)一维搜索组成。在每轮的迭代过程中,首先进行一维搜索,这  $n$  次搜索是从初始点  $x_0$  出发依次沿着已知的  $n$  个方向进行的,搜索后得到一个最好点  $x$ ;接着沿  $x_0$  与  $x$  连线方向从点  $x$  出发进行 1 次一维搜索,得到本轮的最好点;然后改变初始点,构造新的搜索方向,进行新一轮的迭代过程。Powell 算法经过若干次搜索后,会产生一组共轭方向向量,在共轭方向上进行搜索得到极值点。这种算法要求  $n$  个搜索方向线性无关。遗憾的是,在变量很多的情况下,基本的 Powell 算法并不能很好地保证搜索方向的线性无关。本文中使用了改进的 Powell 算法。

改进的 Powell 算法与基本的 Powell 算法的思想基本相同,区别在于替换方向的规则不同。基本的 Powell 算法,每次迭代都会无条件地用新的搜索方向代替原来的搜索方向;而改进的 Powell 算法,在替换搜索方向时会考虑线性无关的问题,当初始搜索方向线性无关时,能够保证每轮迭代中一搜索方向为列的行列式不为零,因而这些方向是线性无关的,而且随着迭代的增加,搜索方向的共轭程度逐渐增强。改进的 Powell 算法可以很快完成优化,通过调整允许误差可以达到理想的优化效果,且可以有效地克服 PV 插值引起的局部极小值的影响。

### 1.3 小波变换融合算法

图像融合采用小波变换融合算法<sup>[10]</sup>。下面就以二维图像为例说明其图像融合过程。

图像的二维分解如图 3 所示,重构时分解反向。其中,  $cA_j$  和  $cA_{j+1}$  分别表示第  $j$  尺度低频系数和第

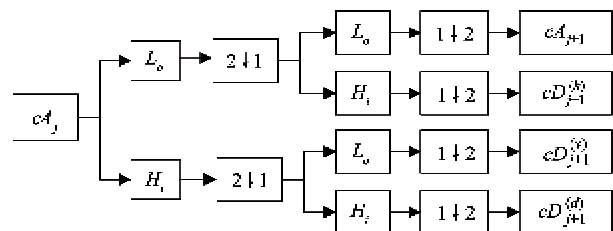


图3 图像的二维小波分解流程图

$j + 1$  低频系数图像;  $cD_{j+1}^{(k)}$ ,  $cD_{j-1}^{(l)}$  和  $cD_{j-1}^{(n)}$  分别表示第  $j + 1$  尺度的水平、对角线和垂直方向的高频图像。 $H_i$  和  $L_i$  分别表示高通滤波器和低通滤波器;  $2 \downarrow 1$  表示列抽样,并保留所有偶数列;  $1 \downarrow 2$  表示行抽样,并保留所有偶数行。

对于给定的二维图像  $R_1, R_2$ , 用小波变换进行图像融合,算法的具体实现步骤如下:

**步骤 1:** 首先对  $R_1$  和  $R_2$  进行图像预处理,完成图像直方图的匹配、重采样等工作,以消除图像之间的光照强度差异,然后按照给定的配准精度对待融合的图像进行配准。

**步骤 2:** 对  $R_1$  和  $R_2$  进行  $N$  层小波分解,分解形式如下:

$$\begin{cases} R_1 = R_{1(N)} + \sum_{i=1}^N w_i(R_1) \\ R_2 = R_{2(N)} + \sum_{i=1}^N w_i(R_2) \end{cases} \quad (2)$$

其中  $w_i(R_1)$  和  $w_i(R_2)$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) 表示  $R_1$  和  $R_2$  在第  $i$  层下的小波系数;  $R_{1(N)}$  和  $R_{2(N)}$  表示  $R_1$  和  $R_2$  在第  $N$  分阶层上的低频分量。

**步骤 3:** 使用合适的融合准则,对小波系数进行融合处理,其中  $f_1$  和  $f_2$  为相应的融合算子:

$$\begin{cases} F_N(k, l) = f_1(R_{1(N)}(k, l)R_{2(N)}(k, l)) \\ w_i(F) = f_2(w_i(R_1), w_i(R_2)) \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

**步骤 4:** 利用  $w_i(F)$  和  $F_N$  进行小波逆变换,得到最终的融合结果图像。

## 2 改进的导弹姿态角估计算法

通过导弹的摄像头可以获得一系列的图片,它们包含了大量的信息,能够被导弹用来完成跟踪、控制、识别和辨认目标。对着图片进行合成后一幅图片中包含的信息更为全面且准确。本文提出了一种改进的导弹姿态角估计算法,其中利用 Hough 变换检测直线求取直线交点的方法自动提取特征点。

### 2.1 特征点定义及提取

文献[7]中特征点是通过手动提取,本文的姿态角估计算法,是通过 Hough 变换<sup>[5]</sup>等方法自动提取特征点的,比手动提取要精确得多。特征点的定义及提取过程如下<sup>[11]</sup>:

特征点定义如图 4 所示,  $A$  点和  $B$  点位于弹翼两端,对称于  $X$  轴;  $C$  点位于弹的最顶部;  $E$  点位于导弹风帽上方;  $A, B, C$  三点在同一平面上。

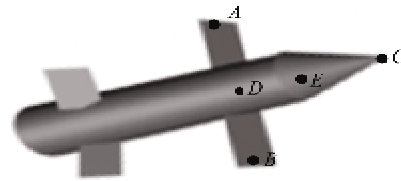


图 4 特征点定义

特征点的提取算法(参见图 5):

(1) 通过 Hough 变换依次检测出直线段最长的两条直线  $MN$  或  $OP$  并将其视为平行线;

(2) 求这两条直线的中轴线  $CG$  的直线方程,并依次检测出另外两条直线  $C_1M_1, C_2O_1$  与中轴线  $CG$  分别相交于  $C_1, C_2$ , 求出  $C_1, C_2$  两点连线的中心点  $C$  坐标;

(3) 联结线段  $O_1M_1$  与中轴线  $CG$  相交于一点,根据 Hough 变换原理,我们测量得到的导弹风帽投影图像边缘点的连线总是相交于一点,该点即为  $E$  点,求出  $E$  点坐标;

(4) 通过 Hough 变换依次检测出  $0^\circ$  的直线段最短的两条直线  $AA'$  或  $BB'$ ,  $90^\circ$  的直线段最短的两条直线  $AA''$  或  $BB''$ , 依次求出  $AA'$  和  $AA''$  的交点  $A$  的坐标值,  $BB'$  和  $BB''$  的交点  $B$  的坐标值。至此估计姿态角时所需的 4 个特征点都可以自动地提取出来。由  $A, B$  两点的坐标可得出  $D$  点的坐标。

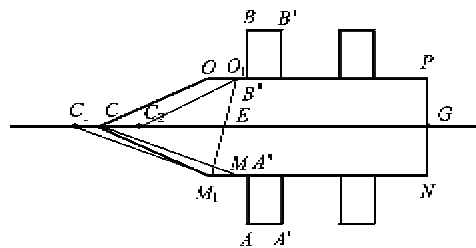


图 5 Hough 变换提取特征点算法示意图

### 2.2 三维旋转模型

根据弱透视投影理论,空间三点可以决定物体的三维姿态。本文采用三个特征点进行姿态估计,其三维旋转模型如下所述。弱透视理论<sup>[12]</sup>要求导弹上的三维特征点到摄像机的距离非常接近,即导弹之间的距离很大,将三点视为同一平面。导弹坐标系和摄像机坐标系,如图 6 所示。

假设某型导弹所用摄像机为针孔摄像机,其模型为

$$vu = k[R \ t]M \quad (4)$$

设定非零的比例系数  $v$ , 图像坐标系下图像平

面上点表示为  $u = [s \ m \ l]^T$ , 摄像机固有参数  $k = \text{diag}(f, f, l)$ , 平移矩阵为  $t = [t_x \ t_y \ t_z]$ , 导弹三维点坐标为  $M = [x \ y \ z \ l]^T$ 。在该坐标系下三维旋转矩阵为  $R$ , 基于图4, 其定义式如下:

$$R = \begin{bmatrix} \sin\phi\sin\theta\sin\varphi + \cos\theta\cos\varphi & \sin\varphi\cos\phi \\ \sin\phi\sin\theta\cos\varphi - \cos\theta\sin\varphi & \cos\varphi\cos\phi \\ \sin\theta\cos\varphi & -\sin\phi \\ \cos\theta\sin\phi\sin\varphi - \sin\theta\cos\varphi \\ \cos\theta\sin\phi\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi \\ \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

图6中  $\theta, \phi, \varphi$  箭头所指方向为  $\theta, \phi, \varphi$  的正方向<sup>[13]</sup>。

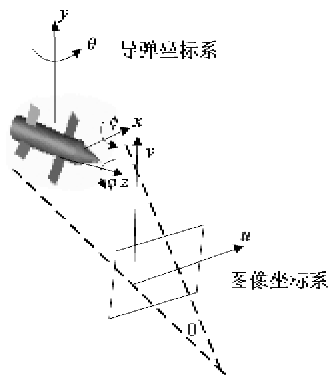


图6 坐标系和旋转角定义

### 2.3 估计姿态角

首先根据模型求出  $\varphi_1, \varphi_2$  (下标 1, 2 表示运动中导弹的两个不同姿态) 的大小, 然后采用“扫描迭代算法”<sup>[13, 14]</sup> 来逼近  $\phi_1, \phi_2, \theta_1, \theta_2$  的值。在图6的坐标系的定义下,  $A, B, C$  三点的三维坐标表示为:  $A(0, y_A, z_A), B(0, -y_A, z_A), C(x_C, 0, z_A), E(x_E, 0, z_E)$ 。假设  $D$  点为  $AB$  中点, 坐标为  $D(0, 0, z_A)$ 。摄像机在导弹运动前后得到两幅图像中的点坐标分别定义为  $(u_{A1}, v_{A1}), (u_{A2}, v_{A2}), (u_{B1}, v_{B1}), (u_{B2}, v_{B2}), (u_{C1}, v_{C1}), (u_{C2}, v_{C2}), (u_{E1}, v_{E1}), (u_{E2}, v_{E2}), (u_{D1}, v_{D1}), (u_{D2}, v_{D2})$ , 通过和其他四点非共面的点  $E$  可以确定姿态角变化的方向<sup>[15]</sup>。基于式(4)和式(5)可得:

$$\begin{aligned} u_A &= y_A(f/s)\sin\varphi\cos\phi + (f/s)t_x \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\sin\varphi - \sin\theta\cos\varphi) \\ v_A &= y_A(f/s)\cos\varphi\cos\phi + (f/s)t_y \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi) \\ u_B &= -y_A(f/s)\sin\varphi\cos\phi + (f/s)t_x \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\sin\varphi - \sin\theta\cos\varphi) \\ v_B &= -y_A(f/s)\cos\varphi\cos\phi + (f/s)t_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi) \\ u_C &= x_C(f/s)(\sin\phi\sin\theta\cos\varphi - \cos\theta\sin\varphi \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi) \\ &\quad + (f/s)t_x \\ v_C &= x_C(f/s)(\sin\phi\sin\theta\cos\varphi - \cos\theta\sin\varphi \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi) \\ &\quad + (f/s)t_y \\ u_E &= x_E(f/s)(\sin\phi\sin\theta\sin\varphi + \cos\theta\cos\varphi \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\sin\varphi - \sin\theta\cos\varphi) \\ &\quad + (f/s)t_x \\ v_E &= x_E(f/s)(\sin\phi\sin\theta\cos\varphi - \cos\theta\sin\varphi \\ &\quad + Z_A(f/s)(\cos\theta\sin\phi\cos\varphi + \sin\theta\sin\varphi) \\ &\quad + (f/s)t_y \end{aligned}$$

$$u_D = \frac{u_A + u_B}{2}, \quad v_D = \frac{v_A + v_B}{2} \quad (6)$$

基于上式可以推导出:

$$\begin{aligned} M &= (u_{B1} - u_{A1}) / (v_{B1} - v_{A1}), \\ N &= (u_{B2} - u_{A2}) / (v_{B2} - v_{A2}), \\ L &= (v_{C1} - v_{D1}) / (u_{C1} - u_{D1}), \\ O &= (v_{C2} - v_{D2}) / (u_{C2} - u_{D2}), \\ P &= (u_{B1} - u_{A1}) / (u_{B2} - u_{A2}), \\ Q &= (u_{C1} - u_{D1}) / (u_{C2} - u_{D2}), \\ S &= (v_{E1} - v_{D1}) / (u_{E1} - u_{D1}), \\ T &= (v_{E2} - v_{D2}) / (u_{E2} - u_{D2}), \\ W &= (u_{E1} - u_{D1}) / (u_{E1} - u_{D1}) \end{aligned} \quad (7)$$

为了简化运算, 定义  $a = \cos\varphi_1, b = \sin\varphi_2, c = \cos\varphi_2, d = \sin\varphi_2, e = \cos\theta_1, f = \sin\theta_1, g = \cos\theta_2, h = \sin\theta_2, i = \cos\phi_1, j = \sin\phi_1, k = \cos\phi_2, l = \sin\phi_2$ 。

由以上推导可知:  $\varphi_1, \varphi_2$  可以直接计算得到; 在已知  $\phi_1$  后, 可以根据上述提出的算法计算出  $\theta_1, \theta_2, \phi_2$  的值。本文采用“轮询算法”来逼近  $\phi_1$ , 随着  $\phi_1$  逼近实际值,  $\theta_1, \theta_2, \phi_2$  也会逼近实际值。为了实现轮询, 预先设定  $\phi_1$  的误差范围, 如果  $\phi_1$  轮询迭代前后的误差在这一范围内, 就认为得到了  $\phi_1$  的值。具体算法如下:

(1) 由  $M, N$  的表达式可得  $\varphi_1$  和  $\varphi_2$ :  $\varphi_1 = \arctan(M), \varphi_2 = \arctan(N)$ 。

(2) 设定  $\phi_1$  的初始值为  $\phi_{10}$ , 由  $L$  的表达式可得  $\theta_1 = \arctan(\frac{La + b}{la - Llb})$ , 由  $O$  的表达式可得  $\theta_2 = \arctan(\frac{oc + d}{jc - ojd})$ , 由  $P$  的表达式可得  $\phi_2 = \arccos(\frac{bk}{pd})$ 。

(3) 由  $Q$  可得  $\phi_2$  的迭代值  $\phi_{11} = \arcsin(\frac{Q(jhd + gc) - ea}{fb})$ 。

(4) 计算误差  $\varepsilon = (\phi_{11} - \phi_{10})^2$ , 其值在设定的误差范围内时,  $\phi_1 = \phi_{11}$ , 再据此计算出  $\theta_1, \theta_2, \phi_2$  的值; 否则  $\phi_{10} = \phi_{11}$ , 返回(2)。

(5) 得出姿态估计参数  $\varphi_1, \varphi_2, \phi_1, \phi_2, \theta_1, \theta_2$ 。

在空间中由三点确定的平面, 不同的滚转角和俯仰角可以产生相同的投影图像。我们通过图像中三点来估计空间导弹姿态角变化时, 其变化方向是不确定的。如图 7 所示, 空间三角平面分别具有大小相同但方向相反的滚转角和俯仰角, 可以在图像平面上形成相同的投影图像。令  $H = \frac{x_E}{z_E - z_A}$ , 在如图 7 所示的坐标系中  $H > 0$ 。由  $W$  的表达式可得:

$$H = \frac{elb - fa - W(gid - hc)}{W(jhd + gc) - (lfb + ea)} \quad (8)$$

$$S = \frac{H(lfa - eb) + ela + fb}{H(lfb + ea) + elb - fa} \quad (9)$$

$$T = \frac{H(jbc - gd) + gic + hd}{H(jhd + gc) + gid - hc} \quad (10)$$

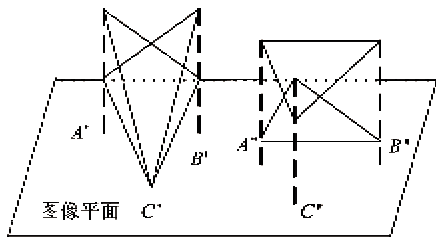


图 7 姿态角变化方向的不确定性示意图

姿态角方向确定步骤如下:

(1) 先通过图像当中特征点  $E$  的坐标值计算  $S, T, W$  的值。

(2) 将  $\{\pm \phi_2, \pm \phi_1, \pm \theta_2, \pm \theta_1, \pm \varphi_2, \pm \varphi_1\}$  的 16 种组合代入式(8)中, 计算  $H$  的值, 舍弃使  $H < 0$  的组合项。

(3) 余下的组合通过式(9)、式(10)计算出  $S, T$ 。

(4) 将计算得到的  $S, T$  与步骤(1)得到的  $S, T$  比较, 选择最小误差的组合项作为姿态角。

(5) 输出估计出的姿态参数的变化值:  $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1, \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1, \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ 。

### 3 实验仿真及结果分析

利用本文所讲的基于最大互信息的图像配准方法和图像融合方法, 通过 MATLAB 仿真实现了图像的合成, 合成结果见图 8。使用 3Dmax 产生导弹的一种姿态, 然后通过鼠标改变导弹的姿态角, 产生另外一种姿态, 从每一种姿态中获取两幅图像, 其中一幅作为参考图像(如图 8(a)), 另一幅作为浮动图像(如图 8(b))。

共产生两组对比效果图: 未配准合成图像和配准后合成图像的对比; 使用本文所阐述的小波变换法合成的图像与使用主成分分析(PCA)融合方法<sup>[5]</sup>合成的图像对比。从视觉效果来看, 对比图 8 中(d)和(f)(或者(e)和(g))可见, 采用图像配准合

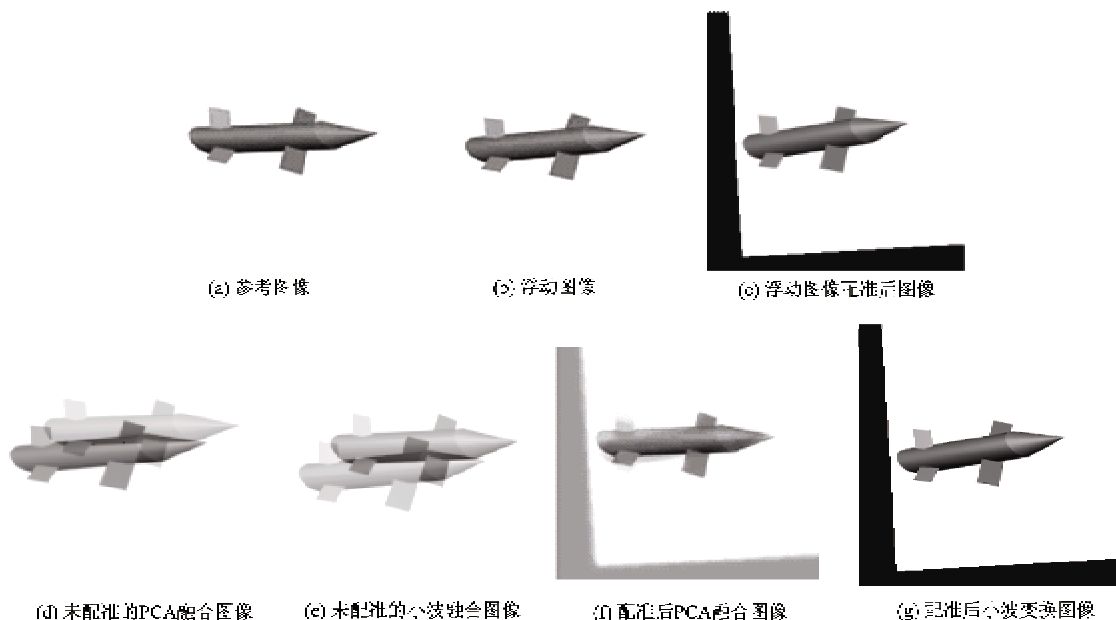


图 8 图像合成结果

成的图像比未采用图像配准要清晰得多。由图 8 中 (f) 和 (g) 对比可见,采用小波变换方法合成的图像明显比 PCA 方法合成的图像更清晰、准确。

因此,在对导弹姿态角的估计中我们使用图像配准和小波变换融合算法相结合所产生的合成图像(图 8(g)),并将其估计效果与参考图像(图 8(a))和浮动图像(图 8(b))估计的效果,进行了对比,其中在 Hough 变换中使用了 Roberts 算子。图 9 是三幅图像经过 Hough 变换检测直线的效果图,从图中可以看出,合成图像比参考图像或者浮动图像的直线检测结果更加丰富。

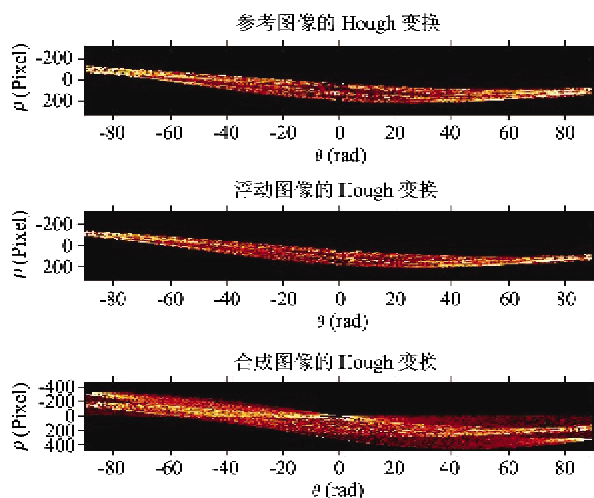


图 9 参考图像、浮动图像和合成图像经过 Hough 变换检测直线的效果图

根据直线检测的结果提取特征点坐标,估计姿态角并确定姿态角方向。表 1 是 5 组姿态角估计中的一组结果。在 3Dmax 中实际模型变换的姿态角如表所示,  $\Delta\phi$ 、 $\Delta\theta$ 、 $\Delta\varphi$  分别为  $8^\circ$ 、 $6^\circ$  和  $-5^\circ$ ,用参考图像和浮动图像估计的结果都偏离了接近  $1^\circ$ ,而使用本文中的合成图像估计的结果偏离范围在  $0.5^\circ$  以内。可见基于计算机视觉中弱透视投影理论的导弹相对姿态估计方法,可以快速地估计出导弹的相对姿态,并且估计误差都在  $1^\circ$  以内,使用本文所提出的图像合成方法和改进的姿态角估计算法估计出的姿态角的误差更小,在  $0.5^\circ$  以内,精确度提高了 1 倍,与实际模型变换结果更为接近。这是因为,图像合成可以增强图像中关键点和关键直线的细节,也可以校正图像拍摄过程中由于坐标不一致的误差,使得提取的体征点的坐标更为精确,进而使得估测结果更贴近实际。

表 1 导弹姿态角估计实验结果

姿态角	$\Delta\phi(^{\circ})$	$\Delta\theta(^{\circ})$	$\Delta\varphi(^{\circ})$
模型变换结果	8	6	-5
用参考图像估计结果	8.96	5.02	-4.31
用浮动图像估计结果	8.79	5.17	-4.08
用合成图像估计结果	8.33	5.89	-4.72

## 4 结论

本文在分析和总结传统的图像合成方法和姿态角估计算法的基础上,提出了一种基于图像合成的改进的导弹姿态角估计算法。改进算法只需要 4 个特征点且特征点自己定义,能够自动提取使结果更加精确,求取过程不依赖于导弹的模型,使得算法具有普遍适用性。图像配准中采用 PV 插值和改进的 Powell 算法进行优化,可以很好地增强图像细节,结合小波变换融合算法对图像进行合成,图像更加清晰准确。对合成的图像采用 Hough 变换自动提取模型特征点坐标,利用改进算法对导弹姿态角进行估计。估计结果比单纯的使用参考图像或者浮动图像的准确性提高了 1 倍,精确范围的估计误差从  $1^\circ$  缩小到  $0.5^\circ$ 。

## 参考文献

- [ 1 ] 马向玲,高波,李国林. 导弹集群协同作战任务规划系统. 飞行力学,2009,2:55-60
- [ 2 ] 刘兴堂. 精确制导、控制与仿真技术. 北京:国防工业出版社,2006.2:30-45
- [ 3 ] Randal W B, Timothy W M. Coordinated target assignment and intercept for unmanned air vehicles. In: Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington, USA, 2002, 18 (6). 911-922
- [ 4 ] Bauso D, Giarre L, Pesenti R. Multiple UAV cooperative path planning via neuro-dynamic programming. In: Proceedings of the 43rd IEEE Conference on Decision and Control, Atlantis, Paradise Island, Bahamas, 2004. 1087-1092
- [ 5 ] 邓以高,田军挺,王亚峰等. 飞行器姿态控制方法综述. 战术导弹控制技术,2006,2(53):7-13
- [ 6 ] Yamamura Y, Kim H, Yamamoto A. A method for image registration by maximization of mutual information. In: Proceedings of the SICE-ICASE International Joint Conference 2006 Oct. Bexco, Busan, Korea, 2006. 18-21
- [ 7 ] Alter T D. 3-D pose from 3 points using weak-perspective. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine

- Intelligence*, 1994, 8 (16):802-808
- [ 8 ] 陈显毅. 图像配准技术及 MATLAB 编程实现. 北京: 电子工业出版社, 2009. 5:79-89
- [ 9 ] 杨帆, 张汗灵. 遗传算法和 Powell 法结合的多分辨率三维图像配准. *光电子·激光*, 2006, 17(6):755-758
- [ 10 ] 杨波. 基于小波的像素级图像融合算法研究:[ 博士学位论文]. 上海: 上海交通大学电子信息与电气工程学院自动控制系, 2008
- [ 11 ] Penney G P, Weese J, Little J A, et al. A comparison of similarity measures for use in 2-D-3-D medical imaging. *IEEE transactions on medical imaging*, 1998, 17(4): 586-595
- [ 12 ] Matthews I, Xiao J, Baker S. 2D. VS. 3D deformable face models: representational power, construction and real-time fitting. *International Journal of Computer Vision*, 2007, 75(1):93-113
- [ 13 ] 吕日好, 赵长寿, 杨中文. 空中目标姿态角测量计算方法研究. *仪器仪表学报*, 2006, 27(6):1211-1212
- [ 14 ] 朱仕永, 祖静, 范锦彪. 姿态角测试研究. *电子设计工程*, 2009, 17(1):12-13
- [ 15 ] Mao Y X, Suen C Y, Sun C X, et al. Pose estimation based on two images from different views. In: *Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, Washington, DC, USA, 2007. 9-15

## Research on an algorithm for missile attitude angle estimation based on image synthesis

Yang Wenkao, Guo Jing

(Electronics & Information Engineering of Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

### Abstract

The technique of image synthesis was applied to this study to achieve the accurate estimation of missile attitude angles, and an improved attitude angle estimation algorithm based on image synthesis was proposed. The improved estimation algorithm performs the image registration based on the largest mutual information, and selects the wavelet transform fusion algorithm to finish the image synthesis. And on this basis, the model feature points coordinates can be automatically extracted through the Hough transform algorithm to estimate the attitude angles of missiles by using the theory of weak perspective projection. The image registration method based on the largest mutual information does not require complex image pre-processing, but has the performance of enhancing the image synthesis. The simulation results show that the algorithm proposed can increase the accuracy of missile attitude angle estimation and it has the good versatility.

**Key words:** image registration, image synthesis, feature points, attitude angle