

一种抗几何畸变的景象匹配方法

胡礼勇, 杨小冈, 缪 栋

(第二炮兵工程学院 303 教研室, 西安 710025)

摘 要: 在分析景象匹配实时图获取过程中几何畸变产生原因的基础上, 利用弹上高度传感器和姿态角传感器获取的图像高度和姿态信息, 实现了畸变实时图的几何校正, 给出了校正实时图大小和偏移量的确定方法, 结合匹配计算和匹配结果修正, 提出了一种抗几何畸变的景象匹配方法。仿真实验结果验证了该方法的有效性和实用性。

关键词: 景象匹配; 几何畸变; 实时图; 几何校正

Method of Anti Geometric Distortion for Scene Matching

HU Liyong, YANG Xiaogang, MIAO Dong

(303 Teaching and Research Section, The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025)

【Abstract】 Based on the analysis of the reason of geometric distortion in the process of capturing real-time image, utilizing the data acquired by the altitude sensors and the attitude angle sensor, the geometry correction of the distortion in real-time image is realized and a method for confirming the size and the offset of the real-time image is given. With the correction of the matching calculation and its results, a method of anti geometric distortion for scene matching is presented. The validity and the practicability of the method are verified by simulation experiment.

【Key words】 Scene matching; Geometric distortion; Real-time image; Geometry correction

景象匹配技术在飞机辅助导航、远程武器或精确制导武器系统如巡航导弹的末制导、光学或雷达图像的目标搜索与定位等军事领域具有重要的应用价值。几何失真使景象匹配性能下降的重要原因, 所以在进行相关匹配前应该尽量消除几何失真所造成的影响。消除方法最常用的就是进行几何校正。通常几何校正的方法是先获得控制点对, 得到两幅图像的对对应点坐标, 然后在按照仿射变换或者投影变换使两幅图像对准在一个坐标空间下。

这实际上也正是景象匹配的过程, 计算量大且可靠性不高, 对于实时性要求很高的巡航导弹末制导来说该方法并没有多大的实际意义。但对于以巡航导弹作为平台的景象匹配末制导系统来说, 获得所摄图像的比例、方位信息并非难事, 所以本文从景象匹配实时图生成过程中几何畸变产生的原理出发, 利用导弹上的高度传感器、姿态角传感器来获取图像的高度和姿态信息对实时图进行校正, 结合匹配计算和匹配结果修正, 提出了一种抗几何畸变的景象匹配方法。

1 实时图的几何校正

导弹在理想的飞行状态下, 弹体应该与地面平行且飞行高度一定, 这时导弹上的相机成像区域是一个矩形且分辨率与景象匹配系统设定的实时图分辨率相同。但是由于导弹在飞行过程中受到各种干扰因素的影响, 导致弹体存在一定的姿态角偏差和飞行高度偏差, 从而使弹载摄像机出现姿态偏差和高度偏差, 以致摄像机成像区域相对于理想状况发生偏离, 造成所拍摄实时图产生几何畸变。只要求出成像区域, 在成像区域上截取一部分作为新的实时图, 问题就迎刃而解了。

1.1 坐标系定义

(1) 摄像坐标系 $o_1x_1y_1z_1$

原点 o_1 选在摄像头的位置, o_1x_1 轴沿弹头纵轴指向前方, o_1y_1 轴在纵对称平面内, 与 o_1x_1 轴垂直向上, 称为法向轴; o_1z_1 轴垂直于纵向平面, 并与 o_1x_1 轴和 o_1y_1 轴满足右手定则。

(2) 基准坐标系 $oxyz$

原点 O 选在摄像头正下方地面上对应点的位置, ox 轴沿规定导弹所飞行的方向指向前方, oy 轴与基准图所在平面垂直向上, oz 轴与 ox 和 oy 构成的平面垂直, 并满足右手定则。

1.2 校正实时图的求取

假设这里所有的单位长度都为基准图中相邻像素点间的距离, 设获取的原实时图的大小 $n \times n$, 摄像机在基准坐标系中的坐标为 $(0, y_0, 0)$, 导弹的偏航角为 ψ 、俯仰角为 θ 、滚动角为 γ 。其中 y_0 可由弹上高度传感器得出, 三个姿态角可由姿态角传感器获得。

(1) 成像标准高度 h 的计算

由于当摄像头一定时, 就决定了其成像的大小, 要想得到理想分辨率的图像, 则飞行高度必须满足要求。ICCD相机在成像时, 可以看成是一个四棱锥和一个平面求交, 在这里, 四棱锥对角棱边的夹角恒定不变, 总保持在 120° , 因而不论导弹在何种姿态下, ICCD成像形成的四棱锥各棱边、棱面之间的几何关系也是恒定不变的。设在理想状况下, 导弹的高度为 h , 在地面的成像区域对应的和基准图分辨率相同的实

基金项目: 总装“十五”预研项目

作者简介: 胡礼勇(1982-), 男, 硕士生, 主研方向: 精确制导及图像处理等技术研究; 杨小冈, 博士生; 缪 栋, 教授、博导

收稿日期: 2006-03-12 **E-mail:** huliuyong82@163.com

时图大小为 $n \times n$, 则可得

$$h = n / \sqrt{6} \quad (1)$$

(2) 摄像坐标系与基准坐标系的转换关系

设空间中一点在基准坐标系的坐标为 (x, y, z) , 在摄像坐标系中的坐标为 (x_1, y_1, z_1) , 则可求出坐标转换关系为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ y_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(2)中转换矩阵 G 为

$$G = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & -\sin\theta\cos\psi\cos\gamma + \sin\psi\sin\gamma & \sin\theta\cos\psi\sin\gamma + \sin\psi\cos\gamma \\ \sin\theta & \cos\theta\cos\gamma & -\cos\theta\sin\gamma \\ -\cos\theta\sin\psi & \sin\theta\sin\psi\cos\gamma + \cos\psi\sin\gamma & -\sin\theta\sin\psi\sin\gamma + \cos\psi\cos\gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

(3) 成像区域中心点相对于理想中心偏移量的计算

当导弹在理想状态下飞行时, 成像区域的中心应该在摄像头位置的正下方即基准坐标系的原点 O 处, 而在姿态和高度偏差条件下成像区域发生偏差, 设在基准坐标系中对应的点为 $(p, 0, q)$ 。

因为在数字图像中坐标都为整数, 所以希望偏移量也是整数, 对 p 和 q 取整即得得相对的偏移量 P 和 Q 。由于原实时图大小为 $n \times n$, 理想成像高度为 h , 则在摄像坐标系中摄像头成像棱边上由 4 个定点 $A_1(n/2, -h, -n/2)$, $B_1(-n/2, -h, -n/2)$, $C_1(-n/2, -h, n/2)$, $D_1(n/2, -h, n/2)$ 所围的区域和原实时图是完全对应相同的, 其中心点 $E_1(0, -h, 0)$ 即对应原实时图的中心点。

通过给定的姿态角可求出坐标变换矩阵 G , 再由坐标变换公式可求出该点在基准坐标系中的坐标 (x_e, y_e, z_e) 。空间中两点可以确定一条直线, 所以可以建立起 O_1E_1 在基准坐标系下的直线方程。令 $y = 0$ 即可求出与 xOz 平面的交点 E 的坐标 $(p, 0, q)$ 为

$$\left(x_e - \frac{x_e y_e}{y_e - y_0}, 0, z_e - \frac{z_e y_e}{y_e - y_0} \right) \quad (4)$$

则偏移量 P 、 Q 分别为对 p 和 q 取整得到。

(4) 校正实时图大小及区域的确定

由上述求 E_1 点在基准坐标系中投影点 E 相同的方法即可得到 A_1 、 B_1 、 C_1 、 D_1 在基准坐标系中的投影点 A 、 B 、 C 、 D , 连接这四点即得摄像头实际的成像区域。在成像区域中截取的新实时图能够含有尽量多的信息而且不超过成像区域, 所以涉及到实时图大小确定的问题。在这里选取 (P, Q) 点作为新的实时图的中心, 因为这样可以轻易实现新实时图相对于摄像头位置的定位。

假设新实时图大小为 $m \times m$, 则所截取的区域为正方形, 且在 xOz 平面内, 中心点为 (P, Q) , 则正方形的两条对角线分别为 $x - z = P - Q$ 和 $x + z = P + Q$, 这两条直线与成像区域的四条边共有 4 个交点, 求出这 4 个交点中离中心点最近的点即 x 方向坐标差最小的点, 设最小的差值绝对值为 d_{\min} , 对其取整作为正方形边长的一半 $m/2$, 这样正好保证正方形在成像区域内且含有允许条件下的最大信息。这个以 E 点为中心, m 为边长的正方形即为新实时图的成像区域。

(5) 校正实时图的生成

上面已经得出校正实时图的大小和成像区域, 只需把校

正实时图上的点赋以它在原实时图上对应点的灰度值即可得到校正后的实时图。由于新实时图和截取的成像区域是对应相同的, 设新实时图左上角点为 $(0, 0)$, 则实时图中任意一点 (x, y) 在基准坐标系中对应点为

$$(P + x - m/2, 0, Q + y - m/2)$$

通过变换可求得该点在摄像坐标系中的坐标 F 为

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \\ z_f \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} P + x - m/2 \\ -y_0 \\ Q + y - m/2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式(5)中 H 为变换矩阵 G 的逆矩阵, 而 G 为正交矩阵, 则 H 即为 G 的转置。

连接 O_1F 可求出过这两点的直线方程, 令 $y_1 = -h$ 则可得该直线与矩形 $A_1B_1C_1D_1$ 的交点, 可求得该点的坐标为 $(-x_f h / y_f, -h, -z_f h / y_f)$, 该点对应的原实时图中坐标为 $(-x_f h / y_f + n/2, -z_f h / y_f + n/2)$, 把原实时图中该点的灰度值赋予 (x, y) 。

但由于这里所求得的对对应点坐标可能为小数, 而数字图像的坐标都为整数, 因此在这里可采用双线性插值的方法来解决这一问题, 生成大小为 $m \times m$ 的校正实时图。

2 匹配方法的设计

上面给出了几何畸变实时图的校正方法, 且得出了校正实时图的大小和相对偏移量, 可以用校正后的实时图进行景象匹配, 并用得到的相对位置信息对匹配结果进行修正。

(1) 匹配计算

在景象匹配中, 度量实时图和基准图任一子图相似性程度有很多种方法, 在这里采用了常用的归一化积相关算法。具体为先在基准图 X 中任一位置截取与实时图 Y 大小相同的子图(称为基准子图); 然后计算实时图与基准图中任一位置为 (u, v) 的基准子图的归一化积相关系数 $R(u, v)$ (又称 NProd 系数)。则

$$R(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{u+i, v+j} Y_{i, j}}{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{u+i, v+j}^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Y_{i, j}^2 \right)^{1/2}} \quad (6)$$

式(6)中 $m \times n$ 为实时图的大小。这样, 对于基准图, 当以实时图在其中逐像素进行搜索匹配时, 在不同位置都可以得到一个 NProd 系数, 所有位置 NProd 系数的集合便形成相关曲面。相关曲面达到最高峰即当 NProd 系数取得最大值时说明两图的相似程度最高, 该点即为实时图匹配的位置。

(2) 匹配结果的修正

由上述归一化积相关算法可得到校正后实时图的匹配位置, 通过计算可得到校正实时图中心在基准图中的位置, 但由于校正实时图的中心相对于理想的成像中心即摄像头的位置在 x 方向和 z 方向上分别有大小为 P 和 Q 的偏移量, 因此要对匹配结果进行修正才可以得到理想的成像中心即摄像头所处的位置。

设新实时图的大小为 $m \times m$, 归一化积相关所得的匹配位置为 (U, V) , 则可得修正后摄像头的位置为

$$(U - P + m/2, V - Q + m/2)$$

基于利用高度和姿态角信息对实时图进行几何校正的方法, 结合匹配计算和匹配结果修正, 本文提出了一种抗几何畸变的景象匹配方法。

具体流程如图 1 所示。

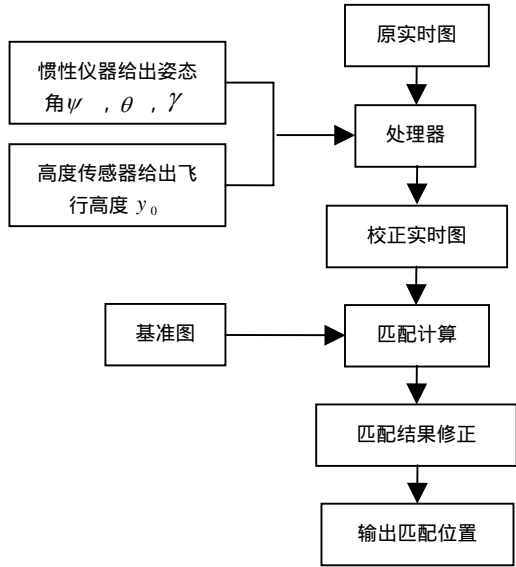


图 1 匹配方法流程

3 仿真结果分析

基于上述给出的抗几何畸变的景象匹配方法，利用 C++ Builder 6 软件平台仿真实现了不同高度和不同姿态角情况下实时图的自动校正及匹配结果的自动修正。仿真试验采用大小为 256×256 的基准图，原始实时图的大小均为 80×80，且摄像位置都处于基准图的中心。表 1 给出了 5 个存在几何畸变的实时图的参数，对应的实时图如图 2 所示。表 2 给出了通过本方法对畸变实时图进行自动校正后得出的校正实时图参数，对应的实时图如图 3 所示。表 3 给出了校正后实时图

表 1 原实时图参数表

原实时图	摄像高度	偏航角 ψ	俯仰角 θ	滚动角 γ
a	1.2h	0°	0°	0°
b	h	15°	0°	0°
c	h	0°	15°	0°
d	h	0°	0°	15°
e	1.2h	8°	8°	8°

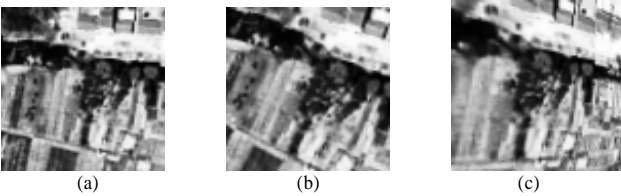


图 2 原实时图

表 2 校正实时图参数表

校正实时图	大小	偏移量 P	偏移量 Q
a	96×96	0	0
b	64×64	0	0
c	62×62	8	0
d	62×62	0	-8
e	66×66	4	-6

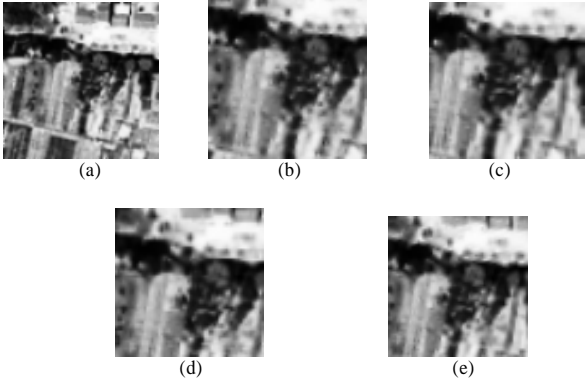
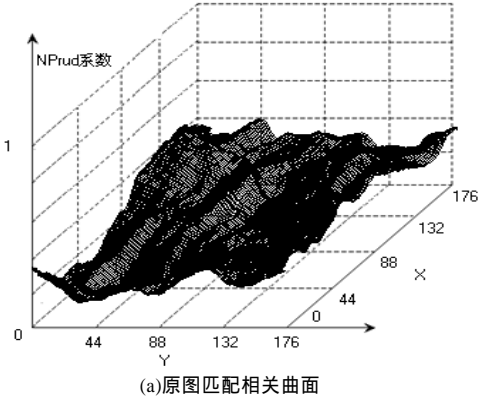


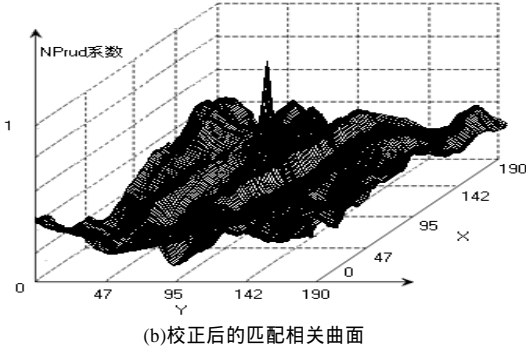
图 3 校正实时图

表 3 匹配结果比较

图 像	原实时图			校正实时图		
	匹配位置	修正位置	偏差	匹配位置	修正位置	偏差
a	(92,85)	(132,125)	(4,-3)	(80,80)	(128,128)	(0,0)
b	(92,86)	(132,126)	(4,-2)	(96,96)	(128,128)	(0,0)
c	(97,88)	(137,128)	(9,0)	(105,97)	(128,128)	(0,0)
d	(87,78)	(127,118)	(-1,-10)	(97,89)	(128,128)	(0,0)
e	(97,82)	(137,122)	(9,-6)	(99,89)	(128,128)	(0,0)



(a)原图匹配相关曲面



(b)校正后的匹配相关曲面

图 4 匹配结果及相关曲面比较

从表 2 可以看出当摄像头仅存在高度偏差或偏航角时，偏移量为零，这是由于在这两种偏差下摄像头的视点不变，还处于正下方；当仅存在俯仰角时只存在 x 方向偏移量，这是由于摄像头视点只存在 x 方向的偏移，同理当仅存在滚动角时只存 z 方向偏移量；而当存在几种姿态时两个方向的偏移量就具有了。还可以看出，不同高度和姿态下所得的校正实时图大小也是变化的。从表 3 中可以看出由于存在几何失真，匹配结果的偏差是相当大的，而使用本文给出的方法得到的匹配结果是非常令人满意的，说明了该方法的有效性。图 4 中给出了图 2(e)、图 3(e)校正前后的归一化积相关曲面，明显可以看出校正前的相关系数峰值不明显，而且最大值处

(下转第 213 页)