

文章编号 1004-924X(2009)02-0402-07

仿射变换的飞行器识别

李兴唐^{1,2,3}, 曹立华¹, 王思雯^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘要:为了快速识别数字图像中的飞行器类型,在取得飞行器闭合轮廓线的基础上,提出了基于飞行器结构特征点和仿射变换的飞行器识别算法。利用飞行器的对称性,确定飞行器的特征点;将这些特征点作为两幅不同图像的匹配点,计算数字图像之间的单应矩阵;根据所得的单应矩阵进行仿射投影,将一幅图像中飞行器的轮廓线投影到另一幅图像上,并对该图像上的两个飞行器的轮廓进行比对,判断这些图像中的飞行器是否为同一类型。实验表明:在取得飞行器闭合轮廓线的前提下,可在 0.2 s 内给出判定结果,基本满足指挥自动化系统对目标识别模块的稳定可靠、快速准确的要求。

关键词:图像处理; 飞机识别; 仿射投影

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Aircraft recognition based on affine transform

LI Xing-tang^{1,2,3}, CAO Li-hua¹, WANG Si-wen^{1,2}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*
3. *Air Force Aviation University, Changchun 130022, China*)

Abstract : In order to recognize the type of aircraft in digital image fastly , an algorithm of aircraft recognition based on the structural feature points and affine transform is presented after the closed outline of an aircraft has been obtained. By using the symmetry of the aircraft to get the feature points and taking those points as matched points of two different images , the homogeneous matrix between the two images is calculated ; then by transforming the outline of an aircraft in one image to the other image , the outlines of two aircrafts in the latter image is compared to judge whether the two aircrafts are the same type. The experimental results indicate that the recognition result can be given within 0.2 s , after the closed outline of aircraft is obtained , which can satisfy the C³I system requirements of high precision , rapid speed and stabilization.

Key words : image processing ; aircraft recognition ; affine transform

收稿日期 : 2008-03-31 ; 修订日期 : 2008-06-26.

基金项目 : 国防科技预研基金资助项目 (No. 061X20C060)

1 引言

对空中来袭目标的类型进行识别是现代自动化防空武器系统指挥决策的重要环节。在现代高技术条件下的防空作战中,快速准确地判断飞行器的类型,及时准确地判断出敌方目标对我方的威胁程度,并根据我方战术意图和武器系统防空作战能力,进行科学的目标分配和火力分配,是提高防空作战制胜能力的关键,也是当代军事领域研究热点。

三维目标识别是计算机视觉领域的核心问题之一,而飞机目标的识别又是它在军事领域里的一项重要应用。飞机在不同的视点下呈现不同的姿态,使得飞机的识别成为一个比较复杂的课题。目前常用的关于飞行器目标识别的方法大都为傅立叶描绘子、不变矩、语法语义识别等^[1-3]。其中一些方法在目标绕 3 个坐标轴旋转时可能产生较大的误差;为了弥补这一点,一些方法在样本库中保存了大量的样本信息,这将增加运算的时间。

本文提出了一种新的基于二维图像仿射变换的方法用来进行飞行器的识别。其基本原理是在取得飞行器封闭轮廓的前提下,利用飞行器的对称性确定匹配特征点,利用仿射投影的特点计算目标图像与样本图像之间机翼平面仿射投影的单应矩阵,并且计算目标图像中的飞行器在与样本图像中所示飞行器相同姿态下的投影图像。通过对投影图像和目标图像的比对判断目标图像中的飞行器与样本图像中所示飞行器是否为同一类型。

2 飞行器的匹配特征点及其提取

2.1 飞行器的特征点

如图 1 所示,飞机的机翼由机翼角点(图 1 中的 B 、 D 点)和两条边缘线(图 1 中的线段 BC 、 BA 和 DC 、 DA)构成,由于飞机是关于机翼对称轴对称的三维物体,所以一对对称的飞机机翼对应边缘线应该相交于机翼对称轴上。并且这条对称轴是对称的机翼角点(图 1 中的线段 BD)连线的垂

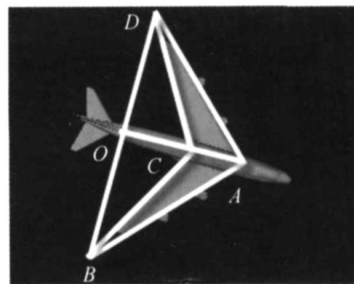


图 1 飞行器的特征点

Fig. 1 Feature points of aircraft

直平分线(垂足为图 1 中的 O 点)。

显然,只要飞行器具有一对对称的机翼,而且这对机翼在数字图像中清晰可见,则图 1 中所示的 A 、 B 、 C 、 D 、 O 点在各个图像中对应的投影点就可以提取出来,对应相同的三维空间点的各投影点就是不同投影图像中的匹配点。

2.2 飞行器轮廓角点及边缘直线提取

在光电传感器拍摄的数字图像中存在着噪声和畸变,在提取飞行器闭合轮廓线时需要进行处理^[4-6]。在取得飞行器闭合轮廓的前提下,用 SUSAN 角点法提取角点和边缘直线,如图 2 所示:

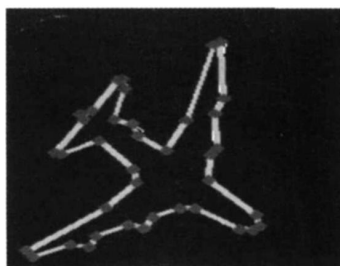


图 2 直线提取

Fig. 2 Line extraction

2.3 机翼角的提取

将机翼的角点和它的两条边缘线称为机翼角。在上一步骤里已经得到一组线段,任意两条线段都可能是机翼角的边缘线,如图 3 所示。图中 AB 和 CD 是两条线段,其延长线交点为 O 。机翼的两条边缘线段应满足如下条件:

- (1) 两条线段不应相交,如果相交,则交点应在端点附近。
- (2) 两条线段的夹角应该 $< 90^\circ$ 。
- (3) 四边形 $ACBD$ 内的像素点应该位于图像的前景点上。

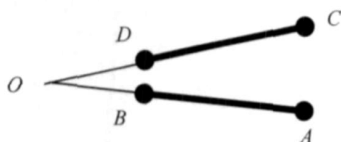


图 3 备选机翼角

Fig. 3 Candidate swing corner

2.4 备选对称机翼角的提取

满足上述条件的角称为备选机翼角。在这些备选机翼角中任取两个如果满足下列条件,则称为备选对称机翼角:

(1) 两个备选机翼角,如图 4 所示。

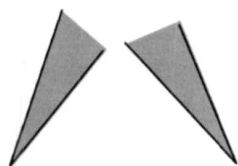


图 4 备选对称机翼角

Fig. 4 Candidate symmetry swing corners

图 4 所示的两个备选机翼角中每个角的任一条边都至少与另一个角的一条边交于由角点到远点的正向延长线上,这样的角可能是对称的机翼角。

图 5 中至少有一个角,这个角至少有一条边与另一个角的两条边都交于由角点到远点的反向延长线上,因此不可能是飞机的一对对称机翼。

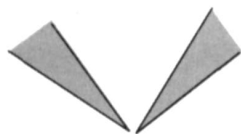


图 5 非备选对称机翼角

Fig. 5 Non-candidate symmetry swing corners

(2) 机翼对应边的交点的连线中对应的像素点应该位于图像的前景点上。

(3) 图 1 所示的机翼对应边的交点 A 、 C 以及角点连线 BD 的中点 O 应该共线。

(4) 直线 AC 两侧前景点的数量应该相似。

2.5 对称机翼角的提取

对称机翼角可能有多个,如图 6、图 7 所示:显然图 6 中提取的对称机翼角优于图 7 中的对称机翼角。可以通过计算机翼边缘线一定邻域内前

景点的数量选择最优解。



图 6 对称机翼角

Fig. 6 Symmetry swing corners



图 7 对称机翼角

Fig. 7 Symmetry swing corners

至此,可以提取出图 2 中所示的 A 、 B 、 C 、 D 、 O 点在数字图像中的对应点的位置。

3 飞机机翼的识别

3.1 仿射投影与单应矩阵

在地面拍摄空中飞行器时,由于目标距离远大于飞行器的尺寸,可以认为此时获得的图像是经过仿射投影后得到的。而针对同一架飞机,飞机在不同姿态时获得的数字图像可以视为同一姿态的飞机在不同的摄像机坐标系下获得的图像。

空间一个三维平面 投影到两个二维图像平面上,分别为平面 π_1 和平面 π_2 。存在确定的 3×3 矩阵 H ,使得参考平面 π_1 中的任一点 X 在平面 π_2 上投影点 x 和 X 满足:

$$x = Hx,$$

式中,矩阵 H 称为平面 π_1 和平面 π_2 的单应矩阵,它表示平面 π_1 上的点在两个视点下的图像点之间的一一对应关系。对于仿射投影,单应矩阵 H 具有如下形式:

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

3.2 飞机机翼面单应矩阵的计算

显然,仿射投影的单应矩阵 H 具有 6 个未知参数,所以确定 3 对不共线匹配点即可计算出单应矩阵 H ,为了提高准确率,提取出图 2 中所示的 A 、 B 、 C 、 D 、 O 点在数字图像中的对应特征匹配点,依最小二乘法计算单应矩阵 H 。

3.3 飞机机翼面的比对

机翼的形状是判断飞机类型的主要依据。

样本库中取出特定型号的飞机图像,将其与数字图像中的模型做比对。若机翼形状相近则进一步比对其余部分,否则判定数字图像中的飞机不是当前样本库中的飞机类型。具体步骤如下:

(1) 提取模型图像中飞机的边缘直线、角点及对应匹配点,为了提高识别速度,可以在建立样本库时计算出来。

(2) 提取目标图像中飞机的边缘直线、角点及对应匹配点。

(3) 根据 5 个对应特征匹配点计算两幅图像中机翼所在平面的单应矩阵 H 。

(4) 将目标图像中的边缘点以 H 进行转换,并将转换后的图像与样本库中的图像进行比对。若投影后机翼边缘线与模型图像中机翼边缘线比较接近,如图 8 所示,则进一步比对其余部分,否则判定数字图像中的飞机不是当前样本库中的飞机类型。图 8 中细线部分表示样本库中的飞机图像的轮廓线及角点,粗线部分表示目标图像中的飞机轮廓线及角点经机翼平面的单应矩阵 H 转换投影后得到的图像。可以通过对图像的 H_u 不变矩、Zernike 矩等不变矩的比对判断两幅图像是否相似^[7-8]。

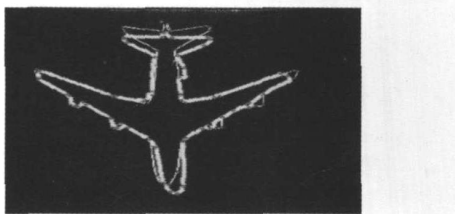


图 8 飞行器轮廓线的比对

Fig. 8 Outline comparison

4 机头及机尾的识别

4.1 基础矩阵及其计算

对同一三维物体在不同视点下的两幅数字图

像中的任一匹配点 x 与 x' , 存在确定的 3×3 矩阵 F , 使得:

$$x' F x = 0.$$

矩阵 F 称为基础矩阵, 它表示三维空间上的点在两个视点下的图像点之间的一一对应关系, 对于仿射投影, 基础矩阵 F 有如下形式:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & d \\ 0 & 0 & b \\ e & d & c \end{bmatrix}.$$

提取出比例因子后, 基础矩阵 F 是具有 4 个未知数的矩阵, 至少需要 4 对不共面的匹配点才可计算。而当匹配点较少时, 直接计算的结果很不稳定。

设三维点 X 在某一平面上, 且两幅图像中该平面的单应矩阵为 H , 则有

$$\begin{aligned} x' F x &= 0, \\ x &= H x'. \end{aligned}$$

可得到:

$$x' F^T H x = 0. \quad (1)$$

上式对该平面上的所有点都成立。因此, $H^T F$ 必为反对称矩阵, 即

$$H^T F + F^T H = 0. \quad (2)$$

所以给定两个单应矩阵就可以求解基础矩阵 F 。

4.2 机头及机尾处的比对

由于三维空间里, 机头及机尾部分许多点距离机翼平面的距离较大, 所以这部分轮廓线在目标图像以机翼平面的单应矩阵 H 做转换投影时, 得到的图像会与样本库中的飞机图像对应位置的轮廓线及角点存在较大的差异。当机翼比对基本相似时, 需要进一步比对机头及机尾部分。可以找到另为一个参考平面, 使得机尾部分的点距离此平面距离较小。以机尾部分为例, 选取由机翼两个角点与机尾处的一个点的投影点形成的平面作为机尾参考平面, 计算机尾参考平面在两幅图像中的单应矩阵 H_2 , 加上前面已经得到的机翼平面的单应矩阵 H , 代入公式 (1), 可以计算两个图像的基础矩阵 F 。

显然, 为了计算基础矩阵 F 以及机尾部分所在平面的单应矩阵 H , 需要确定至少一个机尾处的匹配特征点。

4.2 机头及机尾处匹配点的提取

在得到图 8 后, 以样本库中的飞机轮廓为标

准,可以得到机翼对称轴(图 9 中的竖线)及翼尖点的连线(图 9 中的横线),如图 9 所示。在两个轮廓线上选取距离机尾方向到翼尖点的连线距离最远的若干个角点,形成点集 A 和 B ,从中提取一对匹配点,具体步骤如下:



图 9 匹配点的提取
Fig. 9 Extraction of matching points

(1) 设 A 中点的数量小于等于 B 中点的数量,从 A 中选取距离机翼对称轴最近的点 m 。从 B 中选取距离机翼对称轴最近的点 m 。

(2) 以 m 与 m 为对应匹配点,计算机尾参考平面在两幅图像中的单应矩阵 H_2 ,若其与机翼平面在两幅图像中的单应矩阵 H 相差极小,则选取 B 中其余点中距离机翼对称轴最近的点作为 m ,重复本步骤。

(3) 若说 B 中所有点均已匹配过,则从 A 中选取其余点中距离机翼对称轴最近的点作为 m ,返回步骤(2)。

(4) 将步骤(2)求得的单应矩阵 H_2 与单应矩阵 H 代入公式(2)中,计算两幅图像的基础矩阵 F 然后将图 2 中所示的 A 、 B 、 C 、 D 、 O 点在数字图像中的对应特征匹配点代入公式:

$$d = xFx.$$

若所求得的 d 的值均接近 0,则以 m 与 m 为对应匹配点,以步骤(2)求得的单应矩阵 H_2 为机尾参考平面在两幅图像中的单应矩阵,仿照飞机机翼面的比对的方法进行机尾部分的比对。

机头部分的比对与机尾部分类似,只是匹配点的选取应该在靠近机头的位置附近。

5 仿真实验

图 10 为与样本图像中飞机类型不同的飞机,在取得封闭轮廓的基础上,对其进行边缘提取和角点提取所得到的结果。

对图 10 进行对称机翼角提取,可得到图像



图 10 直线提取
Fig. 10 Line extraction

(图 11),并提取特征匹配点。同时根据样本库中的飞机边缘线图像(图 12),计算机翼平面的单应矩阵 H 。将图 10 中的边缘线上的点经单应矩阵 H 投影转换到图 12 上,得到图 13。



图 11 特征点提取
Fig. 11 Extraction of feature points



图 12 样本飞机轮廓
Fig. 12 Outline of model aircraft

转换后的机翼边缘与样本库中的飞机边缘相差较大,可以断定目标图像中所示的飞机与样本图像中飞机的类型不同。

图 14 为与样本图像中飞机类型相同的飞机在取得封闭轮廓的基础上,对其进行边缘提取和角点提取得到的结果。

对图 14 进行对称机翼角提取,可得到图 15,提取其特征匹配点。同时根据样本库中的飞机图

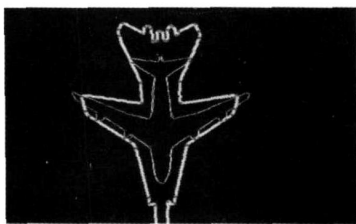


图 13 飞行器轮廓线的比对
Fig. 13 Comparison of aircraft outlines

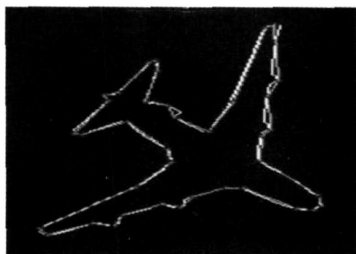


图 14 轮廓线的直线提取
Fig. 14 Line extraction of outlines

像(图 12),计算机翼平面的单应矩阵 H 。并将图 15 中的边缘线上的点经单应矩阵 H 投影转换到图 12 上,得到图 16。



图 15 特征点提取
Fig. 15 Extraction of feature points



图 16 飞行器轮廓线的比对
Fig. 16 Comparison of aircraft outlines

转换后的机翼边缘与样本库中的飞机边缘很接近,但是机头和机尾处略有差异,为了提高精度,可进一步对机头和机尾部分进行比对,得到图 17。

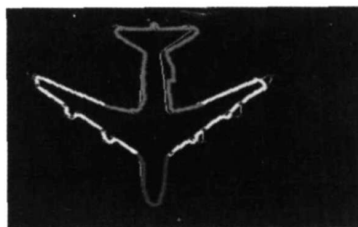


图 17 飞行器轮廓线的进一步比对
Fig. 17 Further comparison of aircraft outlines

此时投影后的轮廓线与样本轮廓线差异很小,可以判定目标图像中的飞机与样本库中的飞机类型相同。

6 结 论

本文采用 matlab 软件进行仿真,针对 $512 \text{ pixel} \times 521 \text{ pixel}$ 的图像在 1.6 GZ CPU,1 G 内存的计算机上,在取得飞行器轮廓的条件下,可在 0.2 s 内给出判定结果。实验结果表明,本文提出的算法运算速度较快,稳定可靠,是一种比较可行的飞机识别方法,可基本实现对空中目标的快速识别。

需要指出的是,在实际应用中,本算法具有下列局限性:

(1)本算法的依据是一对对称的机翼,因此当数字图像中没有一对固定对称的机翼时(如云层或飞机自身的遮挡),或对一些没有对称机翼的飞行器如直升机等进行识别时,本算法失效。

(2)对于机翼后掠角可变的飞机,本算法可能导出错误的结果。

(3)本算法是通过数字图像而不是技术指标对飞机的类型进行判断的,因此一些外形相似的飞机可能导致误判。

参考文献:

- [1] HMAM H, KIM J. Aircraft recognition and pose estimation[C]. *VCIP 2000*:1198-1211.
- [2] REISS T H. The revised fundamental theorem of moment invariants [J]. *IEEE Trans. on PAMI*, 1991, 13(8):830-834.
- [3] GONZALEZ, WOODS R, EDDINS S. *Digital Image Processing Using Matlab* [M]. Prentice Hall, 2003.
- [4] 贾平, 张葆, 孙辉. 航空成像像移模糊恢复技术[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(4):697-703.
JIA P, ZHANG B, SUN H. Computer post-processing method for blocking-artifact in satellite decoded image [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(4):697-703. (in Chinese)
- [5] 林玉池, 崔彦平, 黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究. [J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(3):509-514.
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):509-514. (in Chinese)
- [6] 丁雪梅, 王维雅, 黄向东. 基于差分和特征不变量的运动目标检测与跟踪[J]. *光学 精密工程*, 2007, 15(4):570-576.
DING X M, WANG W Y, HUANG X D. New method for detecting and tracking of moving target based on difference and invariant[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(4):570-576.
- [7] WANG H, BRADY M. A practical solution to corner detection. *Image Processing [C]. Proceedings ICIP-94, IEEE International Conference*, 1994(1):919-923.
- [8] 张元, 王广宇, 吕运朋. 数字图像的不变特性与特征提取[J]. *郑州大学学报*, 2000, 32(4):57-59.
ZHANG Y, WANG G Y, LV Y P. Invariant features of digital image and feature extraction for recognition [J]. *Journal of Zhengzhou University (Natural Science Edition)*, 2000, 32(4):57-59. (in Chinese)

作者简介:



李兴唐(1974 -), 男, 吉林人, 博士研究生, 主要从事图像处理、模式识别等方面的研究。E-mail: lxt6192000@tom.com

通讯作者:

曹立华(1971 -), 男, 研究员, 主要从事光电火控系统总体技术的研究。E-mail: cao0983@sina.com
王思雯(1983 -), 女, 吉林松原人, 博士研究生, 主要从事激光干扰、图像处理方面的研究。E-mail: wangsiwen2001@163.com