第42卷 第7期
2010年7月

哈 尔 滨 工 业 大 学 学 报
JOURNAL OF HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Vol. 42 No. 7
July 2010

可见光图像中飞机目标的特征选择及提取

王树国[1], 黄勇杰[1,2], 张 生[2]

(1. 哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001, wangsg@hit.edu.cn; 2. 空军装备研究院 北京 100076)

摘 要: 针对目前大部分飞机目标识别算法都依赖建立的样本库,导致对样本库外的飞机不能很好识别的问题,分析了可见光图像中飞机目标在模式识别中的特征选择及提取方法. 比较几种不同特征选择及提取方法,依据人工判读识别飞机目标的思维方法以及可见光图像的特点,提出了可见光图像中飞机目标的5个典型识别特征的提取方法,最后利用模糊模式识别方法完成对飞机目标的识别. 实验结果表明:该算法能够对可见光图像中的飞机目标进行较好识别,准确率较高,平均识别率达到了90%以上.

关键词: 可见光图像; 特征提取; 飞机识别; 模式识别

中图分类号: TP242 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2010)07-1056-04

Selection and extraction of features of aircraft in optical image

WANG Shu-guo[1], HUANG Yong-jie[1,2], ZHANG Sheng[2]

(1. School of Mechanics and Electronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China, wangsg@hit.edu.cn; 2. Air Force Institute of Equipments, Beijing 100076, China)

Abstract: At present most of the aircraft recognitions rely on sample database, which leads to poor accuracy for aircraft outside the database. The problems of feature selection and extraction for aircraft in optical image were studied through analyzing the principle of the methods commonly used in pattern recognition. Extracting method for five recognition features based on human way of thinking and the characteristic of aircraft in optical image was proposed. Fuzzy pattern recognition was applied in the aircraft recognition. Experimental results show that the method can accomplish aircraft recognition with high accuracy.

Key words: optical image; feature extraction; aircraft recognition; pattern recognition

利用可见光图像进行飞机目标识别在军用和民用领域中具有重要的研究和应用价值,尤其在现代高技术战争中,研究可见光图像飞机目标的自动识别技术显得更加重要[1]. 目前国内外已经开展了大量飞机识别方面的研究,从不同的角度入手,通过提取飞机的目标特征和建立相应的数据库,实现对飞机的识别[1-5]. 目前,大部分飞机目标识别算法都是依赖建立的飞机样本库,所以导致对样本库外的飞机不能很好识别.

针对上述飞机目标识别技术的现状,本文避开飞机目标的定性问题,而主要研究如何自动和快速地从大量的图像中找到飞机目标,从而节约判读时间,提高信息获取的效率. 通过航拍或卫拍得到的可见光图像中,飞机目标一般都是俯视图. 根据可见光图像中飞机目标的特点以及人工判读的原理,通过分析不同特征的选择及提取方法,本文提出了5个对于飞机目标具有统一性的特征,用来区分飞机目标和非飞机目标,试验结果表明,利用这5类特征对飞机目标进行识别具有很好的效果,并且可以基本排除样本库对识别结果的影响.

1 特征选择及提取原理

1.1 图像分割

图像分割方法大致可以分为两类:一是利用区域间灰度不连续性,即基于边界的分割方法[6];二是利用区域内灰度相似性,即基于区域的分割方法[7-9]. 基于边界的分割方法中常用的边缘检测算子有 Reborts 算子、Sobel 算子、Prewitt

收稿日期: 2009-01-22.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60575016).
作者简介: 王树国(1958—),男,教授,博士生导师.

算子、Log 算子和 Canny 算子. 比较典型的基于区域的分割方法包括阈值分割、区域生长、空间聚类和分裂合并[10].

由于可见光图像中的飞机目标一般比较清晰，本身色调一致，阈值分割造成失误的几率很小，而且飞机目标的识别特征明显，对于较小的边界偏离不会对识别造成影响，因此本文将通过阈值分割方法进行图像分割.

1.2　特征提取

目标特征选择和提取的基本任务是如何从许多特征中找出那些最有效的特征. 一般目标的特征可由物体的纹理和形状特征来表述. 可见光图像中飞机目标纹理信息较弱，而形状信息丰富，因此本文主要选择形状特征来描述. 形状特征描述常用方法主要有 3 种[11]：基于边界的、基于区域的和基于变换的.

基于边界特征提取的主要方法有链码表达和边界标记两种. 基于区域的目标表达方式有 3 种：一是先将区域分解为一些简单的单元形式，再用这些简单形式的某种集合来表达；二是将目标区域用一些预先定义的几何基元填充表达；三是利用一些目标区域内部像素获得的集合来表达. 主要的基于区域的目标表达有四叉树、骨架等. 基于变换表达的基本思想是利用一定的变换将目标从图像空间变换到变换的空间并用变换的参数表达目标. 不变矩就是基于目标变换的一种重要表达方式[12].

2　飞机目标特征选择及提取

为了区分飞机目标和非飞机目标，需要提取对于飞机目标具有统一性的特征，这些特征对不同飞机相差不大，即使形状相差极大的飞机也可以限定在一个范围，排除样本库对识别结果的影响. 由于飞机样式繁多，形状差别较大，而上述介绍的特征提取的基本方法如不变矩、四叉树、链码表达、多边形近似等只适用于形状纹理相差不大的同类目标，因此无法对飞机这一大类目标做出一个统一的特征描述. 在实际的可见光图像判读中可以总结飞机目标特征主要有以下几点：

1）对称性. 对称性是指目标轴对称的程度.

2）长径比. 长径比是指飞机机身长度与机身直径的比值.

3）机翼梯形比. 机翼梯形比是指飞机机翼部分的投影与其投影最大外接直角梯形的比值.

4）身形比. 身形比是指机身面积相对于飞机整体面积的比值.

5）机翼前缘位置. 机翼前缘位置在这里是指机翼前缘位置到机头的距离同整个机身长度的比值.

以上 5 个特征对于不同种类相差较大飞机都具有约束性，可以很好地区分飞机目标和非飞机目标.

2.1　目标图像规整

对分割后的目标图像进行处理时，因为飞机目标在图像上位置不确定，所以需要对目标进行规整. 具体的操作就是把飞机目标进行旋转，使飞机目标的机身在图像的垂直方向. 因此，首先要提取目标的主轴方向. 设一条过点 (a,b) 的并和 x 轴成 α 角的直线 L 的方程为

$$(x-a)\sin\alpha-(y-b)\cos\alpha.$$

点 (x_0,y_0) 到直线 L 的距离

$$d=\left|\frac{(x_0-a)\sin\alpha-(y_0-b)\cos\alpha}{(\sin^2\alpha+\cos^2\alpha)^{1/2}}\right|=$$
$$|(x_0-a)\sin\alpha-(y_0-b)\cos\alpha|.$$

若区域 D 中灰度函数 $f(x,y)$ 视为质量，区域 D 关于这条直线的转动惯量为

$$I=\iint_D[(x_0-a)\sin\alpha-(y_0-b)\cos\alpha]^2 f(x,y)\,\mathrm{d}x\mathrm{d}y. \tag{1}$$

使 I 取最小值的直线可以代表这个区域的“取向”，即主轴方向. 将式(1) 分别对 a,b 和 α 求导，并令结果为零，得到角度 α 的值为

$$\alpha=0.5\arctan(2\mu_{11}/(\mu_{20}-\mu_{02})).$$

使目标区域 D 转动惯量最小的直线称为区域的主轴，主轴过点 $(\bar{x},\bar{y})$，这个点是具有对称性的目标的质心. 飞机是对称目标，飞机目标的主轴方向只有一个就是飞机的机身方向. 将飞机旋转到机身在图像的垂直方向就得到规整后的飞机目标的图像.

2.2　目标特征提取

将规整后的飞机目标在主轴方向上作投影，会得到一组一维数据. 以图 1 已经规整的 B－52 和 EP－3 飞机二值图像为例，图 2 是其垂直方向上的投影图像，图 3 是对其投影求一阶导数的结果图像，根据它们可以求得到飞机的相关特征.

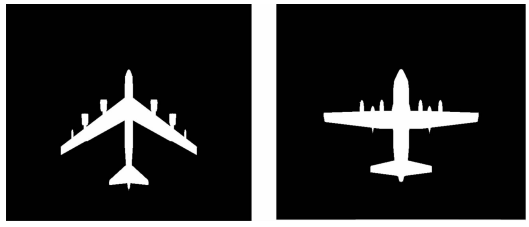

图 1　规整后的飞机图像

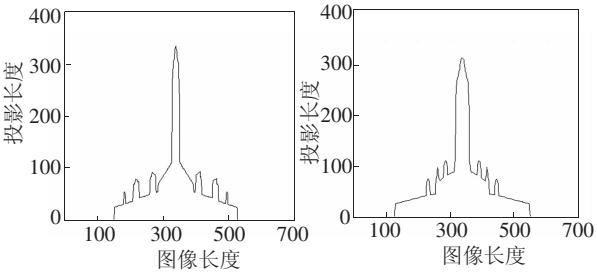

图 2　飞机目标的主轴垂直投影

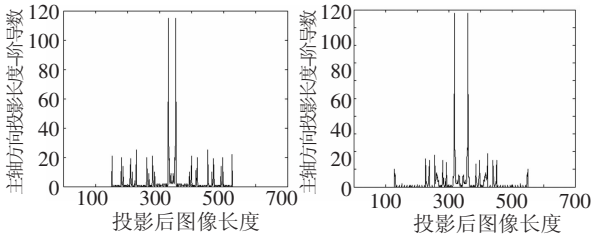

图 3　投影数据的一阶导数

具体计算方法如下：

从图像 2 中可以看出，提取投影数据中的最大值，可以证明这个值是飞机的机身主轴所在. 计算最大值两侧的面积，并计算它们两个的比值. 用这个比值就可以表示目标的对称程度. 这个比值理论上应该接近于 1（由于其他因素的影响，这个比值往往会在 1 左右震荡）.

长径比是飞机机身长度和直径的比值，从图 2 中可以看到，飞机的长度可以通过直接求投影数据最大值获得. 机身和机翼部分的投影在他们联结部位形成一个尖锐的变化，通过求一阶导数极值点得到这两个变化点的位置，这两个位置之间的距离就是机身的直径. 具体的方法是以飞机的投影中心为起点，向两边逐点计算，计算在投影中心附近的一阶导数极值点的位置. 因为机身和机翼的结合部不会离投影中心太远，所以逐点计算只需要在离中心点一定距离内进行. 根据经验这个距离可以取飞机宽度的四分之一.

机翼梯形比的计算方法为：首先，计算投影部分飞机的面积，然后，计算飞机投影在两端向中间靠拢的方向得到的第一个一阶导数极值点的位置和大小，这一点的投影数据大小就是飞机机翼在尾段的宽度；而通过这一点的位置和上一步求得的飞机机翼和机身联结的位置，可以得到梯形的长度. 这样计算得到的面积就是机翼部分的外接梯形的面积，而这个面积应该和机翼投影部分的面积比值相差不多，如果这个比值过大就说明它属于飞机的可能性越低.

身形比是飞机目标的机身面积相对于整个飞机面积的比值，首先计算得到机身和机翼的结合部的位置，这个投影位置之间的投影面积就是飞机机身的面积，与投影整体面积的比值就是身形比的值.

机翼前缘位置是判定飞机目标的一个重要特征，可以通过飞机的水平投影计算（见图 4）.

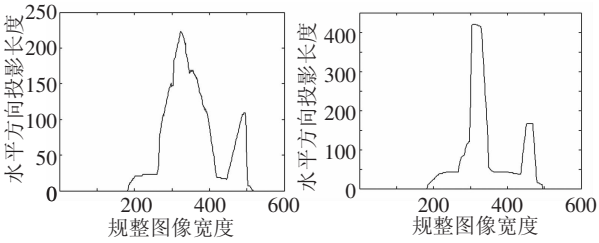

图 4　飞机目标的水平投影

从图 4 飞机的水平投影图中可以看到，它的投影值有一个从平稳到升高的变化，这个位置就是飞机机翼的前缘. 可以认为当投影值开始大于飞机直径并一直渐渐增大时，这个开始值就是飞机的机翼前缘位置. 为了更好的分析，取它到机头的距离和整个机身长度的比值作为机翼前缘位置的表示.

通过以上分析和计算，得到飞机目标的 5 种特征. 通过对 20 余幅不同飞机目标图像进行计算统计，得到上述 5 个特征值的范围为

对称性范围：1 ± 0.2；

长径比范围：7.279 1 ~ 20.263 2；

梯形比范围：0.956 2 ~ 1.611 4；

身形比范围：0.223 9 ~ 0.525 8；

机翼前缘位置范围：0.156 7 ~ 0.439 8.

3　实验结果及分析

本文采用模糊识别作为分类器对目标进行分类. 其中对称性的隶属度函数为

$$p(N) = 1 - |N - 1|.$$

其中：N 为对称性参数. 其余 4 个特征首先进行特征值变换，设范围特征为 X，上界为 X_{max}，下界为 X_{min}，中间值为 $X_{mean} = (X_{max} + X_{min})/2$ 变换公式为

$$y = 0.64 \times (X - X_{mean})/(X_{max} - X_{mean}).$$

根据已经得到的特征范围可以计算 4 个范围特征的变换公式为：

长径比的变换为 $y = 0.098\,5 \times (X - 13.5)$；

梯形比的变换为 $y = 1.969\,2 \times (X - 1.275)$；

身形比的变换为 $y = 4 \times (X - 0.36)$；

机翼前缘位置变换为 $y = 4.571\,4 \times (X - 0.29)$；

其隶属度函数为 $p(y) = e^{-(y^2/2^2)}$.

根据与干扰图像特征值的比较，本文定义模糊分类规则为：5 个隶属度值满足最小值 > 0.8，平均值 > 0.9 的目标就是飞机目标，否则不是.

实验采用 5 幅卫星可见光图像进行飞机目标识别，这里仅列出其中一幅，图像大小为 500 × 800 像素，分辨率为 1 m. 图 5 为原始图像，图 6 为分割以后图像，表 1 是对图 5 中各标示目标区域进行计算得到的隶属度数据，基于这些数据对每个目标进行分类，表中目标区 1 ~4 给出的数据是不符合本文分类规整的数据，认为非飞机目标，目标区 5 ~8 给出的数据是符合分类规则的数据，将被认定为飞机目标.

根据定义的特征分类准则，对图 5 的识别结果为图像中存在 4 架飞机，准确率达到了 100%. 对 5 幅图像的平均识别率也达到了 90% 以上，说明利用本文提出 5 种飞机目标特征可以达到很好的识别效果.

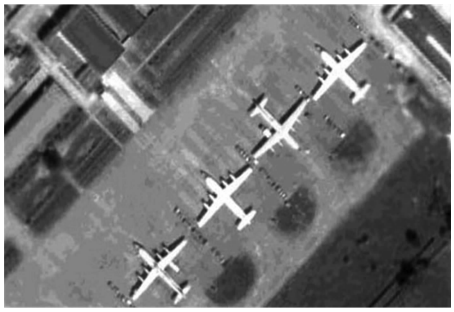

图 5　原始图像

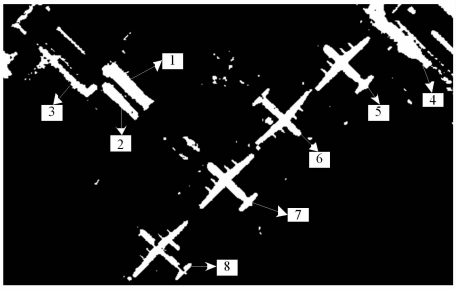

图 6　分割图像

表 1　各目标区域对应的 5 种特征的隶属度

目标区	对称性	长径比	身形比	梯形比	机翼前缘位置
1	0. 295 2	0. 757 8	0. 997 2	0. 206 3	0. 539 9
2	0. 430 8	0. 720 0	0. 992 1	0. 727 8	0. 539 9
3	0. 722 8	0. 693 1	0. 997 3	0. 980 4	0. 539 9
4	0. 563 4	0. 777 8	0. 994 3	0. 926 9	0. 539 9
5	0. 804 1	0. 889 4	0. 993 6	0. 857 2	0. 839 9
6	0. 938 5	0. 896 5	0. 965 4	0. 890 6	0. 939 9
7	0. 998 2	0. 955 3	0. 995 6	0. 903 8	0. 949 7
8	0. 873 0	0. 816 9	0. 996 7	0. 962 7	0. 939 9

在试验中，发现图像分割的效果直接影响特征提取和目标识别. 此外，本文对飞机目标的特征范围定义是建立在 20 个样本上的，数量较少，还需要围绕图像分割效果以及增加样本数量做进一步的工作.

4　结　论

本文根据实际工作中人工判读识别飞机目标的思维方法以及可见光图像的特点，对飞机目标的特征选择及提取进行了研究，提出了识别飞机目标的 5 个典型特征，并利用模糊模式识别方法对飞机目标进行识别，试验结果准确率较高，验证了此 5 种特征的有效性.

参考文献：

[1] 李科. 自动识别遥感光学图像中飞机目标的研究[D]. 长沙：国防科技大学，2005.

[2] DAS S, BHANU B, WU X, *et al.* Qualitative recognition of plane in perspective aerial images [J]. Image Technology, 1996 (1):475 – 518.

[3] HMAM H, KIMA J. Aircraft recognition and pose estimation [C]//Proceedings of the International Conference on Visual Communications and Image Processing. Perth, Western Australia: SPIE, 2000.

[4] SHEN C T, TSONG L C, LU Y B. Using Cross – ratios to model curve data for aircraft recognition [J]. pattern Recogniton Letters, 2003, 24(12):2047 – 2060.

[5] 郑南. 遥感图像中飞机目标的识别分类算法研究[D]. 吉林：吉林大学，2007.

[6] HAN J W, HAN J G, GUO. A novel image retrieval technique using salient edges [C]//Storage and Retrieval for Media Databases. San Jose, California, USA: SPIE, 2002.

[7] GAURAV A, ASHWIN T V, SUGATA G. An image retrieval system with automatic query modification [J]. IEEE Trans on Multimedia, 2002, 4(2): 201 – 214.

[8] CARSON C, BELONGIE S, GREENSPAN H, *et al.* Blockworld: image segmentation using expectation-maximization and its application to image querying [J]. IEEE Trans on PAMI, 2002, 24(8): 1026 – 1038.

[9] WANG R. GAO L Q, YANG S. An image fusion approach based on segmentation region [J]. International J Information Technol, 2005, 11(7):92 – 100.

[10] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 阮秋琦，阮宇智，译. 2 版. 北京：电子工业出版社，2005.

[11] 章毓晋. 图像工程(中册)[M]. 北京：清华大学出版社，2005.

[12] LIAO S X, PAWLAK M. On image analysis by moments [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(3): 254 – 266.

（编辑　杨　波）