

doi: 10.7690/bgzd.2018.02.008

# 基于边界链码的飞机目标检测方法

王 毅, 陈 滨, 杜亚杰, 赵建军

(海军航空大学兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为有效区分天空背景下飞机目标的边界信息与纹理带入的噪声信息, 完成飞机目标检测任务, 对基于边界链码的飞机目标检测方法进行研究。分析作为典型人造刚体的飞机目标所具有的特性, 利用 Canny 算法对图像进行边缘检测后, 引入边界链码对获取的边缘进行建模; 利用形态学修复对边缘的裂缝进行连接, 通过滤除短边、验证封闭性及剪枝对边缘进行初步筛选与处理; 提取边缘的直线段分量及角度跳变分量特征, 构造并训练基于支持向量机的分类器, 完成视频序列中边缘的分类, 最终获取飞机目标的确切边缘。试验结果表明: 该方法在确保分类器训练集大小的情况下, 能够有效获取飞机目标的精确边缘, 目标检测准确率达到 96%, 具有较高的工程应用价值。

**关键词:** 飞机目标检测; 边界链码; 支持向量机; 形态学修复

**中图分类号:** TJ86 **文献标志码:** A

## Airplane Target Detecting Method Based on Boundary Chain Code

Wang Yi, Chen Bin, Du Yajie, Zhao Jianjun

(Department of Weapon Science &amp; Technology, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** In order to separating the boundary information of airplane from the noisy information generated from the texture of the sky background and accomplishing the mission of airplane detection, research the airplane target detection method based on boundary chain code. The features of the airplane are analyzed in terms of man-made rigid body. The small break on the edge is repaired by morphological technique at first. Then carry out primary filtering and processing on edge by filtering short edge, verifying closure and cutting. Extract feature of edge straight line and angle hopping, establish and train classifier based on support vector machine, realize the edge classifying in video sequence. At last, acquire the exact edge of airplane target. The test results show that, based on ensuring sufficient classifier training set, it can effectively acquire accurate edge of airplane target, the target detection correct rate reaches 96%. The proposed method has a great value in engineering practice.

**Keywords:** airplane target detection; boundary chain code; support vector machine; morphological repair

## 0 引言

在现代战争中, 对于飞机、舰船、导弹等军事目标实时地加以识别跟踪, 对掌握战场主动权, 正确打击目标和提高未来指挥作战系统的性能具有重要意义, 是当代军事领域研究热点。飞机作为主要的空战武器, 在高技术战争中起到了至关重要的作用。对空中飞机目标实现自动辨识有利于帮助我方迅速做出指挥决策<sup>[1]</sup>。在进行目标识别之前, 必须对飞机目标图像进行目标检测和图像分割<sup>[2]</sup>。

由于飞机典型的人造 3 维刚体, 边缘特征十分适合于飞机目标的检测。但是在图像应用中, 纹理带来的边缘噪声的存在使得真正感兴趣的目标很难被区分开来。为此, 解决好 2 个主要问题成为关键: 一是有效区分感兴趣目标的边界信息与纹理带入的噪声信息; 二是利用离散边缘片段融合为连续的目标边缘信息<sup>[3]</sup>。

为有效解决上述问题, 笔者对空中飞机目标的特性进行分析, 并提出一种基于边界链码的飞机目标检测方法。该方法对待检图像依次进行边缘检测、形态学修复、短边滤除、非封闭边缘滤除及剪枝、直线段分量和角度跳变提取, 通过构造和训练基于支持向量机(support vector machine, SVM)的分类器, 对经过初步筛选的边缘进行分类, 以此判断边缘是否属于飞机目标。

## 1 基于边缘特征的目标检测

飞机作为典型的人造刚体目标, 其物理边界(边缘)是进行目标检测的重要特征。边缘是指图像中亮度突然变化的区域、灰度曲面上的陡峭区域及像素灰度存在屋脊状变化的像素集合, 蕴含了图像的阶跃、方向、形状等内在信息<sup>[4]</sup>。笔者利用 Canny 边缘检测算法, 对当前图像的边缘信息进行初步检测。

收稿日期: 2017-10-18; 修回日期: 2017-11-22

作者简介: 王 毅(1983—), 男, 山东人, 博士, 讲师, 从事武器系统与运用工程。

### 1.1 边缘检测原理

在灰度图像中，强度差异较大的 2 个区域之间的过渡部分称为图像的局部边缘。图像的梯度函数恰好能够反映图像灰度的变化速度，且梯度函数会在过渡区域取得极大值；为此，可利用梯度算子计算图像中像素点的梯度值，并设定阈值。当梯度值大于阈值时则认为该点为边缘点。边缘检测就是将所有的边缘点连接起来<sup>[5]</sup>。若图像  $F$  在点  $(x, y)$  处的值表示为  $F(x, y)$ ，则在该点的梯度大小与方向如式(1)、式(2)：

$$G(x, y) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}; \quad (1)$$

$$\phi(x, y) = \arctan(G_y / G_x)。 \quad (2)$$

常用的边缘检测算子主要有 Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Log 算子和 Canny 算子。

### 1.2 Canny 边缘检测算子

基于边缘检测的基本思想，J. Canny 依据边缘检测的准则提出了基于 Canny 算子的最优边缘检测算法<sup>[6]</sup>，基本流程如图 1 所示。

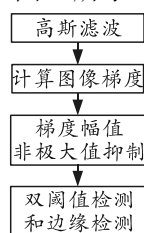


图 1 Canny 边缘检测流程

Canny 算子使用 1 阶有限差分计算梯度向量，其算子表达式如式(3)、式(4)，计算模板如图 2。

$$G_x = [f(x, y+1) - f(x, y) + f(x+1, y+1) - f(x+1, y)] / 2; \quad (3)$$

$$G_y = [f(x, y) - f(x+1, y) + f(x, y+1) - f(x+1, y+1)] / 2。 \quad (4)$$

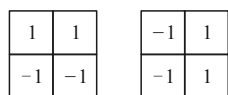


图 2 Canny 算子模板

在计算梯度幅值和方向时，梯度幅值仅保留梯度方向上的极大值点，称为非极大值抑制。随后使用双阈值检测强边缘和弱边缘，较好地避免了弱边缘漏检。

## 2 飞机目标检测

### 2.1 形态学修复

在飞机目标检测过程中，图像的边缘及目标区

域易出现断裂现象，采用形态学方法对二值边缘图像进行修复，能够有效解决这一问题。数学形态学方法利用图像的几何特征，通过预先定义的结构元素对二值图像进行逻辑运算，去除图像中不相干的结构，从而达到对图像的有效分割及修复的目的<sup>[7]</sup>。图像中飞机目标边缘的修复过程主要涉及图像的闭运算，而闭运算又是先膨胀再腐蚀的过程。

#### 1) 膨胀。

假设待膨胀区域为  $X$ ，结构模板为  $B$ 。 $B$  平移  $t = (t_x, t_y)$  后得到  $Bt$ ，若  $Bt \cap X \neq \emptyset$ ，则称为  $Bt$  击中  $X$ ，记作  $Bt \uparrow X$ 。所有满足上述条件  $T$  的集合称为  $X$  被  $B$  膨胀的结果，记作  $X \oplus B = \{t \mid Bt \uparrow X\}$ 。

#### 2) 腐蚀。

将结构元素  $B$  平移  $t = (t_x, t_y)$  后， $Bt \subseteq X$  所有点的集合称为  $X$  被  $B$  腐蚀的结果，表示为  $X \ominus B = \{t \mid Bt \subseteq X\}$ 。

#### 3) 闭运算。

通过 Canny 算法得到的图像边缘中，目标对象的边缘容易出现细小的断裂，需要利用闭运算进行处理。闭运算是指对目标图像先进行膨胀，再做腐蚀，具有填充物体内部细小空间、修补小缺口的作用。闭运算定义为  $X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B$ 。

### 2.2 飞机目标特性分析

飞机作为典型的人造目标，与自然背景间的差异主要体现在几何特征、纹理特征和统计特征上<sup>[8]</sup>。其中，几何特征差异更为直观和简单，对于实际应用具有重要意义。笔者对飞机目标形状特性进行分析总结如下：

1) 边界总长度。相对于背景中噪声边缘的短小、无序，越长的边界属于飞机目标的可能性越大。设定阈值  $T_{len}$ ，当图像  $E(x, y)$  中边缘  $L(n)$  的长度  $Len(E(x, y), n) < T_{len}$  时，认定该边缘为噪声边缘。该特征能够有效滤除背景中短小、离散的噪声边缘。

2) 封闭性。飞机目标具有规则的形状，在图像平面上的投影是一个封闭的区域。反映在边缘信息上，即飞机目标的边界为闭合曲线。

3) 直线段分量。飞机目标的边界组成中，直线段分量明显占据了较大的比例；而在自然背景下，边缘以曲线为主。

4) 角度变化。飞机由于其外形设计及刚体特性，在机头、机翼等位置存在较明显的直角及锐角，反映在边界上，就是边界曲线发生了较大的角度变

化。借此特征可以方便地滤除背景中形状较圆滑的物体。

笔者结合上述 4 个形状特征，对天空背景下的飞机目标进行检测。边界链码对于描述上述特征具有明显的优势。

### 2.3 边界链码

边界链码用于表示曲线和区域边界，用边界方向作为编码依据，简化边界的描述。常用的链码按照中心像素点邻接方向个数的不同，分为 4 连通链码和 8 连通链码，其中 8 连通链码与像素点的实际情况相符，使用较为普遍，如图 3 所示。

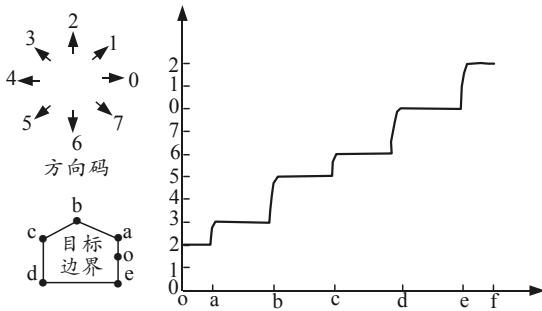


图 3 边界链码示意图

针对飞机目标的 4 项形状特征，边界链码分别通过下列步骤进行表征：

1) 计算边缘总长度。计算边界链码时，首先选取边缘中的某点作为起始点，沿顺时针或逆时针方向，对当前点的 8 方向邻域进行搜索并编码。最终得到该边缘的边界链码，将链码的长度作为边缘总长的度量值。

2) 验证边缘的封闭性。由方向码定义可知，一个方向 1 的码字可以看作一个方向 0 的码字和一个方向 2 的码字的组合。同理，方向 3、方向 5、方向 7 的码字均可以由方向 0、方向 2、方向 4、方向 6 组合而成。若图像上的边缘为封闭曲线，即从某点出发进行链码编码，最终还会回到该点。由此可知，将方向 1、方向 3、方向 5 及方向 7 的码字进行分解，并统计曲线在方向 0、方向 2、方向 4 和方向 6 上的码字数，若该曲线为封闭曲线，应满足方向 0 与方向 4 的码字数相同，同时方向 2 的码字与方向 6 的码字数相同，如式(5)、式(6)：

$$\sum_{i=0,1,7} N(i) = \sum_{j=3,4,5} N(j); \tag{5}$$

$$\sum_{i=1,2,3} N(i) = \sum_{j=5,6,7} N(j). \tag{6}$$

其中  $N(i)$  为边界链码中方向码值为  $i$  的码字数。

不满足上述条件的曲线可能存在 2 种情况：一

种是非封闭的曲线，应当予以删除；另一种是在封闭曲线上存在分支，需要对该分支进行剪枝处理<sup>[9]</sup>。

3) 计算直线段分量总数。在边界链码中，任何方向的直线段分量均可使用 1 至 2 个方向码完全表征：沿着方向码的直线形式如图 4 中的虚线所示；而边缘方向处于 2 个方向码之间的，边界链码由相邻方向码共同组合而成，如图 4 中的实线所示。

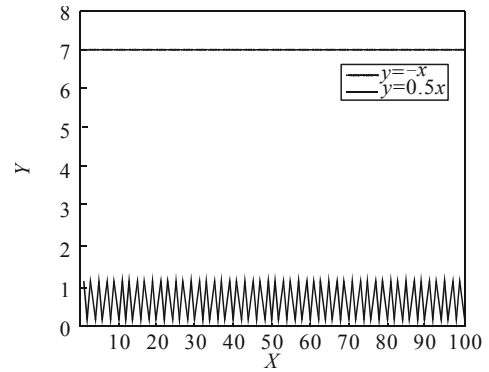


图 4 直线段边界链码示意图

遍历整个边界链码，统计 2 种形式的直线段数量，两者相加作为该边缘中直线段分量的度量值。

4) 角度变化。边界链码在边界方向发生较大改变时会发生明显的跳变。边界差分链码在表征跳变上，表现优于边界链码。简单多边形的边界链码及差分边界链码如图 5 所示。显然，在正方形的直角处边界链码产生了差值为 2 的跳变，与差分链码显示一致；而在三角形的锐角处，同样产生了差值为 2 的码字跳变，同样与三角形边界差分链码显示一致。飞机目标一般存在多个明显的锐角或直角，其边界链码上存在多处跳变。若边缘差分链码中，第  $i$  位码值表示为  $D_i$ ，为了表征飞机目标边缘在角度变化上存在的跳变特征，统计满足  $D_i \geq 2$  的码字总量，作为角度跳变特征的度量值。

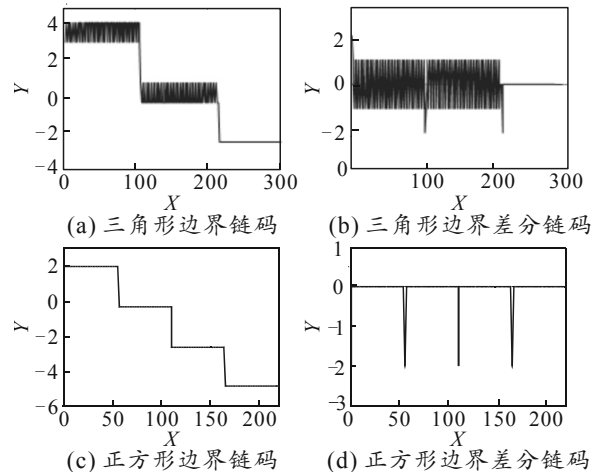


图 5 边界链码跳变示例

### 2.4 支持向量机

SVM 最先由 Vapnik 提出，利用统计学习理论和最小结构风险理论解决线性分类问题<sup>[10-12]</sup>。核函数的引入让 SVM 可以对线性不可分问题进行求解。

假设训练样本集为： $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m)$ ， $x_i \in R^n$ ， $i=1, 2, \dots, m$ ， $y_i \in \{-1, +1\}$ 。 $x_i$  表示样本点的空间坐标，而  $y_i$  是赋予正负 2 类数据的标志位。

SVM 分类算法的基本形式与下列二次规划问题等同：

$$\begin{aligned} \min & \frac{1}{2} \langle w, w \rangle + C \sum_{i=1}^l \xi_i, \\ \text{st } & y_i (\langle w, x_i \rangle + b) - 1 \geq 0, \quad i=1, \dots, m. \end{aligned} \quad (7)$$

其中： $\langle w, x \rangle$  为两向量之间的内积； $\xi_i \geq 0$  为松弛系数，用来表示对错分样本的惩罚程度； $C$  为惩罚因子，决定了对错分样本带来的损失的重视程度，整个优化问题在解的时候， $C$  是一个必须事先指定的值； $w$  和  $b$  为判决函数  $f(x) = \langle w, x \rangle + b$  中的权向量和阈值。

引入拉格朗日乘子  $a_i$  后，问题转化为

$$\begin{aligned} \max_a W(a) &= \sum_i a_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m a_i a_j y_i y_j \langle x_i, x_j \rangle, \\ \text{st } & a_i \geq 0, \quad i=1, \dots, m, \quad \text{其中 } \sum_{i=1}^m a_i y_i = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

判决函数可以被转化成

$$f(x) = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^m y_i a_i \langle x, x_i \rangle + b \right). \quad (9)$$

引入核函数后，SVM 可以用于解决线性不可分问题。将线性不可分问题映射到高维空间，使其线性可分是解决这一问题的主要方法。其中，核函数  $K(w, x)$  可以接受低维空间的输入值，输出高维空间的内积值。由此，判决函数转化为

$$f(x) = \text{sgn} \left( \sum_{i=1}^m y_i a_i k(x, x_i) + b \right). \quad (10)$$

其中  $a$  为下述问题的解：

$$\begin{aligned} \max_a W(a) &= \sum_i a_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^m a_i a_j y_i y_j k(x_i, x_j), \\ \text{st } & a_i \geq 0, \quad i=1, \dots, m. \end{aligned} \quad (11)$$

将飞机目标的边缘特征作为判决函数的输入，若得到的输出为 -1，则该点属于噪声边缘类；若输出为 +1，则属于飞机目标边缘。

### 3 仿真及结果分析

笔者选取了某型战机飞行视频中的一帧图像

对目标检测流程进行演示，如图 6(a)所示。首先对图像进行 Canny 边缘检测，结果如图 6(b)所示，除了飞机的边界外，图像中还存在大量短小、不规则的噪声边缘，以及飞机喷出尾气所形成的边缘。

试验设定边缘长度阈值  $T=50$  像素，将长度小于  $T$  的短边进行滤除，结果如图 6(c)所示。可见，飞机边缘存在局部断裂现象，在进行验证边缘封闭性之前，需要对图像进行闭运算，连接飞机边缘上存在的小缺口，结果如 6(d)所示。经过滤除非封闭边缘以及剪枝操作，图像上仅剩封闭的边缘曲线，如图 6(e)所示。计算 6(e)中边缘的直线段分量及角度变化数量。6(f)显示了经过分类器分类后得到的飞机区域图像。

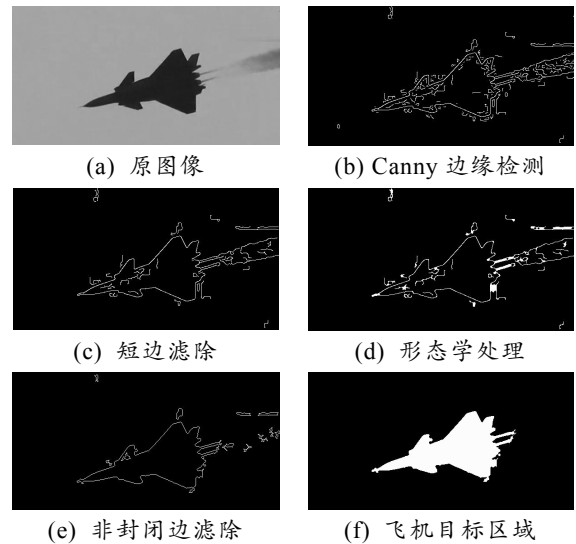


图 6 飞机目标区域获取过程

为了验证飞机目标直线段分量及角度变化特征，选取 20 幅该型飞机在不同角度的参考图像，在非封闭边滤除及剪枝后，人为选取属于战机的边缘，计算该边缘的边界链码，统计直线段分量数目，计算边界差分链码，统计绝对值大于等于 2 的码字数量。另取 20 条噪声边缘，做同样操作，结果如图 7 所示，噪声边缘的直线段分量与角度跳变数相对较小且集中，飞机目标对应量相对较大，但随着飞机目标在图像上投影的面积，变化范围较大。

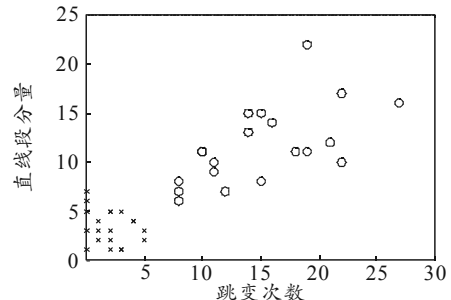


图 7 直线段分量数与角度突变次数

训练集采用了飞机目标在不同视角、大小的 50 帧图像。人为选取 50 条飞机目标边缘，同时选取 50 条噪声边缘，分别计算直线段分量及角度变化特征，将计算结果作为 SVM 分类器的输入。

利用该分类器对视频中的连续 500 帧图像进行检测，训练集大小与准确率关系如图 8 所示。当训练集大小为 100 时，飞机目标的检测率达到 96%。可见，在确保训练集大小的前提下，基于边界链码的飞机目标检测算法能够取得很高的准确率。

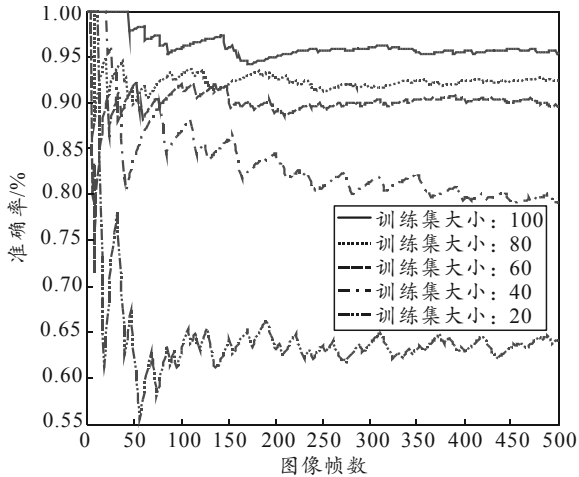


图 8 飞机目标检测准确率

#### 4 结束语

笔者在分析和总结了飞机目标特性的基础上，提出一种基于边界链码的飞机目标检测算法。经过边缘检测、形态学修复、短边滤除、非封闭边缘滤除及剪枝，对边缘信息进行了初步筛选。在此基础上，笔者提取直线段分量和角度跳变次数作为飞机目标特征，并以此构造和训练 SVM 分类器，最终完成视频序列中飞机目标的检测任务。试验结果证明：该方法能够有效获取视频序列中的飞机目标，

并有较高的准确率。

#### 参考文献：

- [1] LIU G, SUN X, FU K, et al. Aircraft recognition in high-resolution satellite Images using coarse-to-fine shape prior[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(3): 573-577.
- [2] 李新德, 杨伟东, Jean D. 一种飞机图像目标多特征信息融合识别方法[J]. 自动化学报, 2012, 38(8): 1298-1307.
- [3] 教欢欢. 视觉显著性应用研究[D]. 北京: 中国科学技术大学, 2013: 31-32.
- [4] 李建峰, 张中, 赵小燕, 等. 简单的图像边缘检测和增强方法[J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 236-237.
- [5] ZENG W M, WU Q X, JIANG C S. Recognition method of aerial targets based on combined invariant moments[J]. Electronics Optics & Control, 2009, 16(7): 21-24.
- [6] RAMAMURTHY B, CHANDRAN K R. Content based image retrieval for medical images using canny edge detection algorithm[J]. International Journal of Computer Applications, 2011, 17(6): 32-37.
- [7] 马川, 冯德俊, 张丽. 结合阈值分割和数学形态学的建筑物阴影检测[J]. 测绘, 2012, 35(4): 151-154.
- [8] MA C, FENG D, ZHANG L. Detecting the building shadow with the two algorithms of threshold segmentation and mathematical morphology[J]. Survey of Mapping, 2012, 17(6): 32-37.
- [9] 刘清, 李连, 苏涛. 军用飞机梯次使用控制评价指标[J]. 兵工自动化, 2016, 35(3): 24-27.
- [10] 蔡飞, 涂丹. 可见光图像人造目标检测技术综述[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(7): 2430-2434.
- [11] 张小艳, 李强. 基于 SVM 的分类方法综述[J]. 科技信息, 2008, 28(1): 344-345.
- [12] VAPNIK V, LERNER A. Pattern recognition using generalized portrait method[J]. Automation and Remote Control, 1963, 24(6): 774-780.