

文章编号: 0253-2239(2007)02-0360-5

基于特征角点的目标跟踪和快速识别算法研究

王向军 王 研 李 智

(天津大学精密仪器与光电子工程学院 精密测试技术与仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 提出了一种基于特征角点的目标跟踪、识别方法,其运算效率较高,且角点不易丢失。从对基于灰度的角点提取方法和基于边缘的角点提取方法的比较入手,提出建立新特征模型的必要性。随后给出了一种既能提高运算效率又能简化跟踪模型的特征角点法。选取了飞行速度为 300 m/s 的某战机序列共 11 帧连续图像作为处理对象,通过在主要配置为 Pentium 4、80 G 内存计算机的、Matlab2006a 软件的环境中进行仿真,算法的运算速度可达 0.7 s,与其他跟踪算法相比跟踪速度较快,表明该方法是一种简洁有效的目标跟踪识别方法。

关键词: 信息处理; 目标跟踪; 特征点跟踪; 角点

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A

Fast Target Recognition and Tracking Method Based on Characteristic Corner

Wang Xiangjun Wang Yan Li Zhi

(State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, College of Precision Instrument and Optoelectronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract: A fast target recognition and tracking method based on characteristic corner is introduced, which is efficient in target tracking and holds corners very well during tracking. The contrast of the corner-pick-up methods based on gray histogram and based on edge indicates the necessity of a new characteristic model, and a simple tracking model based on characteristic corners is advanced, with improved processing efficiency and simplified tracking target. Throughout the simulation on 11 frames of the video sequence of a battleplane, whose speed is 300 m/s in the environment of computer with Pentium 4, 80 G random access memory, software Matlab2006a, the processing speed reaches 0.7 s, and the result indicates that this method is effective and simple compared with other tracking methods.

Key words: information processing; target tracking; characteristic points tracking; corner

1 引 言

目前,目标的跟踪与识别已广泛应用于各个领域,如:安全监控、农作物生长速度测定、军事系统等。实现目标跟踪识别的方法主要有基于对比度的方法、差分阈值法、质心法、相关法、特征识别法等。其中基于目标特征的方法是当前的研究热点^[1,2]。

目标特征中的角点信息是对目标的一种综合描述,对角点进行提取、跟踪能反映目标的静态和动态特征。角点通常被理解为图像中物体边缘上曲率较大的点,具有两个关键特征:即角点位于图像中物体的边缘上和角点是边缘上曲率较大的点。实现角点跟踪主要有两个关键环节,角点提取和角点匹配。角点提取主要有基于边缘提取和基于灰度提取;角

点匹配有基于相关的角点模板匹配和基于角点特征的匹配。实验结果显示普通的角点跟踪方法是有效的,但是过多的角点会增加运算时间,同时也给多帧图像中的角点匹配带来了困难^[5,6]。为了减少匹配角点数,提高运算效率,同时又能够有效地实现目标识别、跟踪和运动分析,在角点跟踪算法的基础上,本文提出了一种特征角点的概念,对特征角点跟踪方法进行了讨论。

2 角点的提取

人们提出过许多角点检测法,可划分为两类:1)直接依据灰度级图像数据的检测法;2)根据物体边缘信息的检测法,如 Cheng-Hus 角点检测法,

作者简介:王向军:(1955—),男,辽宁人,教授,博士生导师,主要研究方向为精密测试技术及仪器,影像与视觉测量理论与技术,MEMS 测试技术及方法等。E-mail: xdocuxjw@vip.163.com

收稿日期:2006-03-21;收到修改稿日期:2006-06-30

Teh-Chin角点检测法, MedioId-Ya5Mmoto 角点检测法, Weighted-K-Nrvature 角点检测法和 BeurTiu 角点检测法。作为一种跟踪算法,为了减少运算量,且易于表达,本文首先对目标所处的大概区域进行确定,后续的点提取和跟踪均以此区域为基础。

2.1 基于边缘的角点提取算法

角点是一种特殊的边界点,是两条以上边界的交点。所以角点检测可通过以下方式得到:图像预处理,确定目标区域,图像分割,抽取出目标边界,将边界用富雷曼(Freeman)链码表示,在链码基础上去掉边界直线点,计算每个非直线边界点的曲率,定义阈值过滤后的局部曲率极大点对应于目标图像的角点,如图 1 和图 2(b)所示^[7,8]。

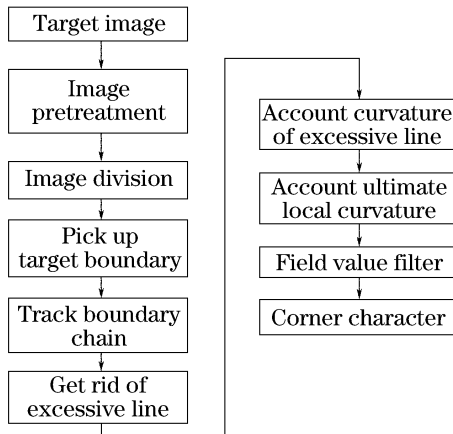


图 1 基于边界的角点提取流程

Fig. 1 Pick-up flow of the corner based on edge

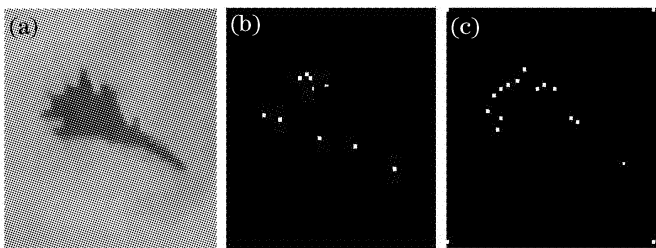


图 2 (a) 序列图像中第 201 帧中的目标区域, (b) 基于目标边界法提取的角点, (c) 基于灰度方法提取的目标角点

Fig. 2 (a) Object area of the 201th frame in the image sequence, (b) corner picked up on object's edge, (c) corner picked up on object's gray scale

2.2 基于灰度的角点提取

基于图像灰度的角点检测算法由于不需要边缘提取工作,在实际中得到广泛的应用,并提出了很多种角点算法。如 Moravec 的“兴趣算子”、Plessey 角点算子, Susan 角点提取算子和最小亮度变化角点算子等。这里采用的是 Plessey 角点算子,它由 Harris 和 Stephen 提出,采用了 Nobel 的改进方法,

此算法检出的角点可靠性高^[7,8]。

定义任一像素点的能量为:

$$E_{xy} = \sum_{u,v} W_{u,v} [xI_x + yI_y + O(x^2, y^2)]^2 = (x, y)M(x, y)^T, \quad (1)$$

其中:

$$I_x = I \otimes dx, \quad I_y = I \otimes dy,$$

$$\bar{I}_x^2 = I_x^2 \otimes W, \quad \bar{I}_y^2 = I_y^2 \otimes W,$$

$$\bar{I}_{xy}^2 = I_x I_y \otimes W,$$

$$dx = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad dy = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix},$$

$$M = \begin{bmatrix} \bar{I}_x^2 & \bar{I}_{xy}^2 \\ \bar{I}_{xy}^2 & \bar{I}_y^2 \end{bmatrix},$$

\otimes 表示模板卷积, dx, dy 为 Prewitt 梯度算子, W 选取高斯平滑函数,角点相应函数定义为

$$f_{\text{cim}} = \frac{\bar{I}_x^2 \bar{I}_y^2 - \bar{I}_{xy}^2}{\bar{I}_x^2 + \bar{I}_y^2}. \quad (2)$$

当 f_{cim} 值超过一定阈值时认为角点存在。图 2 (c) 中角点的探测采用的即是此方法,阈值选取为 1000。

3 特征角点的定义与提取

本文对比了基于灰度的角点提取方法和基于边缘的角点提取方法,采用基于角点特征的角点匹配和基于相关的角点模板匹配均进行了实际编程测试,实验结果表明过多的角点会增加运算时间,同时也给多帧图像中的角点匹配带来了困难,如图 3 所示,在 30 帧图像中始终能够匹配的角点只有 2 个。

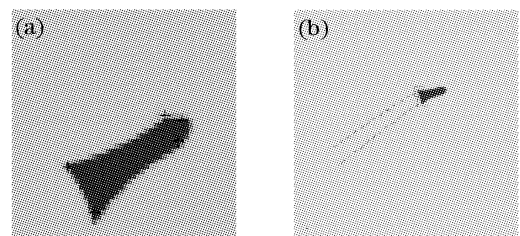


图 3 角点跟踪。(a) 序列图像第 1 帧及侦测到的角点(局部), (b) 序列图像第 30 帧及角点跟踪轨迹(虚线)
Fig. 3 Corner tracking. (a) the 1st frame of image sequence and detected corners (local), (b) the 30th frame of image sequence and trace of corners (dashed)

为了减少匹配角点数,提高运算效率,同时又能够有效地实现目标识别、跟踪和运动分析,本文提出了特征角点的概念。特征角点是目标图像中最具有代表性的,简洁反映目标特征的角点。

以飞机目标为例,这种最具有代表性的特征角

点是指代表飞机机头部分、两翼和机尾部分的角点,如图4。首先在二值化图形的基础上,计算目标各角点的重心矩和重心坐标:

$$M = \sum_{x,y \in R} [x - x_G]^2 + (y - y_G)^2 I(x, y), \quad (3)$$

$$x_G = \frac{\sum_{x,y \in R} x I(x, y)}{\sum_{x,y \in R} I(x, y)},$$

$$y_G = \frac{\sum_{x,y \in R} y I(x, y)}{\sum_{x,y \in R} I(x, y)},$$

定义第一特征角点 $C_1(x_{c1}, y_{c1})$ 为重心矩最大的角点:

$$\begin{aligned} M_{x_{c1}, y_{c1}} &\geq M_{x, y}, & x_{c1}, y_{c1} &\in R \\ M_{x_{c1}, y_{c1}} &= \max(M_{x, y}), & x, y &\in R \end{aligned} \quad (4)$$

定义两翼的角点为第二和第三特征角点,用

$C_2(x_{c2}, y_{c2}), C_3(x_{c3}, y_{c3})$ 表示。飞机两翼的投影一般位于重心两侧,且位于重心与第一特征角点的连线的垂线附近。设总角点数为 N ,任一角点到 L (重心与第一特征角点连线) 的距离:

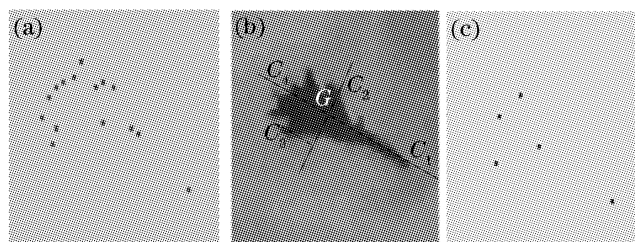


图4 (a) 目标角点和重心, (b) 特征角点分析, (c) 特征角点
Fig. 4 (a) Object's corner and barycenter, (b) characteristic corners analysis, (c) characteristic corners

$$d_{cn} = \frac{|(y_{c1} - y_G)(x_{cn} - x_G) + (x_{c1} - x_G)(y_G - y_{cn})|}{\sqrt{(y_{c1} - y_G)^2 + (x_{c1} - x_G)^2}}, \quad n = 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

对除了第一特征角点 C_1 外每一角点,首先判断属于直线 L 左侧,还是右侧,然后计算到直线 L 的距离, P_1, P_2 分别代表直线 L 左侧和右侧角点到直线 L 距离的集合:

$$P_1 = \{d_{cn} \mid (x_{c1} - x_G)(y_{cn} - y_G) - (y_{c1} - y_G)(x_{cn} - x_G) > 0, \quad n \in 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

$$P_2 = \{d_{cn} \mid (x_{c2} - x_G)(y_{cn} - y_G) - (y_{c2} - y_G)(x_{cn} - x_G) > 0, \quad n \in 1, 2, \dots, N-1 \quad (7)$$

此外定义第二特征角点 C_2 和第三特征角点 C_3 分别为直线 L 两侧到 L 距离最远的点:

$$C_2 = \max P_1, \quad C_3 = \max P_2, \quad (8)$$

通过对序列图像的分析,注意到机尾点一般位于重心与机头点连线的延长线附近。定义第四特征角点 C_4 为与直线 L 距离最近的点。首先应判定 C_4 与 C_1 分别位于直线 L 的两侧,若

$$-\frac{x_{c1} - x_G}{y_{c1} - y_G} x_{c4} - y_{c4} + \left(y_G + \frac{x_{c1} - x_G}{y_{c1} - y_G} x_G \right) > 0, \quad (9)$$

则

$$-\frac{x_{c1} - x_G}{y_{c1} - y_G} x_{c4} - y_{c4} + \left(y_G + \frac{x_{c1} - x_G}{y_{c1} - y_G} x_G \right) \leq 0, \quad (10)$$

否则,必须有

$$-\frac{x_{c1} - x_G}{y_{c1} - y_G} x_{c4} - y_{c4} + \left(y_G + \frac{x_{c1} - x_G}{y_{c1} - y_G} x_G \right) > 0. \quad (11)$$

4 目标识别与跟踪

4.1 目标识别

仅考虑区别飞机和导弹的情况。根据特征角点的定义,飞机目标区别于导弹目标的主要特征条件有

1) C_2, C_3 连线(L_{23})与 C_1, C_4 连线(L_{14})之长度比(T)大于一定阈值;

$$T = \frac{|L_{23}|}{|L_{14}|} = \frac{\sqrt{(x_{c3} - x_{c2})^2 + (y_{c3} - y_{c2})^2}}{\sqrt{(x_{c4} - x_{c1})^2 + (y_{c4} - y_{c1})^2}} > T_{lim}, \quad (12)$$

一般选取 $0.5 \geq T_{lim} \geq 0.2$ 。

2) 重心不位于 C_1, C_4 连线(L_{14})的中部。得到点集:

$$P_3 = \left\{ d_{cn} \mid d_{cn} = \frac{|(x_{c1} - x_G)(y_{cn} - y_G) - (y_{c1} - y_G)(x_{cn} - x_G)|}{\sqrt{(y_{c1} - y_G)^2 + (x_{c1} - x_G)^2}}, \quad n = 1, 2, \dots, N-3 \right\} \quad (13)$$

定义 S 为 C_4 与重心 G 连线(L_{G4}) 与 C_1 与重心 G 连线(L_{G1}) 的比值:

$$S = \frac{|L_{G4}|}{|L_{G1}|} = \frac{\sqrt{(x_{c4} - x_G)^2 + (y_{c4} - y_G)^2}}{\sqrt{(x_{c1} - x_G)^2 + (y_{c1} - y_G)^2}}, \quad (14)$$

对导弹目标:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (15)$$

$$S_{\min}, S_{\max} \in [0.8 \ 12]$$

对飞机目标:

$$S > S_{\max} \quad \text{or} \quad S < S_{\min} \quad (16)$$

$$S_{\min}, S_{\max} \in [0.8 \ 12]$$

当目标满足条件 1) 时, 计算是否满足条件 2), 同时满足这两个条件则判定为飞机目标, 否则判定为导弹或不确定目标。

4.2 目标跟踪

对目标的实时跟踪可以转化为对特征角点的实时跟踪, 对连续帧图像进行角点跟踪必须进行角点匹配。有两种办法, 一种是对每一帧图像计算特征角点, 由特征角点定义, 很容易根据特征角点序号找到对应匹配特征角点, 称之为“特征角点序号匹配法”; 另一种方法就是利用块匹配, 从第一帧中截取特征角点所在位置的图像块, 在连续第二帧图像中的对应位置附近寻找对应匹配块, 这种方法不需要进行特征角点提取, 但块匹配运算的计算量也很大。

5 实验结果与结论

在仿真试验中, 本文选取了某战机序列视频图像作为处理对象, 战机飞行速度为 300 m/s, 在视频图像中显示为 3 pixels/s。首先读取图像进行预处理, 将大小为 360 pixel × 268 pixel 的 RGB 图像转化为 256 × 256 的灰度图像。然后采用点跟踪模式, 确定目标区域计算目标区域角点并提取目标角点, 在目标角点中提取特征角点, 使用 3 × 3 方框描述特征角点位置。根据特征角点的定义, 序列图像的特征角点匹配直接使用“特征角点序号匹配法”, 获得



图 5 001~011 帧特征角点跟踪

Fig. 5 Characteristic corner tracking frames (001~011)

匹配的特征角点, 最后绘制了特征角点运动轨迹。对共 11 帧连续图像进行分析, 结果如表 1 和图 5 所示。整个算法是在主要配置为 Pentium 4、80 G 内存的计算机、Matlab2006a 软件的环境中进行仿真的, 算法的运算速度可达 0.7 s。

表 1 序列图像 001~011 特征角点

Table 1 Characteristic corners of 001~011 image sequence

| | | G | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 |
|------------|---|-----|-------|-------|-------|-------|
| 1st frame | X | 117 | 111 | 124 | 113 | 121 |
| | Y | 142 | 163 | 142 | 134 | 132 |
| 2nd frame | X | 117 | 111 | 124 | 113 | 121 |
| | Y | 142 | 163 | 142 | 134 | 132 |
| 3rd frame | X | 116 | 110 | 124 | 112 | 121 |
| | Y | 142 | 163 | 142 | 133 | 131 |
| 4th frame | X | 117 | 108 | 124 | 112 | 121 |
| | Y | 144 | 166 | 144 | 135 | 134 |
| 5th frame | X | 113 | 103 | 121 | 110 | 119 |
| | Y | 155 | 176 | 154 | 145 | 144 |
| 6th frame | X | 110 | 100 | 119 | 108 | 115 |
| | Y | 162 | 183 | 161 | 151 | 150 |
| 7th frame | X | 109 | 96 | 119 | 108 | 115 |
| | Y | 167 | 189 | 167 | 156 | 156 |
| 8th frame | X | 114 | 99 | 125 | 110 | 123 |
| | Y | 169 | 190 | 168 | 160 | 158 |
| 9th frame | X | 119 | 103 | 131 | 116 | 127 |
| | Y | 169 | 189 | 167 | 160 | 157 |
| 10th frame | X | 121 | 105 | 133 | 116 | 129 |
| | Y | 168 | 188 | 167 | 161 | 157 |
| 11th frame | X | 126 | 108 | 137 | 121 | 131 |
| | Y | 163 | 182 | 164 | 158 | 154 |

G : object barycenter; C_1 : the 1st characteristic corner; C_2 : the 2nd characteristic corner; C_3 : the 3rd characteristic corner; C_4 : the 4th characteristic corner; the grid origin is at the top left corner of image, axis of abscissa is Y axis, the right direction is positive, the vertical axis is X axis, the down direction is positive

实验表明, 特征角点跟踪是有效的, 这种跟踪方法对目标表达简洁, 为目标识别和运动分析提供了关键信息。相对一般角点跟踪法, 匹配点更稳定可靠, 在多图像角点跟踪时角点不会丢失。特征角点跟踪为进一步目标识别、瞄准点选择、运动参量估计提供了良好基础。

参 考 文 献

- 1 Yang Yihe, Zhou Weizhen. *Image Tracking Technology Introduction*[M]. Xi'an: Xi'an Electronic Science and Technology Press, 1992. 108~173 (in Chinese)
- 杨宜禾, 周维真. *成像跟踪技术导论*[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1992. 105~173

2 J. F. Vega-Riveros, K. Jabbour. Review of motion analysis techniques[J]. *IEEE Proceeding*, 1989, **136**(6): 397~404

3 Lu Hanqing, Peng Jiexiong, Wan Faguan. The application of corner in target identification and classification [J]. *J. Data Collection and Management*, 1992, **7**(3): 182~186 (in Chinese)
卢汉清,彭嘉雄,万发贵. 角点在目标识别分类中的应用[J]. *数据采集与处理*, 1992, **7**(3): 182~186

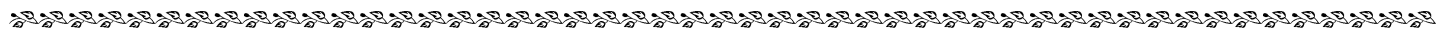
4 Qiang Ji, Robert M. Haralick. Corner detection with covariance propagation[C]. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97)*, 1997. 362~367

5 Zhang Xiaoli, Wang Min, Huang Xinhan. An effective method for corner detection based on freeman chain [J]. *J. Electronic Measurement and Instrument*, 1999, **13**(2): 14~19 (in Chinese)
张小莉,王 敏,黄心汉. 一种有效的基于 Freeman 链码的拐角检测法[J]. *电子测量与仪器学报*, 1999, **13**(2): 14~19

6 Cheng Lan, Tian Yuan, Liang Dequn *et al.*. A quick estimation of corner angle based on brim chain filter[J]. *J. North China Electric Power University*, 2000, **27**(4): 59~63 (in Chinese)
成 兰,田 原,梁德群 等. 基于边缘链码滤波的角点角度快速估计算法[J]. *华北电力大学学报*, 2000, **27**(4): 59~63

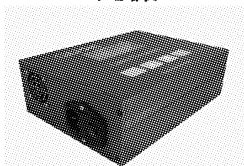
7 Xie Donghai, Zhan Zhongjian, Jiang Wanshou. The exact orientation based on the mended Harris arithmetic operator[J]. *J. Geomatics*, 2003, **28**(2): 22~23 (in Chinese)
谢东海,詹总谦,江万寿. 改进 Harris 算子用于点特征的精确定位 [J]. *测绘信息与工程*, 2003, **28**(2): 22~23

8 Chris Harris, Mike Stephens. A combined corner and edge detector[C]. *Proceeding of the 4th ALVEY Vision Conference*, 1988. 147~151



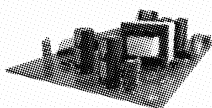
· 广 告 ·

LT100 光镊



集成的光镊系统
功率稳定度<0.1%
双光臂差异<0.3%
不占用显微镜入光口
单模光纤输出
光臂夹持监测
尺寸: 205*150*72 mm

LDD100高精度激光驱动模块



偏置电流: 0-1A
自动温度控制回路
TEC电流: 2A(最大)
显示输出模块可选

L100高精度连续激光器

200-1700nm波长可选
功率稳定度 <1%
高功率半导体制冷

LDD300 大功率连续激光驱动器



偏置电流: 0-100A
TEC最大输出: 400W
尺寸: 405*250*85 mm
超温, 过压过流以及静电保护
其他波长和功率激光器可定制

HPL30 大功率连续激光器

80W 808nm或980nm波长
功率稳定度 <1%
体积小, 效率高

我们也提供以下产品:

单光子源, 单光子探测器, 光纤传感器, 亚纳秒短脉冲发生器, 各种半导体、固体激光器, 各种探测器, 以及光电检测和基于光电手段的监控解决方案。

诚征全国代理

QLINK 深圳市量子通科技有限公司

www.qulinktech.com.cn Tel: 86-755-26993898 / 86147755 Fax: 86-755-26993182 sales@qulinktech.com