

基于直线边缘特征匹配的扩展目标跟踪方法

张建伟^{1,2} 张启衡¹

(¹ 中国科学院光电技术研究所, 中国科学院 863 计划光束控制重点实验室, 四川 成都 610209)
² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 为了稳定而精确地跟踪扩展目标, 提取相邻两帧图像中扩展目标的所有直线边缘征, 计算两帧中所有直线的相对斜率、相对倾角和相对截距进行匹配来确定跟踪位置。通过计算相邻帧之间交点描述子的欧氏距离找到最佳匹配, 计算出所有交点的重点作为跟踪位置来实现扩展目标跟踪。实验中该方法在扩展目标的跟踪中有非常好的表现, 其结果表明在不发生太大变形的情况下, 都可以比普通的模板匹配跟踪有更好的稳定性和更精确的跟踪位置。

关键词 图像处理; 目标跟踪; 直线检测; 欧氏距离; 描述子

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/AOS20092910.2826

Extended Object Tracking Method Based on Straight-Line Edge Feature Matching

Zhang Jianwei^{1,2} Zhang Qiheng¹

(¹ Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Beam Control for 863 Program, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China)
² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract In order to track the extended object stably and precisely, firstly, all straight-line edge features in extended object between neighboring frames are extracted and every intersection of straight-line feature edge can be described by slopes, obliquities and intercepts of two straight lines, then the intersections are matched between neighboring frames by computing the Euclidean distance minimum of descriptors, finally the centroid of intersections is considered as the tracking position. Experimental results show that the method has an excellent performance in the object tracking. If the object does not transform greatly, the tracking method is more stable and more precise than ordinary template matching method.

Key words image processing; object tracking; straight-line detection; Euclidean distance; descriptor

1 引言

特征匹配是目标跟踪中一个重要组成部分, 不同的特征可以产生不同的跟踪性能^[1~3], 到目前为止, 已经有很多种特征被提出^[4~6], 其中包括灰度、Harris 角点^[7~9]、线特征^[10,11]、区域特征^[12]等。但是在目标跟踪中用的最普遍的仍然是灰度特征^[13], 因为在相邻帧之间匹配目标图像的灰度不仅简单而且非常有效, 然而它也有非常明显的缺陷, 比如它对目标表面的变形(旋转、缩放、拉伸等)非常敏感, 以至于它不能很好地完成跟踪任务。后来提出了模板刷新的方法,

它可以通过刷新模板来克服目标的变形, 但随之而来的是不断地刷新误差的积累引起的模板漂移。为了更好地实现目标跟踪, 许多方法已经被提出: 一方面, 采用模板校正的途径来实现稳定跟踪^[14~15]; 另一方面, 正在积极地寻找更稳定的特征来代替灰度特征来进行目标跟踪, 一般来说, 如果目标能够被分割, 目标的形心就能计算出来, 这样的特征比较稳定不会带来累积误差, 但是目标的分割在一些情况下是非常困难的, 特别是扩展目标, 因为它在视窗中的所占比例比较大。因此寻找更好更稳定的特征就成了当前目标

收稿日期: 2008-10-24; 收到修改稿日期: 2009-02-13

作者简介: 张建伟(1980—), 男, 博士研究生, 主要从事图像处理、目标识别与检测方面的研究。

E-mail: zjw75094@163.com

导师简介: 张启衡(1950—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事光电探测与目标跟踪等方面的研究。

E-mail: qhzhang@ioe.ac.cn

跟踪领域的一个重要任务。

本文针对寻找更稳定的特征,提出了利用边缘直线特征的提取,把直线交点视为一种特征点,并对其建立描述子,然后通过相邻帧之间描述子欧式距离的匹配来实现目标的精确跟踪。

2 边缘直线特征检测

为了更好地定位直线的交点,快速且精确地提取直线特征是非常重要的,下面就简要介绍一下基于遍历块的直线特征检测方法^[16]。

首先,需要建立一个小的正方形块,通常块的大小可以是 16×16 或 24×24 ,然后使这个块遍历整个图像,如果设 s 是方块每次移动的步长, a 是方块边长的大小,那么 s 的取值范围可以表示为: $[1 \ a]$ (单位:pixel),当 $s = 1$ 时,该方块将遍历图像上每一个像素,块与块之间相互重叠;当 $s = a$ 时,该方块将平铺于整个图像。

当该方块每移动到一个新像素,便对方块内的图像计算灰度直方图,通常直方图有 3 种类型,分别是:单峰、双峰和多峰。如果直方图类型属于双峰则保留,否则就放弃。经过这样的筛选过后,对所保留下的块通过两值化和 Freeman 链码进行单像素的边缘提取,如果设 $P(x, y)$ 是提取出的单像素点,则可以拟合出一条直线 l :

$$\begin{cases} bN + k \sum x_i = \sum y_i, \\ b \sum x_i + k \sum x_i^2 = \sum x_i y_i, \end{cases} \quad (1)$$

其中 k 为斜率, b 为截距。然后,所有的单像素点到拟合直线的距离和为

$$s = \sum_{i=0}^N |P_i - l_i|, \quad (2)$$

其中 l_i 是 P_i 在拟合直线上投影的对应点, N 是边缘单像素的个数。

当 s 大于某一阈值时,则表明该边缘拟合误差太大不具备直线边缘的条件,否则保留此块,同样的过程遍历整个图像,可得到一定数量的直线段,按照模式分类的方法对所有块内的直线段斜率和截距分类,并计算出每条直线的斜率与截距,设 N_1 是某一类直线的直线段数,那么

$$k = \sum_{i=1}^{N_1} k_i / N_1, \quad (3)$$

$$b = \sum_{i=1}^{N_1} b_i / N_1, \quad (4)$$

图 1 显示了该方法对一幅图像做直线检测的结果。

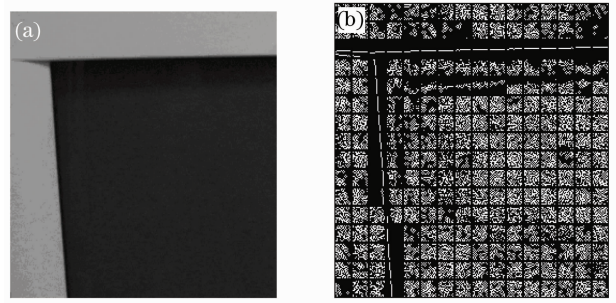


图 1 遍历块提取直线特征。(a)原始图像;
(b)二值化的边缘点

Fig. 1 Extracting the straight-lines features by ergodic block.

(a) Original image; (b) edge points from binary image

3 基于直线特征的目标跟踪

由平面几何的理论可知,在任何一个二维空间中,两条直线不是平行就一定相交,因此在图像序列中所有的非平行的直线必存在交点。只要对交点进行了唯一性的描述就可以在前后帧之间对其进行匹配了。

3.1 直线交点描述子

任何一个直线都存在一个斜率与截距,而一个斜率和一个截距就可以确定唯一的直线,因此可用斜率与截距两个参数表示一条直线。如果设一条直线的 k 为斜率, h 为截距,那么 k, h 就可表示该直线,因此在检测出直线边缘后,将所有直线用斜率与截距表示,在一幅图像中以检测到很多条直线,所有不平行的直线都会相交形成交点,因此如果 N 是所检测到的直线数,那么交点数可以表示为 C_N^2 ,图 2 显示了存在三条直线边缘的情况。

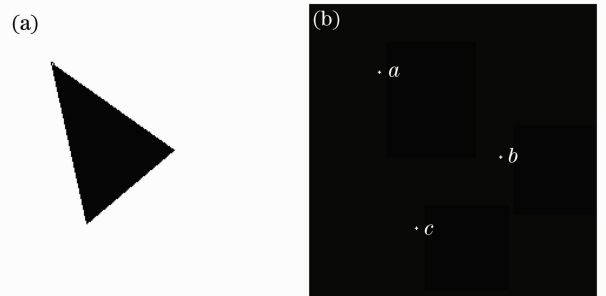


图 2 三条直线交点情况

Fig. 2 Three straight lines form the different intersections

但往往图像中也会出现交点在所限图像大小以外的情况,这样就不予考虑了。以图 2 为例来引入描述子,设点 a 是由线 l_{ab} 和线 l_{ac} 组成,那么线 l_{ab} 的斜率用 k_{ab} 表示,截距用 h_{ab} 表示,线 l_{ac} 的斜率用 k_{ac} 表示,截距用 h_{ac} 表示。由于每两个直线形成一个交点,每条直线有一个斜率和一个截距,因此可以用两

个斜率(或两个倾角)和两个截距来描述一个交点,如(5)式、(6)式所示:

$$\hat{P}_a = [k_{ab} \quad k_{ac} \quad h_{ab} \quad h_{ac}], \quad (5)$$

或

$$\hat{P}_a = [\theta_{ab} \quad \theta_{ac} \quad h_{ab} \quad h_{ac}]. \quad (6)$$

3.2 帧间的交点匹配

由于目标跟踪是在图像序列中完成的,因此在帧与帧之间目标几乎只有很小的变化,以前一帧的跟踪位置为中心选择一个合适大小的模板图像进行直线检测并计算出两两直线的交点,在下一帧使用最大相似距离(Maximum close distance, MCD)^[17]算法找出上一帧模板在此帧中的位置, MCD 可表示为

$$d(x, y) = \sum_{x=0}^{n-1} \sum_{y=0}^{n-1} R[F(x, y) - h(x + x_0, y + y_0)], \quad (7)$$

$$R[f(x, y) - h(x, y)] = \begin{cases} w_{x,y}, & \text{if } |f(x, y) - h(x, y)| < T \\ 0, & \text{if } |f(x, y) - h(x, y)| \geq T \end{cases} \quad (8)$$

其中 $f(x, y)$ 为模板, $h(x, y)$ 为搜索区域, w_{ij} 是 $[0, 1]$ 之间的加权系数, 离中心越近值越大, 反之就越小. T 是灰度相似性阈值, 通常值取 $8 \sim 15$ 之间. 中心加权策略可以以提高相关峰的陡峭程度, 增加抗小范围畸变的能力. 当 $d(x, y)$ 达到最大值则表示本帧中找到了上一帧的模板的位置. 这里引入 MCD 主要有两个目的, 一是可以保证相邻模板中直线的相对斜率和相对截距的一致性; 二是在直线交点出现匹配错误的情况下, MCD 可以保证目标不是暂时失锁. 然后在 MCD 匹配的位置选择 96×96 到 128×128 之间大小的一个区域, 用块直线检测在该区域内找出当前帧存在的交点和上一帧模板位置同样大小的区域存在的直线交点, 用直线的斜率和截距对所有检测出的交点建立描述子, 之后前一帧中每一个交点描述子与本帧中每一个描述子进行欧式距离的计算

$$|P' - P|_E = \sqrt{(k'_1 - k_1)^2 + (k'_2 - k_2)^2 + (h'_1 - h_1)^2 + (h'_2 - h_2)^2}, \quad (9)$$

或

$$|P' - P|_E = \sqrt{(\theta'_1 - \theta_1)^2 + (\theta'_2 - \theta_2)^2 + (h'_1 - h_1)^2 + (h'_2 - h_2)^2}. \quad (10)$$

当这个距离达到最小值时, 就说明前一帧的交点在下一帧中找到了它的匹配位置. 同样的过程对每个

交点进行匹配, 在找到所有的匹配后就可计算出该帧的交点的形心位置(如果只有一个交点则形心就是它本身), 作为前一帧在该帧中的跟踪位置. 如果设 S 是交点的集合, (i, j) 是各个形心得坐标, 为形心的个数, 那么形心计算为

$$x_0 = \sum_{(i,j) \in S} i/N, \quad y_0 = \sum_{(i,j) \in S} j/N. \quad (11)$$

算法流程图如图 3 所示.

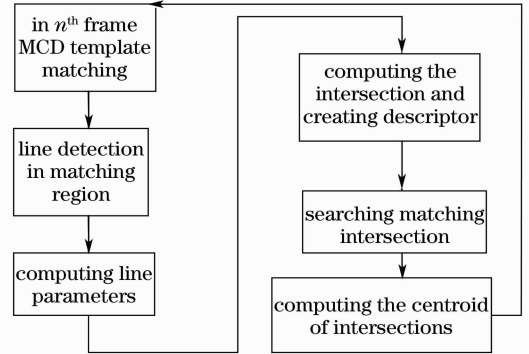


图 3 基于直线边缘特征的扩展目标定位流程

Fig. 3 Flow chart of extended object tracking method based on straight-line edge feature

4 实验验证

为了验证文种的算法的有效性, 在 Pentium(R) 4 CPU 2.80 GHz 计算机, 内存 1 GB, VC++ for WinXP 系统平台上对上述算法进行了仿真. 在实际的图像序列中, 一般的指定区域中包含的直线数和交点数都是很有限的, 其中包含一个交点的情况最多, 其次是两个、三个及以上的情况可以说很少了. 下面的实验仿真主要是对含有一个交点的情况, 这样的情况只匹配一个交点, 后续帧中进入搜索区域的其它点将会被排除, 该情况由于形心就是那个交点本身, 所以减少了计算形心的过程. 以下实验均采用帧频为 30 frame/s, 图像大小为 600×400 的序列进行仿真, 其中第一个序列视场大小约为 $0.3 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$, 第二个序列的视场大小约为 $3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$.

第一个序列是一个比较简单的序列, 一张纸在平面上左右的摆动, 主要检验该方法对旋转和平移的稳健性, 在跟踪过程中使用参量为相对斜率与相对截距. 图 4 给出了本文的方法与普通的模板刷新匹配跟踪结果的比较.

表 1 给出了该跟踪过程中每 50 帧一个采样的相邻帧的相对斜率、相对截距、欧式距离以及跟踪点的 X, Y 坐标.

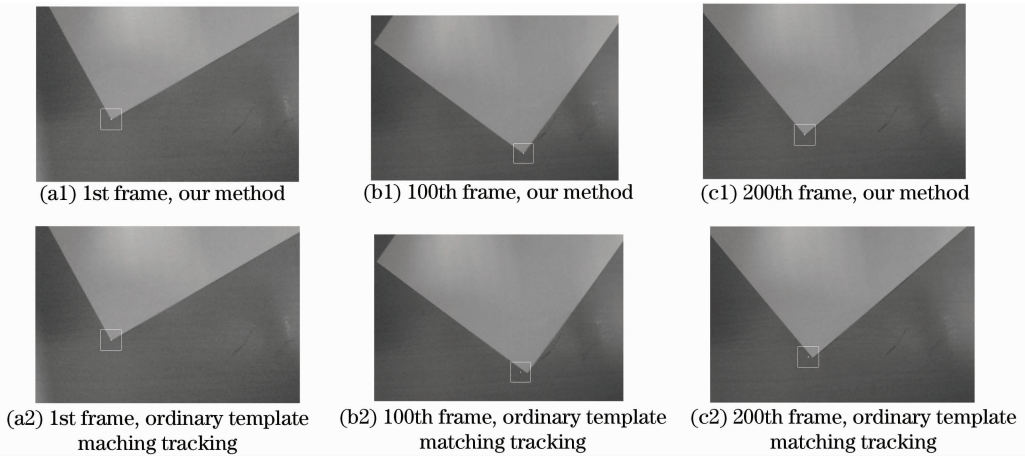


图 4 普通模板跟踪与本文的方法对比[(a1),(b1),(c1):本文的方法;(a2),(b2),(c2):普通的模板匹配跟踪]

Fig. 4 Comparison of our method and ordinary template matching tracking in a simple image sequence

(a1),(b1),(c1): our method; (a2),(b2),(c2): ordinary template matching tracking

表 1 序列一跟踪过程相关的实验数据

Table 1 Some tracking parameters in image sequence 1

| Frame number | Relative slope 1 / rad | Relative slope 2 / rad | Relative intercept 1 | Relative intercept 2 | Euclidian distance | X coordinate | Y coordinate |
|--------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------|--------------|
| 1 | -1.779484 | 0.577655 | 173.193832 | 24.883377 | | 171.646969 | 314.505957 |
| 2 | -1.778243 | 0.577180 | 175.203384 | 22.788187 | 2.903122 | 170.938880 | 318.295970 |
| 50 | -1.328865 | 0.756592 | 150.699860 | 13.278283 | | 240.137529 | 364.127160 |
| 51 | -1.322959 | 0.757014 | 148.844772 | 12.742960 | 1.930783 | 244.780254 | 365.512540 |
| 100 | -0.762147 | 1.272415 | 116.284225 | -23.466761 | | 357.688463 | 389.066510 |
| 101 | -0.757171 | 1.284714 | 114.125877 | -21.373638 | 3.006608 | 359.360040 | 389.119991 |
| 150 | -1.311742 | 0.762748 | 145.189529 | 21.187923 | | 252.127808 | 365.593706 |
| 151 | -1.332108 | 0.744315 | 146.753708 | 22.532824 | 2.063048 | 248.194363 | 364.317936 |
| 200 | -1.220774 | 0.806830 | 144.438324 | 9.419585 | | 415.766142 | 418.097859 |
| 201 | -1.214739 | 0.810531 | 142.894348 | 8.878750 | 1.635974 | 373.800521 | 374.078060 |

以每 20 帧为一个采样对分别对本文的方法、模板匹配的方法和跟踪点的基准坐标的 X 坐标和 Y 坐标值进行比较：

从图 5 可见，本文的方法与实际的基准坐标基本重合，而模板匹配法却存在较大的误差。其中 X 方向模板匹配方差 6.9，本方法 0.52；Y 方向模板匹

配方差 1.6，本方法 0.94。可发现本方法的跟踪精度要比模板匹配的方法高的多，尤其是 X 轴将近差六个像素，这主要是由于目标运动本身引起的。在跟踪过程中，由于直线交点错误匹配的虚警概率为 1.5%，但是由于 MCD 的作用，目标并没有失锁。

第二个序列是一个从不同的距离和角度去跟踪

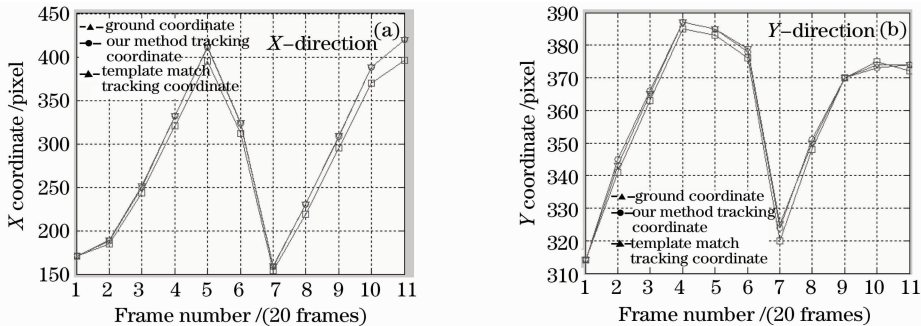


图 5 图 4 序列中模板匹配方法跟踪坐标、本文方法的跟踪坐标与实际的基准坐标比较

Fig. 5 In Fig. 4 the comparison among ground coordinate, template matching tracking coordinate and

our method tracking coordinate

一辆汽车,主要验证该方法对尺度和观测角度变换的稳健性,在跟踪过程中采用参量为相对倾角与相

对截距。图 6 给出了本文方法与普通的模板刷新匹配跟踪的比较。

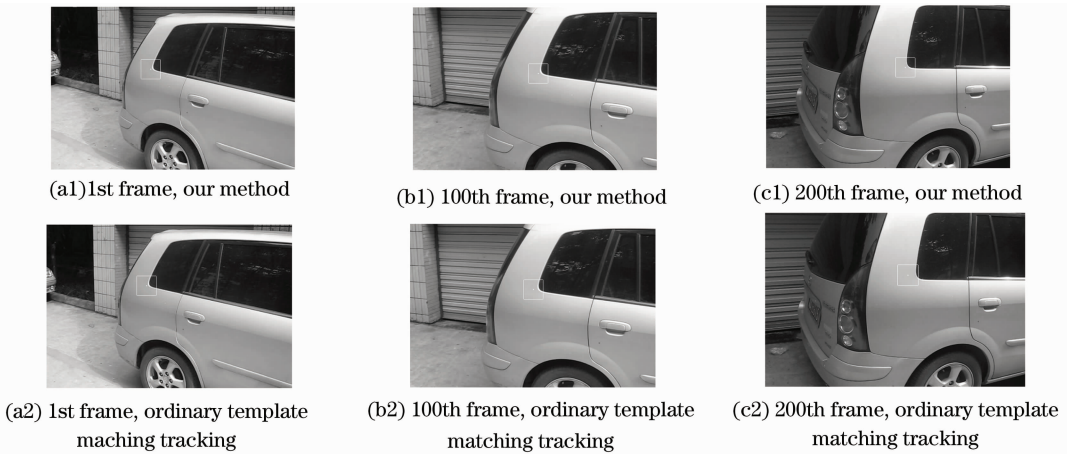


图 6 用一个不同方位观测汽车的序列比较本文的方法和模板匹配跟踪

Fig. 6 Comparison of our method and ordinary template matching tracking in a car sequence following different viewpoint

图 7 给出了上述实验中按照每 10 帧为一个采样 X 方向与 Y 方向的跟踪坐标与实际 X, Y 坐标的轨迹对比图,可以发现其轨迹几乎重合,其中, X 方向均方差为 0.87, Y 方向为 0.524。

表 2 给出了该实验中每 50 帧采样的相关中间过程的数据,在该跟踪过程中由于直线交点的错误匹配引起的虚警率为 1%,同样 MCD 保持其目标不失锁。

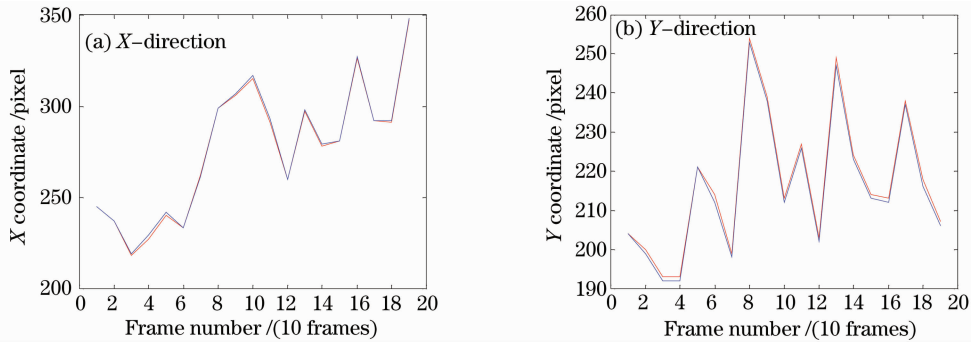


图 7 图 6 序列中本文方法的跟踪坐标与实际的基准坐标比较(其中 X 轴表示抽样帧数,单位;Y 轴表示坐标位置)

Fig. 7 In Fig. 6 the comparison between ground coordinate and our method tracking coordinate (X-axis represents the frame number; Y-axis represents the coordinate)

表 2 序列二跟踪过程的相关实验数据

Table 2 Some tracking parameters in image sequence 2

| Frame number | Relative obliquity 1 /rad | Relative obliquity 2 /rad | Relative intercept 1 | Relative intercept 2 | Euclidian distance | X coordinate | Y coordinate |
|--------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------|--------------|
| 1 | 1.136224 | -0.241581 | 25.598291 | 60.309879 | 3.004217 | 171.646969 | 205.53965 |
| 2 | 1.155804 | -0.238917 | 28.201284 | 58.810089 | | 170.938880 | 206.09259 |
| 50 | 1.174324 | -0.236582 | 28.446884 | 59.874729 | 2.363615 | 243.72433 | 216.26701 |
| 51 | 1.171013 | -0.224655 | 29.170910 | 57.624771 | | 241.43353 | 210.05931 |
| 100 | 1.244823 | -0.187694 | 32.259876 | 56.323540 | 1.445949 | 309.42514 | 231.87931 |
| 101 | 1.254526 | -0.169655 | 32.976280 | 55.067707 | | 311.13439 | 230.69342 |
| 150 | 1.354107 | -0.124242 | 38.050732 | 53.686157 | 1.246893 | 303.13165 | 252.00202 |
| 151 | 1.362980 | -0.115827 | 38.928005 | 52.800163 | | 301.83825 | 254.50782 |
| 200 | 1.437076 | -0.063360 | 41.605331 | 50.258625 | 2.078119 | 345.95697 | 203.78402 |
| 201 | 1.449726 | -0.060269 | 43.674171 | 50.062893 | | 348.40240 | 205.91813 |

从上面的实验仿真的结果来看,我们的方法对于存在直线边缘特征的目标能够正确地提取直线特征并能非常精确的跟踪扩展目标的直线交点位置。

5 结 论

描述了一种利用直线边缘的特征来进行对交点建立描述子的新颖方法用于对扩展目标进行精确的跟踪。实验结果表明本文的方法对目标的旋转、平移、缩放和观测角度都有很好的稳健性,而且其跟踪精度要比普通的模板刷新跟踪方法要好得多。但是该方法也有应用范围的限制,并不是所有扩展目标都拥有丰富的直线特征,但对于绝大多数人工目标来说还是满足这个条件的,这也使本文的方法有了应用空间。

参 考 文 献

- 1 J. Shi, C. Tomasi. Good features to track[C]. *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1994, 593~600
- 2 Zoran Zivkovic, Ferdinand van der Heijden. Better features to track by estimating the tracking convergence region[C]. *IEEE Conf. on Pattern Recognition*, 2002, 635~638
- 3 Toshimitsu Kaneko, Osamu Hori. Feature selection for reliable tracking using template matching [C]. *the 2003 IEEE computer society conference on CVPR*, 2003, **1**: 796~802
- 4 D. G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *IJCV*, 2004, **60**(2): 91~110
- 5 Zhu Juanjuan, Guo Baolong. Feature tracking algorithm for video stabilization [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(4): 516~521
朱娟娟, 郭宝龙. 电子稳像的特征点跟踪算法[J]. *光学学报*, 2006, **26**(4): 516~521
- 6 Zhang Yajing, LiMinzan, Qiao Jun. Segmentation algorithm for apple recognition using image features and artificial neural network[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(11): 2104~2108
张亚静, 李民赞, 乔 军等. 一种基于图特征和神经网络的苹果图像分割算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(11): 2104~2108
- 7 C. Harris, M. Stephens. A combined corner and edge detector [C]. *In Alvey Vision Conference*, 1988, 147~151
- 8 Wang Xiangjun, Wang Yan, Li Zhi. Fast target recognition and tracking method based on characteristic corner [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 360~364
王向军, 王 研, 李 智. 基于特征角点的目标跟踪和快速识别算法研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 360~364
- 9 Liu Xigui, Liu Dongmei, Liu Fengpeng *et al.*. A robust image registration algorithm based on feature points matching [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 454~461
刘喜贵, 刘冬梅, 刘凤鹏等. 一种稳健的特征点配准方法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3): 454~461
- 10 Yu Xinrei, Wang Shigang, Wang Gaozhong. Subpixel location detection of line feature in digital image [J]. *Optical Technique*, 2004, **30**(2): 138~141
于新瑞, 王石刚, 王高中等. 数字图像直线特征的亚像素位置检测[J]. *光学技术*, 2004, **30**(2): 138~141
- 11 Zhao Peng, Pu Zhaobang, Zhang Tianwen. A new tracking method of dynamic contour based on image fusion [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 760~766
赵 鹏, 浦昭邦, 张田文. 基于图像融合的动态轮廓线跟踪新方法[J]. *光学学报*, 2005, **25**(6): 760~766
- 12 J. Matas, O. Chum, M. Urban *et al.*. Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions [C]. *In 13th BMVC*, 2002, 384~393
- 13 B. Lucas, T. Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision[C]. *Proc. Int'l Joint Conf. Artificial Intelligence*, 1981, 121~130
- 14 Iain Matthews, Takahiro Ishikawa, Simon Baker. The template update problem [J]. *IEEE Trans on PAMI*, 2004, **26**(6): 810~815
- 15 David Schreiber. Robust template tracking with drift correction [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2007, **28**(12): 1483~1491
- 16 Zhang Jianwei, Zhang Qiheng. Line-edge feature extraction based on ergodic block[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2009, **17**(3): 662~668
张建伟, 张启衡. 基于块遍历的直线边缘特征提取[J]. *光学精密工程*, 2009, **17**(3): 662~668
- 17 Yang Yongzhi, Wen Yuanbao. Improved fast correlation tracking algorithm [J]. *Computer Applications*, 2005, **25**(12): 2843~2848
杨勇智, 文远保. 一种改进的快速相关跟踪算法[J]. *计算机应用*, 2005, **25**(12): 2843~2848