

# 一种改进的运动目标跟踪与轨迹记录算法

赵雷, 陈万忠, 韩双双

(吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130025)

**摘要:**针对目前运动目标的跟踪与记录方法占用存储空间较大的缺点,提出了一种减少存储空间的记录算法,即先用三帧差分算法和 Snake 算法相结合检出运动物体的轮廓,再利用 Hausdorff 算法对提出的轮廓进行匹配,并将匹配后的轮廓和运动轨迹以文本文件存储,大大降低了运动目标轨迹记录存储容量.实际运用表明,改进后的记录存储空间相当于通常视频文件的万分之一.该算法适于长时间记录运动目标轨迹.

**关键词:**运动轨迹记录跟踪;主动轮廓算法;三帧差分算法;Hausdorff 匹配算法

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2008)02-0145-05

## An improved algorithm for tracking and recording moving targets

ZHAO Lei, CHEN Wan-zhong, HAN Shuang-shuang

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

**Abstract:** At present, data from tracking moving targets consumes too much memory. An improved recording algorithm is proposed that reduces memory requirements. First, initial points are obtained by using a three-frame difference algorithm. Then the Snake algorithm is used to extend the initial points to determine the object's contour. Finally, the Hausdorff distance measurement matches contours to standard figures and the results are saved in a text file. The improved algorithm uses approximately 0.01 % of the usual memory required, so it is suitable for storing data from long-term tracking.

**Keywords:** recording and tracking of moving objects; Snake algorithm; three-frame differencing; Hausdorff matching

目前,在计算机视觉领域中,运动目标轮廓的跟踪是一个热门领域,可是对分割出的目标记录方法的研究相对较少<sup>[1]</sup>.一般是用 avi 格式的文件进行存储,其数据量相当大;近几年也有用 MPEG1、MPEG2、H261、H263、MPEG4 等方法进行视频压缩,其中 MPEG4 能够比较高效率地进行压缩和解压,压缩后的文件大约为原文件的 30 %,90 min 的视频影像大约需要 300 MB,但对硬件要求很高<sup>[2]</sup>.本文所提出的改进记录方法在先利用三帧差分算法和 Snake 算法相结合找到运动物体的轮廓,随后利用 Hausdorff 算法对提出的轮廓进行匹配,并将匹配后的轮廓和运动轨迹存储在 2 个文本文件中.此方法在一定程度上解决了单一刚体物体运动轨迹记

录存储容量的问题,只需大约相当于通常视频文件万分之一的空间,适于物体轨迹的长时间记录系统.

## 1 匹配与跟踪算法

### 1.1 Hausdorff 距离与物体匹配

Hausdorff 距离作为一种距离测度,可以用来测量 2 个点集之间的匹配程度,它已被直接用于比较 2 个多边形的相似程度.但本文应用中,目的是要在一个经过处理的二值图形与一个模板进行匹配.以下通过图例来进一步阐述本文的匹配原理.

首先考虑理想情况,假设图 1(a)中仅存在一个圆  $C_1$ ,圆心  $O_1$ ,图中曲线连续且无其他边缘点,模板为图 1(b)中的圆  $C_2$ ,圆心为  $O_2$ ,圆  $C_1$  和圆  $C_2$  的半径相等,图 1(c)为某一匹配过程,图中  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$  分别为过两圆圆心的直线与两圆的交点,此时,模板(点集 A)与待检测的圆  $C_1$ (点集 B)的

收稿日期:2007-10-26.

基金项目:吉林省科技发展计划资助项目(20060531).

通讯作者:韩双双. E-mail:shuang1017@163.com.

Hausdorff 距离为

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) =$$
$$|D_1 D_2| \vee |D_3 D_4|.$$

式中:  $|D_1 D_2|$  和  $|D_3 D_4|$  分别表示  $D_1$  到  $D_2$  及  $D_3$  到  $D_4$  的距离. 可以看出, 如果让模板  $C_2$  沿  $O_1$  和  $O_2$  所在的直线向圆  $C_1$  靠拢, 则  $H(A, B)$  逐步减小, 当模板的圆  $C_2$  与待检测的圆  $C_1$  完全重合时,  $D_1 = D_2 = D_3 = D_4$ ,  $H(A, B) = 0$ , 此时匹配效果最好.

对于上述理想情况, Hausdorff 距离很好地反映了集合  $A$  和  $B$  的匹配程度. 但是, 在实际的应用中, 一幅图像除了有与模板相同或相似的物体外, 还存在着其他的边缘点, 如图 1(d) 所示,  $C_1$  的圆心  $O_1$  上有一孤点, 当  $D_1$  与  $D_2$  的距离  $|D_1 D_2|$  大于  $|D_2 O_1|$  时, 有  $H_2(A, B) = |D_1 D_2|$ . 实际上, 当两圆  $C_1$  与  $C_2$  完全重合时应有最好的匹配程度, 但此时却有  $H_1(A, B) > H_2(A, B)$ , 因此 Hausdorff 距离不能直接用于实际的图像匹配中.

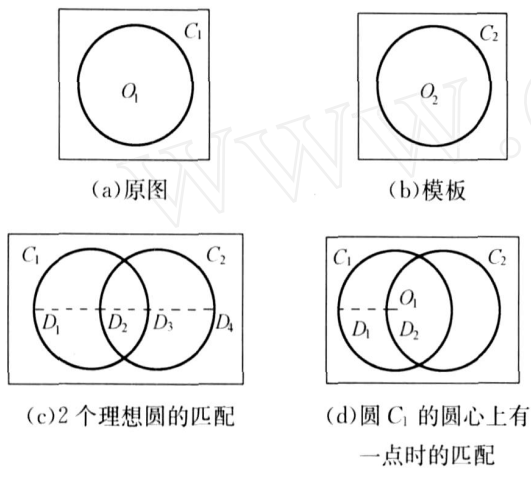


图 1 Hausdorff 距离匹配示意图  
Fig. 1 The sketch of Hausdorff distance matching

Hausdorff 距离可以自然地推广到部分 Hausdorff 距离, 以便匹配 2 个集合  $A$  和  $B$  的某个部分. 对于 2 个有限点集  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$  和  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_p\}$ ,  $A, B$  之间的部分 Hausdorff 距离定义为

$$H_{kl}(A, B) = \max(h_k(B, A), h_l(A, B)). \quad (1)$$

式中:  $h_k(A, B)$  称为集合  $A$  到集合  $B$  的部分有向 Hausdorff 距离, 其中  $1 \leq k \leq p, 1 \leq l \leq q$ ,  $h_k(B, A) = K_{b \rightarrow a}^{th} \min_a a - b, h_l(A, B) = L_{a \rightarrow b}^{th} \min_b b - a$ , 这里  $K_{b \rightarrow a}^{th}$  表示从集合  $B$  到集合  $A$  排序后的距离值集合中的第  $K$  值,  $L_{a \rightarrow b}^{th}$  表示从  $A$  集合到  $B$  集合排序后的距离值集合中的第  $L$  个值.

1.2 三帧差分算法

三帧差分算法中, 设  $f_{t-1}(x, y), f_t(x, y),$

$f_{t+1}(x, y)$  是视频序列中相邻的连续 3 帧,  $d_t(x, y) = f_{t+1}(x, y) - f_t(x, y)$  表示连续 2 帧的差分, 对  $d_t$  和  $d_{t-1}$  分别滤波后取交集, 即可获得当前帧运动对象  $D_o(x, y)$ , 差分算法原理见图 2.

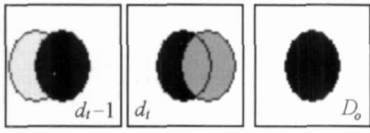


图 2 差分算法原理  
Fig. 2 The principle of difference algorithm

通过实验可知, 三帧差分算法计算简单, 有运算速度快的优点, 能够达到实时的要求. 但是, 差分法缺陷在于所提取出的轮廓往往不是单像素的, 且无法将运动物体全部提取出来, 如图 3 所示.

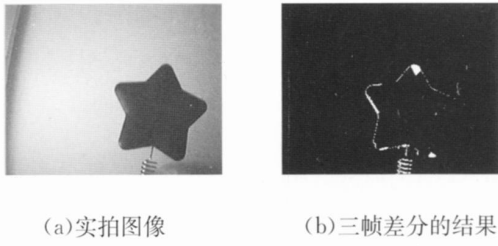


图 3 三帧差分算法效果  
Fig. 3 The effect of three differential algorithm

1.3 主动轮廓算法

算法中设有一条可变空间曲线  $v(s, t)$  由 2 个参数  $s$  (空间位置) 和  $t$  (时间) 决定,  $s$  与  $t$  分别定义在区间  $[0, 1]$  与  $T$  上.  $v$  由具有相同参数的 2 个变量  $x, y$  构成, 即

$$v(x, t) = (x(s, t), y(s, t)), s \in [0, 1], t \in T. \quad (2)$$

这样, Snake 的势能函数  $E_{Snake}$  可以定义为

$$E_{Snake} = \frac{1}{2} \int [E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s)) + E_{field}(v(s))] ds. \quad (3)$$

式中:  $E_{int}$  代表 Snake 的内部能量,  $E_{ext}$  为图像能量,  $E_{field}$  为外部能量.

然而, 主动轮廓算法也有许多局限, 该算法强烈地依赖于轮廓的初始位置, 且捕捉范围小, 不仅因进入凹陷区域困难而常常陷于能量局部极值, 而且不支持拓扑改变; 另外在外力很小时, 轮廓会收缩到一点. 针对初始位置敏感的问题, 有些文献提出了利用遗传算法来处理, 因为它的优势在于能保证能量全局最小化. 但是其缺点是计算量会随搜索空间的增大而增长迅速, 难以实时应用.

### 1.4 改进的目标跟踪算法

由前文所述可知三帧差分法计算简单,运算速度快.但它所提取出的轮廓并不完整,所以往往不能直接使用;而主动轮廓法则可精确地分割出单像素完整轮廓,但该方法运算复杂,不适合做实时处理,且自适应地选择较好的初始轮廓点也有一定困难.

本文将上述 2 种算法融合,改进了跟踪算法.首

先将连续 3 帧图形进行差分后做与运算,经过滤波后得到物体大致轮廓,并提取出等距初始轮廓点.同时,求出中间帧图像的梯度,在设定好主动轮廓算法的各项系数后,再以提取出的初始轮廓点为基础,利用主动轮廓算法对曲线进行扩张,经过少量的迭代后就可得到物体的实际轮廓.改进后跟踪算法原理框图如图 4 所示.

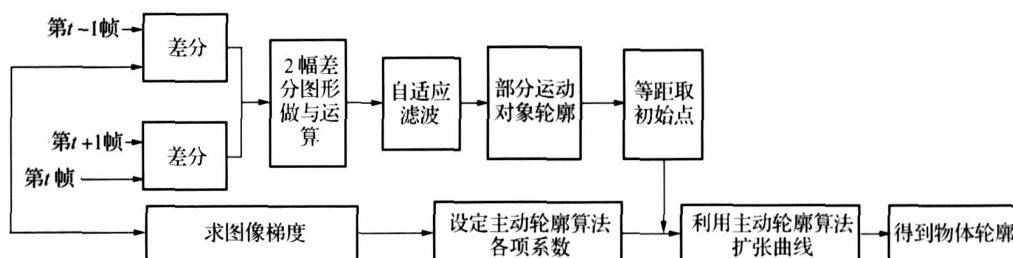


图 4 改进跟踪算法框图

Fig. 4 Improved tracking algorithm diagram

## 2 轨迹记录算法

本文提出了一种只利用 2 个文本文件对单一刚体的运动轨迹进行记录的方法.为了在播放记录时能够更直观地观察物体的外形和运动状态,本方法利用 Hausdorff 距离匹配出物体的形状模板并在播放时显示,这样就可以观察到更完整的目标.系统对模板的选取,主要采取了“模板训练”的思想.即首先针对几个典型的刚体形状采样,利用主动轮廓算法提取轮廓,经过一定的修正形成匹配识别参考模板.

本文所建系统采用修正的 Hausdorff 距离 (MHD) 来进行模板匹配,其定义为

$$h(A, B) = \frac{1}{N_A} \min_a \max_b |a - b| \quad (4)$$

式中:  $N_A$  是点集  $A$  中点的个数.修正的 Hausdorff 距离对噪声不太敏感,可避免由于部分噪声像素点的干扰带来的偏差.

Hausdorff 匹配中  $h(M, I)$ , 其中  $M$  为参考模板点的集合;  $I$  为跟踪到移动物体边缘的点集.由于主动轮廓算法能够提出完整的物体轮廓点集,因此无需再进一步对这 2 个点集做预处理.匹配识别时,首先对提取出的待识别图像实施 Euclidean 距离变换,以得到距离映射图,然后在距离空间内,将模板在距离映射图上进行平移匹配.相应的,  $h_i(M, I)$  取参考模板中的点在当前距离映射图上对应位置处的最大值,其中  $i$  为平移次数,它度量的是最大不匹配程度.所以,基本的匹配判别规则即为:取所有平移匹配中得到的  $h_i(M, I)$  值中的最小值,作为这个模

板与该移动目标之间的相似度的度量,匹配过程如下.

设第  $i$  次平移匹配时,若参考模板中符合要求的点与跟踪图像中总点数的比率为  $R_i$ ,取  $p(k) = \max_j (R_i)$ , 其中  $k$  为对参考模板个数的计数,  $j$  为对某一个参考模板平移的次数.取  $\max_k p(k)$  对应的参考模板为最终结果,并将每一帧匹配的参考模板进行统计.

本系统在实际匹配过程中发现,采用基本形式的 Hausdorff 距离,由于其易受部分像素点偏差的影响,致使整体匹配效果降低,故系统采取了修正的 Hausdorff 距离模板匹配法,即通过对若干帧中得到的  $h_i(M, I)$  求平均来得到模板相对于待识别图像的相似度,即,  $h_i(M, I) = h_i(M, I) / N$ , 其中  $N$  为模板中的边缘像素点的个数.当某一参考模板匹配次数超过 80% 时,认为此模板与物体匹配,并将此模板存入一个文本文件中.实验表明,修正后的 Hausdorff 距离能提高识别率.

另一个文本负责记录每一帧中目标重心的位置,并以  $(x, y)$  的格式全部进行存储.由所有这些重心连接成的曲线就可以看作物体的移动轨迹,再通过重心的移动推算出形状模板此时的位置.

## 3 实验及数据处理

对一个移动的五角星型物体进行了跟踪的实验,分别利用 MPEG4 和本文算法进行记录.计算机: Pentium(R) 4 CPU 2.00 GHz, 256 MB 内存;普通的 PC 摄像头;软件方面以 Visual C++ 6.0

为开发平台,程序利用 Microsoft 提供的 VFW 软件包对捕捉的视频数据进行处理,并分别用 MPEG4 格式和本文提出的算法进行记录.图 5、图 6 是实验时记录数据的截图.其中,图 5 给出了利用 MPEG4 进行记录并提取出物体轮廓的截图.图 6 为利用本文提出的改进记录跟踪算法记录的截图.其中点状部分为提取出的轮廓点,五角星中间红色的圆点为物体的重心,为了便于观察,将相邻 2 个点之间用线进行连接.由图 5 可以看到,MPEG4 虽然能够提供效果较好的视觉效果,但对于关注物体的轮廓和运动轨迹的跟踪来说这方面显得就不是非常紧要了.图 5 中 MPEG4 记录的视频序列用 Snake 算法进行轮廓提取后得到的图像,并不能直观地看到物体的轮廓及其运动轨迹.相较 avi 和 MPEG4,本文算法不仅只需要很小的存储空间,而且记录下的物体的轮廓和运动轨迹非常清晰.本算法只需记录一次物体的匹配轮廓,随后利用重心的偏移来计算物体的位置.从图 6 中可以清晰地看到由物体重心所构成的物体的运动轨迹.该算法对于关注物体轮廓与运动轨迹的长时间跟踪记录有很大的优势.图 7 是几种算法所占空间的比较.同样 90 min 的跟踪,如果利用 avi 格式要就 900 MB,用 MPEG4 进行压缩后也需要大概 300 MB 的空间,可是如果采用本文的算法只需 160~180 KB 的空间(视跟踪物体轮廓的大小及复杂度而定).很好地解决了关注物体行进轨迹的长时间跟踪时存储空间的问题.

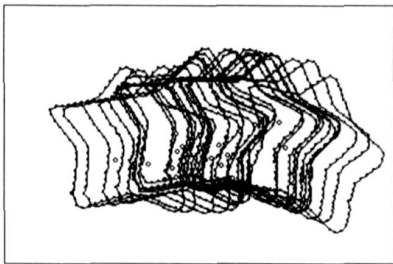
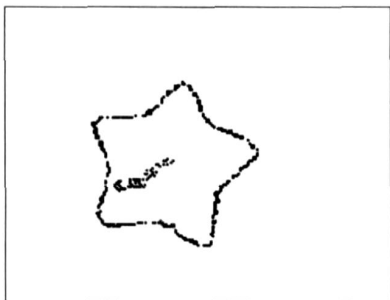
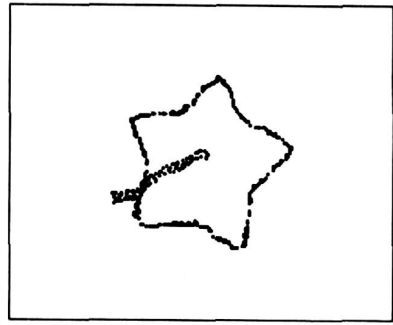


图 5 MPEG4 算法记录跟踪结果

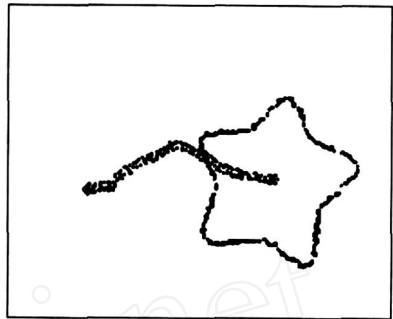
Fig. 5 MPEG4 algorithm record the tracking results



(a)第 13 帧



(b)第 24 帧



(c)第 46 帧

图 6 改进跟踪记录算法结果

Fig. 6 The results of improved tracking record algorithm

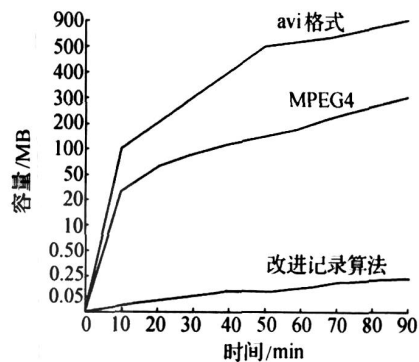


图 7 几种算法所占空间的比较

Fig. 7 The comparison of space occupied by algorithms

## 4 结束语

本文通过三帧差分算法,先提取出初始轮廓并找到了轮廓的约束条件,随后利用主动轮廓算法来逼近物体的真实轮廓,从而准确地提取出物体轮廓,并实时跟踪.再利用 Hausdorff 算法对提出的轮廓进行匹配,并将匹配后的轮廓和轨迹以文本文件方式存储,仅利用几十 KB 就能够达到几百 MB avi 格式文件的效果,大大降低了运动目标轨迹记录存储容量.该算法能够实时准确地对物体进行跟踪,并能够对物体的轮廓和轨迹进行长时间的记录.实验证

明,该算法在对单目标运动目标轮廓跟踪与轨迹记录方面是有效、可行的.将本文方法应用到复杂目标和多种目标跟踪,将是下一步探讨的问题.

## 参考文献:

- [1]丁贵宝.多媒体数据压缩标准化的现状与发展[J].计算机工程与应用,2002,38(1):104-107.  
DING Guibao. The present situation and development of the multimedia data compression standard[J]. Computer Engineering and Applications, 2002, 38(1):104-107.
- [2]王兴国.压缩域MPEG-2到MPEG-4视频转码中不匹配宏块的复原算法[J].电子学报,2002,30(9):1405-1408.  
WANG Xingguo. Robust mode mismatch macroblock retrieval algorithm for transcoding MPEG2 to MPEG4 in compression domain[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(9):1405-1408.
- [3]胡炯炯.基于形态学约束的B-Snake模型的细胞图像自动分割方法[J].中国图象图形学报,2005,10(1):585-589.  
HU Jiongiong. Automatic cell image segmentation based on B-Snake model with constraint of morpholog[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1):585-589.
- [4]郭礼华.基于直方图的Snake视频对象跟踪算法[J].中国图象图形学报,2005,10(2):197-202.  
GUO Lihua. Video object tracking method based on snake model using object's histogram information[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(2):197-202.
- [5]王成儒.基于差分交集的视频对象分割与跟踪算法[J].中国图象图形学报,2004,30(9):564-570.  
WANG Chengru. Video object segmentation and tracking algorithm based on difference and intersection[J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 30(9):564-570.
- [6]张文涛.高速运动可视多目标精确检测研究[J].电子与信息学报,2001,23(4):354-359.

ZHANG Wentao. Accurate region detection of high-speed multi-target visual system[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2001, 23(4):354-359.

- [7]张良国.基于Hausdorff距离的手势识别[J].中国图象图形学报,2002,7(11):1144-1150.

ZHANG Liangguo. Hand gesture recognition based on Hausdorff distance[J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7(11):1144-1150.

- [8]LESAGE F. Experimenting level set-based snakes for contour segmentation in radar imagery[C]//Conference Visual Information Processing IX. Orlando, USA, 2000: 4041-4044.

## 作者简介:



赵雷,男,1982年生,硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理.



陈万忠,男,1963年生,教授,教育部电子信息类教学协作委员会委员,主要研究方向为信号与信息处理及其应用技术,获2006年汽车工业科学技术进步奖1项,近3年发表论文12篇,EI检索3篇,ISTP检索3篇,主编教材1部.



韩双双,男,1983年生,硕士研究生,主要研究方向为信号与信息处理.

# 第十一届中国机器学习会议

## The 11th China Conference on Machine Learning

第十一届中国机器学习会议(CCML2008)由中国人工智能学会机器学习专业委员会和中国计算机学会人工智能与模式识别专业委员会联合主办,大连海事大学承办.该系列会议每两年举行一次,现已成为国内机器学习界最主要的学术活动.此次会议将为机器学习及相关研究领域的学者交流最新研究成果、进行广泛的学术讨论提供便利,并且将邀请国内机器学习领域的著名学者做精彩报告.

会议录用论文将被推荐到《Journal of Computational Information Systems》(英文稿件)、《电子学报》、《计算机研究与发展》、《模式识别与人工智能》、《计算机科学》、《计算机工程与应用》、《小型微型计算机系统》、《广西师范大学学报》、《计算机辅助工程》、《郑州大学学报》、《大连海事大学学报》等期刊上发表.会议还将评出优秀学生论文,颁发证书并给予奖励.

会议网站:<http://www.dlmu.edu.cn/ccml2008>.