

文章编号: 1001-9081(2005)09-2120-03

# 一种基于 Hausdorff 距离的运动物体跟踪算法

沈云涛, 郭 雷, 任建峰

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072)

(yuntaoshen@hotmail.com)

**摘 要:** 针对视频处理中运动物体的检测和跟踪问题, 提出了一种基于 Hausdorff 距离的目标跟踪算法。新算法提出首先采用多尺度分水岭变换获取运动物体模型, 消除了传统基于分水岭变换算法存在的缺陷; 然后使用部分 Hausdorff 距离实现后续帧中运动物体模型的匹配; 最后再次使用多尺度分水岭算法完成运动物体模型的更新。实验表明, 该算法可以有效地跟踪多个刚体或非刚体目标。

**关键词:** Hausdorff 距离; 分水岭变换; 运动物体跟踪

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A

## Moving object tracking algorithm based on Hausdorff distance

SHEN Yun-tao, GUO Lei, REN Jian-feng

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shanxi 710072 China)

**Abstract:** It is a hard job to track the moving objects in video sequence. Considering disadvantages of watershed transform, a novel moving object tracking algorithm was proposed based on Hausdorff distance. In the algorithm, firstly Canny edge detector was adopted for the image boundary generation, and multi-scale watershed transform was used to initialize contour of the objects. Then the matching of the objects was judged by partial Hausdorff distance. Finally, multi-scale watershed transform was reused to update the object model. Experiment results show that the proposed algorithm can efficiently track more than one non-rigid moving object simultaneously.

**Key words:** Hausdorff distance; watershed transform; moving objects tracking

### 0 引言

运动物体跟踪问题, 一般可以分解为图像分割和目标模型匹配两个环节。对于图像分割, 分水岭变换是一种有效方法<sup>[1]</sup>, 具有计算负担轻, 分割精度高的优点。但是对基于分水岭变换的图像分割而言, 传统的形态梯度算法<sup>[2]</sup>存在一个严重的缺陷, 即: 它们会受到噪声和量化误差的影响, 在均匀一致的区域内部产生过多的局部“谷底”。而对于运动较大的目标或非刚性运动目标的模型匹配, 现有的算法还不能得到令人满意的效果<sup>[3]</sup>。

本文提出了一种基于 Hausdorff 距离的运动目标跟踪算法。首先, 使用多尺度分水岭变换算法获取初始运动物体的轮廓, 并以轮廓边缘建立运动物体的初始模型, 较好地克服传统形态梯度算法和标记提取方法的缺点; 然后, 采用 Hausdorff 距离, 在后续帧中模型与初始模型的匹配中增强了对非刚体目标的识别能力; 最后, 再次利用多尺度的分水岭变换算法更新模型。

### 1 Hausdorff 距离

Hausdorff 距离于作为  $A, B$  两个点集相似性测度算法, 目前已经被广泛的应用到视觉识别中, 主要用来寻找最佳匹配模型<sup>[4]</sup>。其定义如下:

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (1)$$

其中:  $h(A, B) = \max_{a \in A} \{ \min_{b \in B} d(a, b) \}$ 。但是上面定义的距离容易受到出格点 (Outlier) 的影响, 为此有学者提出了部分 Hausdorff 距离:

$$h_k(O, I) = kth_{o \in O} \min_{i \in I} \| o - i \| \quad (2)$$

$$h_l(I, O) = lth_{i \in I} \min_{o \in O} \| i - o \| \quad (3)$$

在部分 Hausdorff 距离中, 计算点集  $O$  中所有的点到点集  $I$  的距离, 然后把把这些距离从小到大排序, 其中序号为  $k$  或  $l$  的距离分别  $h_k(O, I)$  和  $h_l(I, O)$ 。

### 2 算法的实现流程

从图 1 可以看出, 本文的视频跟踪算法主要分为三个步

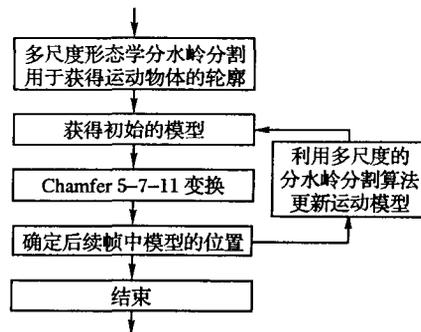


图 1 基于 Hausdorff 距离的目标跟踪流程

收稿日期: 2005-03-23; 修订日期: 2005-05-30 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60175001)

作者简介: 沈云涛 (1974-), 男, 江苏江阴人, 博士研究生, 主要研究方向: 图像检索、视频跟踪; 郭雷 (1956-), 男, 山东人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 神经计算、视觉计算、模式识别、图像和视频处理; 任建峰 (1977-), 男, 江苏扬州人, 博士研究生, 主要研究方向: 图像处理、视频跟踪与传输。

骤:模型的初始化,目标跟踪和模型更新。同其他的跟踪算法相比,本算法具有以下特点:(1)允许被跟踪的物体从当前帧到下一帧产生了较大的运动;(2)允许被跟踪的物体可以是非刚性物体;(3)可以跟踪多个运动的物体。

### 3 基于 Hausdorff 距离的目标跟踪算法

在应用目标跟踪算法之前,必须实现运动物体的检测。本文采用多模型鲁棒估计的运动分割算法<sup>[5]</sup> 主要把视频分解成具有一致运动的区域。运动主要通过仿射运动模型描述,如果相邻的区域具有空间相似性,则合并成一个运动的物体。

#### 3.1 基于形态学的多尺度分水岭变换算法

解决传统分水岭算法的一种方法是对梯度信号进行取阈值运算,然而传统的梯度算子将使“模糊”边缘上像素的梯度值小,取阈值运算后,去除了因噪声或量化误差造成的局部“谷底”,但同时无法也保留“模糊”边缘上的“谷底”。而另外一种方法:首先标记感兴趣的区域,然后再相应梯度图像使用分水岭变换,分割出以被“标记”的感兴趣的区域。但是这种标记提取的方法要求具备待分割对象和背景的先验知识,因而限制了其应用范围。

新算法首先对模糊边缘进行有效的增强,使得模糊边缘上像素的梯度值大于因噪声或量化误差引起的梯度值,然后再用形态重构的方法去除因噪声或量化误差造成的局部“谷底”。因而,避免了上述方法带来的缺陷,可以实现更为有效分割并减轻计算负担。

常用的形态算子:

$$Grad(A, B) = (D_c(A, B) - E_c(A, B))/2$$

其中  $B$  是结构元素,称为单尺度形态梯度算子。其性能取决于结构元素  $B$  的大小,即如果结构元素  $B$  较大,会造成边缘间严重的相互影响,这将导致梯度极大值与边缘的不一致;然而,若结构元素太小,虽然梯度算子具有较高的空间分辨率,但对斜坡边缘会产生一个较小的输出。为了利用两者的各自优点,提出多尺度分的水岭算法。设  $B_i$  为  $(2i + 1) * (2i + 1) (0 \leq i \leq n)$  的一组正方形结构元素,则多尺度梯度算法定义如下:

$$MG(A) = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n [((A \oplus B_i) - (A \ominus B_i)) \ominus B_{i-1}] \quad (4)$$

此外,多尺度梯度算法还能够消除小的局部“谷底”。这里小的局部“谷底”可以通过用  $2 * 2$  大小的结构元素  $B_1$ , 进行膨胀运算来去除。为了消除邻近像素值差别很小的局部“谷底”,可首先对膨胀运算后的梯度图像加上一个常数  $h$ , 然后,由  $MG(A) \oplus B_1 + h$  来重构  $MG(A)$ , 以填平邻近像素值差别很小的局部“谷底”。这样,梯度图像可以表示为:

$$\varphi^{(rec)} [(MG(A)) \oplus B_1 + h, MG(A)] \quad (5)$$

对梯度图像使用 Canny 边缘检测算子提取边缘后,利用多尺度的分水岭变换就可以获得运动物体的初始轮廓,然后以轮廓边缘作为特征点建立物体的初始模型。

#### 3.2 基于 Hausdorff 距离的模型匹配

当获得运动目标的初始模型之后,目标跟踪算法就是要

在后续的视频帧中寻找模型的最佳匹配;而目标模型可以看成特征点的集合,那么运动物体的匹配问题就成为集合点的匹配问题。由于部分 Hausdorff 距离具有抗出格点的优点,对于干扰点或背景点不敏感,所以基于该距离的跟踪算法能够跟踪发生平移、旋转变化的物体;因此我们采用该距离计算点集合的匹配。设  $T$  表示目标模型  $O$  的变换,因此匹配运动物体的过程就是寻找一个最优的目标模型变换的  $T$ , 在后续的序列帧中跟踪目标的过程就是在每帧中寻找一个最优的  $T$ , 即:

$$T = \arg \min_T h_k(T(O), I) \quad (6)$$

对于运动的物体,一般认为变换主要是指物体的平移,而把旋转看成是模型形状的变化。在模型和图像之间并不要求点到点的匹配,所以选择参数  $k$  为 80% 的模型特征点数,最佳的匹配是通过在模型和图像之间最小化 Hausdorff 距离,令  $T = (x_i, y_i)$  表示最佳的匹配变换:

$$(x_i, y_i) = \arg \min_{(x_i, y_i)} h_k(O \oplus (x_i, y_i), I) \quad (7)$$

其中  $\oplus$  表示 Minkowski 求和。

Hausdorff 距离的计算主要通过距离变换得到,目前有很多方法用于计算图像的距离变换,其中 Chamfer 法就是一个常用的方法,主要有两种模板:Chamfer 3-4 和 Chamfer 5-7。实验采用 Chamfer 5-7 模板。为了适应运动物体的平移以及旋转的变化,必须不断更新模型。最后采用多尺度的分水岭变换算法来解决模型更新问题,根据最佳匹配结果确定区域的分割点,获得后续帧中物体的轮廓,同时在利用边界点建立更新运动物体模型。

### 4 实验结果以及分析

通过三组实验,我们分别对算法检测、跟踪单一和多个运动物体的能力进行了测试。

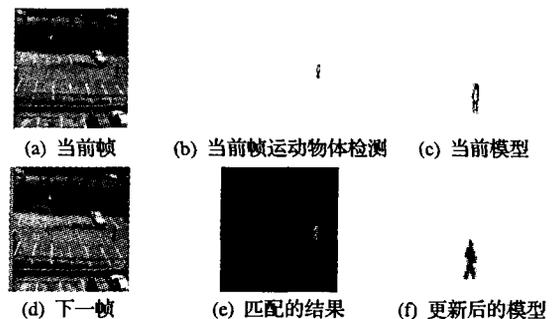


图2 基于 Hausdorff 距离的目标跟踪

图 2(a) 给出了当前视频帧,然后利用多模型运动分割的算法分割出待跟踪的运动物体,如图 2(b),图 2(c) 给出了利用多尺度分水岭分割算法给出了运动物体的初始轮廓,利用边缘作为特征点的集合。图 2(d) 是下一帧视频,图 2(e) 给出了通过 Hausdorff 距离得到最佳的匹配结果。图 2(f) 给出了更新后的运动模型。可以看到,尽管右腿相对于身体其他部位变形较大,算法仍然实现了正确的匹配效果。所以,新算法不但可以完成运动物体的跟踪,并且能够容许运动物体发生一定非刚体形变。图 3 给出了视频序列在第 3, 4, 7, 10 秒处的跟踪结果。说明算法在有一定时间间隔的多帧序列情况下,仍然能够很好地完成跟踪任务。

另外,为了验证算法能够同时跟踪多个运动物体,我们采用具有行人和汽车运动的视频序列作为实验对象,图 4 给出

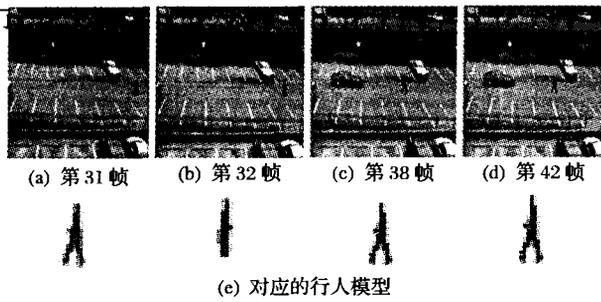


图 3 视频序列的跟踪结果

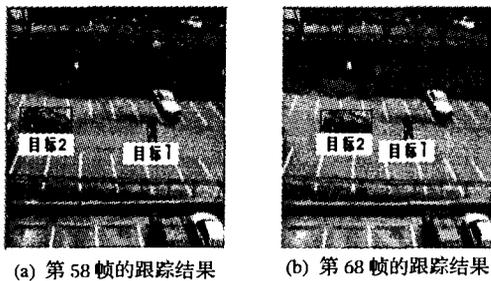


图 4 跟踪多个运动物体

## 5 结语

(上接第 2119 页)

表 1 平均峰值信噪比/dB

	Mother_daughter	Akyio	Silence	Hall_monitor	Foreman	Flower	Funfair
VSBM	40.6571	41.7172	36.3958	34.3710	32.0689	23.1391	22.8235
VSMBM	40.7863	41.6276	36.5063	34.6510	32.4524	23.4442	23.2841

## 4 结语

基于嫡准则优化分割,本文提出了可变大小块匹配双向运动估计和补偿的视频帧间编码算法。图像的优化分割是在宏块的基础上,每隔一帧进行一次分割,对分割帧采用前向运动估计和补偿编码,而非分割帧采用双向运动估计和补偿编码。

实验结果显示,在补偿精度上,变大小块匹配双向运动估计和补偿要优于变大小块匹配前向运动估计和补偿方法。需要说明的是,在运算量上,由于对双向补偿帧不需要优化分割,所以减少了部分运算量。在编码代价上,同样的,双向补偿帧不需要分割信息,而增加了小块的后向运动矢量的编码,对于不同的视频序列,这两部分的抵消结果不同。对于较简单的视频序列,由于分割的子块较少,所以总的编码代价将减少,而对于较复杂的视频序列则总的编码代价有所增加。

### 参考文献:

[1] ZHANG J, AHMAD MO, SWAMY MNS. Quadtree structured region-wise motion compensation for video compression [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 1999, (9): 808-822.  
 [2] MARTIN GR, PACKWOOD RA, RHEE I. Variable size block matching motion estimation with minimal error[A]. Proc. IS&T/

本文提出了一种基于 Hausdorff 距离的完整的目标跟踪算法。新算法在获得运动物体初始轮廓和运动物体模型更新中使用了多尺度的分水岭变换,提高了目标分割的可靠性和分割精度;在目标匹配中采用了 Hausdorff 距离,增强了跟踪系统对非刚性物体的识别能力。实验结果表明:该算法不但可以在视频序列中稳定地跟踪有一定几何形变非刚性的运动物体,而且可以实现对多个运动物体同步跟踪。

### 参考文献:

[1] BEUCHER S. The Watershed Transformation Applied to Image Segmentation[J]. Scanning Microscopy International, 1992, supplement (6): 299-314.  
 [2] WU L. Spatio-temporal Segmentation of Image Sequence for Object-oriented Low Bit-rate Image Coding[J]. Signal processing: Image Communication, 1996, 8(6): 513-544.  
 [3] NASCIMENTO JC, MARQUES JS. Robust shape tracking in the presence of cluttered background[J]. IEEE Trans. on Multimedia, 2004, 6(6): 852-861.  
 [4] HUTTENLOCHER DP, KLANDERMAN GA. Comparing Images Using the Hausdorff Distance[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850-863.  
 [5] XU HF. Video Partitioning and Video Segmentation in Content-based Video Databases[D]. PhD thesis, University of Miami, 2001.

SPIE Symp. Electronic Imaging: Science and Technology [C], 1996, 2668.324-333.  
 [3] RHEE I, MARTIN G, MUTHKRISHNAN S, et al. Quadtree-structured variable-size block-matching motion estimation with minimal error [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 2000, (10): 42-50.  
 [4] ITU-T Recommendation H.263 (02/98) - Video coding for low bit rate communication [S]. <http://www.itu.int/itudoc/itu-t/rec/h/h263.html>.  
 [5] KALRA S, CHONG MN. Bidirectional motion estimation via vector propagation [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 1998, (8): 976-987.  
 [6] GOH WB, CHONG MN, KALRA S, et al. Bi-directional 3D autoregressive model approach to motion picture restoration[A]. IEEE ICASSP96[C], 1996, 2277-2280.  
 [7] KALRA S, CHONG MN, KRISHNAN D. A new autoregressive (AR) model based algorithm for motion picture restoration[A]. IEEE ICASSP97[C], 1997, (4): 2557-2560.  
 [8] MOSCHENI F, DUFAUX F, NICOLAS H. Entropy criterion for optimal bit allocation between motion and prediction error information [A]. Proc SPIE Conf. Visual Communications and Image Processing [C], 1993, 2094.235-242.