

## 改进的多分辨率形状匹配算法研究

石旭利<sup>1),2)</sup> 肖广<sup>3)</sup> 羊子格<sup>1)</sup> 刘方青<sup>1)</sup> 张兆杨<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(新型显示技术及应用集成教育部重点实验室(上海大学),上海 200072) <sup>2)</sup>(上海大学通信与信息工程学院,上海 200072)

<sup>3)</sup>(上海教育考试院,上海 200235)

**摘要** 形状匹配算法虽然在基于内容的视频检索中应用广泛,但由于视频数据量非常大,匹配非常耗时,因此形状匹配算法通常会成为实时视频检索的瓶颈,为了快速准确地进行形状匹配和检索,提出了一种改进的多分辨率 Hausdorff 距离变换算法,该算法是通过向后匹配算法进行优化来使匹配速度大大加速,可用于进行实时车型比较和识别。实验结果表明,该改进算法在车型识别上具有速度快和准确性高的优点,尤其在模板图像比较大的情况下,此改进算法优势明显。

**关键词** 形状匹配 Hausdorff 距离 多分辨率 车型识别

**中图分类号:** TP391.41 TN **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)11-1661-04

### An Improved Algorithm for Shape Matching Based on Multi-resolution

SHI Xu-li<sup>1),2)</sup>, XIAO Guang<sup>3)</sup>, YANG Zi-ge<sup>1)</sup>, LIU Fang-qing<sup>1)</sup>, ZHANG Zhao-yang<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Key Laboratory of Advanced Display and System Applications (Shanghai University Ministry of Education), Shanghai 200072)

<sup>2)</sup>(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

<sup>3)</sup>(Shanghai Education and Examinations Authority, Shanghai 200235)

**Abstract** Shape matching algorithm is widely used in many applications of the content-based retrieval, however, due to large data amount of the video stream, and the computation of processing, the shape matching algorithm always become bottleneck in the real-time video retrieval. In this paper, we propose an improved algorithm for Hausdorff distance based on multi-resolution, supposed to be applied in the real-time vehicle comparison and recognition, the backward matching algorithm has a great optimization. Experimental result shows that the algorithm makes vehicle recognition more fast and accurate, especially when the model image is big, this improved algorithm has a larger excellence.

**Keywords** shape matching, Hausdorff distance, multi-resolution, vehicle recognition

## 1 基于 Hausdorff 距离的形状匹配算法

Hausdorff 距离是描述两个点集之间相似程度的一种度量,它不仅适用于平移情况的运动目标跟踪,而且在目标复杂运动时也能够取得较好的跟踪效果。

为了提高模板匹配的速度,文献[1~4]中提出了一些快速算法,其中主要包括:早期终止(early

rejection)、早期接受(early acceptance)、跳跃前进(skipping forward)以及多分辨率等快速算法。下面主要分析多分辨率 Hausdorff 距离,并对其进行改进。

### 1.1 多分辨率 Hausdorff 距离的定义

多分辨率分析是一种由“粗”到“精”(coarse-to-fine)的方法,它的基本思想是:先在较低分辨率图像中执行某种操作,称为“粗”阶段;然后将粗阶段的执行结果作为初始条件,再到较高分辨率的图像中执行与粗阶段近乎同样的操作,称为“精”阶段。“粗”阶段的执行结果虽然不够准确,但在该分辨率

基金项目:新型显示技术及应用集成教育部重点实验室开放课题基金项目(P200501);上海市重点学科实验室基金项目(T0102)

收稿日期:2006-06-10;改回日期:2006-08-06

第一作者简介:石旭利(1970~),女,2002年获上海大学博士学位,现为上海大学信息系副教授。主要研究方向为视频分割、视频传输等。E-mail:shixuli@sina.com

的意义上接近真实结果,再经过“精”阶段的进一步加工,最后即可得到精确的结果。

多分辨率分析可以采用如图 1 所示的“金字塔”结构<sup>[4]</sup>,进行由粗到精的分层匹配。

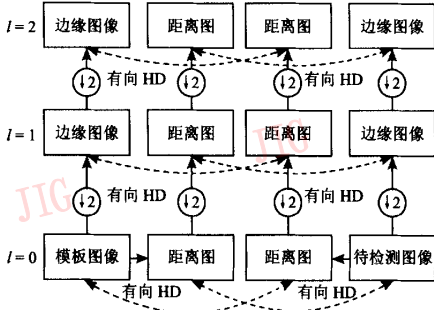


图 1 多分辨 Haudorf 金字塔结构

Fig. 1 Block diagram of the HD matching algorithm using pyramidal structures

分层匹配时先在每一层上计算相应距离变换图和边缘图像的有向 Hausdorff 距离。

假设已知模板图像  $B_M$  (下角 M 代表 model, 下同) 和待匹配的未知二值图像  $A$ , 其大小分别为  $p \times q$  和  $P \times Q$ , 且  $p \leq P, q \leq Q$ , 那么它们对应的距离变换图分别为  $D_1$  和  $D_2$ 。在第 1 层, 所有平移  $t_i = (t_{x,i}, t_{y,i})$  的两个有向 Hausdorff 距离可以通过边缘图像和距离变换图的相关性来计算。

由于在金字塔里严格的分层次结构相对于采样网格对边缘的位置比较敏感, 因此需采用阈值法来筛选每一层的参考点。

### 1.2 多分辨率 Hausdorff 距离的实现

实现多分辨率 Hausdorff 距离匹配方法是首先获得目标的初始模板图像, 然后就可以利用 Hausdorff 距离进行模板匹配来找出匹配目标。具体算法步骤如下:

(1) 将获得的初始运动目标的二值图像作为模板图像  $B_M$ , 同时对后续帧图像采用 Canny 算子提取图像边缘, 并将其作为 Hausdorff 距离比较的二值图像  $A$ ; 然后用 Chamfer 5-7-11 的变换模板来将二值图像  $A$  和  $B$  分别变换为距离图  $D_2$  和  $D_1$ ; 最后通过对二值边缘图像  $A_E$  和  $B_E$  (下角 E 代表 edge)、距离变换图  $D_1$  进行两次隔行隔列子采样 (也可通过不同分辨率层的平移步径  $step = 2^l$  来达到相同效果) 来得到如图 1 所示的“金字塔”结构。(共为  $L = 3$

层)。

(2) 在最低分辨率层 ( $l = 2$ ), 逐点扫描边缘图像  $A_E$ , 并对其任一点  $(x_i, y_i)$  进行计算, 再对第  $l$  层图像  $B_l$  中的所有值为 0 的像素点  $(m_i, n_i)$  的相应的距离图像  $(x_i + m_i, y_i + n_i)$  点的值放入集合  $F$  中, 查找过程中使用了早期终止技术, 即如果当前集合  $F$  中值大于阈值的点的数量同模板特征点的数量的比值大于早期终止比例的话, 则终止对此坐标的扫描, 转而平移到下一个点继续扫描。如果当前坐标没有被早期终止的话, 则将数组  $F$  中所有值按从小到大排序, 取其第  $K$  个数的值, 作为点  $(x_i, y_i)$  的前向 Hausdorff 距离值, 如果其值小于阈值, 就放入第  $l$  层图像  $A_l$  中。所有小于阈值的点组成下一层要匹配的候选点集。

(3) 在较高分辨率层上 ( $l = 1$ ), 对上一层得到的候选点集中的所有点重复步骤 2, 找出这一层满足条件的点, 以作为下一层的参考点。注意: 需要相应改变阈值  $\tau_l$  的值。

(4) 在原始层 ( $l = 0$ , 最高分辨率层) 上, 对参考点集中的点进行类似上述的操作过程, 找出前向匹配 (模板匹配图像) 的匹配结果点集。

(5) 先将前向匹配结果点集中的所有点作为基准点进行后向匹配扫描; 然后对于点集中任一点  $(x, y)$ , 则在其模板覆盖范围内找出所有图像  $A$  中值为 0 的点, 并将其保存到数组  $S_0$ ; 最后将数组  $S_0$  中所有值按从小到大进行排序, 先取出第  $K$  个值作为  $(x, y)$  后向 Hausdorff 距离, 再将所有值小于阈值的点放入点集  $F_1$  中作为后向匹配结果点集。

(6) 根据前向匹配结果点集  $F_2$  和后向匹配结果点集  $F_1$ , 在  $F_2$  中找出与  $F_1$  中点的坐标相同的点, 并比较其前向 Hausdorff 距离和后向 Hausdorff 距离, 然后将较大的那个值的点保存到数组  $F_3$ 。那么  $F_3$  中所有的坐标就是多分辨率 Hausdorff 距离匹配的结果点集, 这些点就是模板在图像中 Hausdorff 距离小于阈值的位置。

## 2 后向匹配的改进算法

在此本文将提出一种对后向距离匹配进行改进的算法。后向距离匹配算法的一般流程如下:

根据前向距离匹配的结果点集中的每个点, 扫描以此点坐标, 并将其作为基准坐标时的模板覆盖范围内的所有点的坐标, 如果被覆盖图像范围内存

在特征点,则保存此点在模板距离变换图像中的值到一个数组。最后将此数组中所有点进行排序,取出第  $K$  个点,如果小于阈值则保存此基准点及其 Hausdorff 后向距离匹配值。

在扫描模板覆盖范围内的特征点时的原始做法是逐点扫描被模板覆盖范围内的所有点,以找出其中的图像的特征点。这种做法对于较大模板,由于相应的无效扫描可能就比较,因而扫描的效率也就比较低了。从这一点出发,本文尝试使用一种扫描图像特征点集的方法来代替逐点扫描模板的方法进行后向距离匹配。

现在用边缘图像的特征点将其映射成边缘图像距离变换图像中的零点,可先对特征点的坐标进行坐标变换(因为距离变换图像是扩展过的),然后根据新的坐标进行扫描,因为前项匹配结果是按  $Y$  坐标排序的,而特征点本来就是按  $Y$  坐标排序的,也就是说,只要当前特征点经过坐标变换后大于可能扫描的最大  $Y$  坐标,就可以停止继续扫描,并认为不可能在扫描范围内存在更多的特征点。如果特征点纵坐标未超过最大  $Y$  坐标,且整个特征点坐标不在扫描范围内,则跳过此点,转到下一个特征点进行扫描。直到找到扫描范围内的特征点,才记下它在模板中的距离变换值。

为了真正提高后向遍历的速度,有必要设置每次扫描的起始特征点序号( $startNum$ ),以避免每次扫描从第 1 个特征点开始,本文设置了以下 3 个值来确定  $startNum$  的值,其中  $currentY$  是当前扫描的  $Y$  坐标, $currentS$  是当前  $Y$  坐标这行第 1 个特征点的序号, $isFirst$  是用于判断是否是第 1 个扫描范围内的特征点,在找到第 1 个扫描范围内的特征点前,每当  $Y$  坐标改变时都会更新  $currentY$  和  $currentS$ 。当找到第 1 个特征点后,便记录下当前的  $currentS$  作为下一次平移的  $startNum$ 。因为平移是按  $Y$  坐标递增的,所以不需要扫描  $Y$  坐标小于上次扫描时第 1 个特征点的  $Y$  坐标的特征点,因为特征点是按  $Y$  坐标排序的,也就是说,有效的扫描特征点应该从上一次扫描那行的第 1 个特征点的序号开始。

在模板大小适中的情况下,虽然改进后的方法扫描次数较少,但因中间过程较以前相对复杂一些,所以改进方法与以前方法所用时间几乎相同。但在模板较大情况下,此改进算法的优势相对于以前的方法就比较明显了,而且改进算法扫描次数与边缘图像特征点的分布和数量有关(纵向分布的点越多

相对  $startNum$  越精确),而与模板尺寸关系则不是很大。以前的算法和模板尺寸关系较紧密,即模板尺寸扩大一倍,扫描次数就是以前的 4 倍,而对改进的后向匹配算法来说,扫描次数一般接近原来的两倍,这与特征点的分布有关。但是因为改进方法的扫描次数原本就远少于原始方法,所以模板尺寸对改进方法的影响也就远远小于原始方法。

### 3 实验结果

图 2 是从序列图像的第 204 帧边缘图像中提取的模板,实验是以这帧的模板作为初始模板来对进行前一帧模板与后一帧图像进行匹配。后续所有的模板都是以前一帧匹配结果 Hausdorff 距离最小的点的坐标为基准坐标割取的模板,其大小相同且未经过修改。



图 2 第 204 帧模板

Fig. 2 The model of 204 frame

从检测出的 205 帧边缘图像中(图 3)可以明显看出此序列图像中被跟踪的小汽车的大小、形状都在发生变化,特别是第 214 帧小汽车的形变十分明显,并且匹配过程中还有其他运动目标的干扰(见图 4)。尽管如此,利用本文方法仍然可以跟踪到每一帧中汽车的变化。

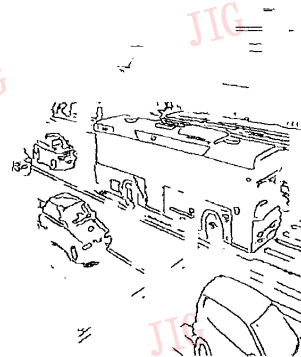


图 3 205 帧边缘图像

Fig. 3 The edge image of 205 frame

使用本文方法,跟踪一帧图像的运动目标所需

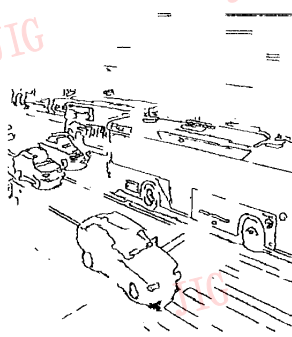


图 4 214 帧边缘图像

Fig. 4 The edge image of 214 frame

平均时间约为 0.3s (实验环境: P4M 1.5, 内存 512M), 而用单分辨率方法进行跟踪所需时间则超过 1.5s。由此看出, 使用多分辨率方法, 比用单分辨率方法可平均节约 5 倍的时间, 这就在较大程度上提高了算法的效率。

#### 4 结 论

本文提出利用改进的 Hausdorff 距离度量和多

分辨率分析相结合的匹配算法来跟踪静止背景下运动目标的变化。实验结果表明, 改进的 Hausdorff 距离在运动目标被局部遮掩和有干扰点存在的情况下, 也能得到准确的跟踪结果, 而且多分辨率分解方法的运用提高了匹配的计算速度, 从而使整个算法的效率得到较大的提高。

#### 参考文献 (References)

- 1 Huttenlocher D P, Rucklidge W J, Klanderma G A. Comparing images using the Hausdorff distance under translation [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Chicago, Illinois USA, 1992: 654 ~ 656.
- 2 Rucklidge W J. Efficient computation of the minimum Hausdorff distance for visual recognition [R]. Technical Report 1454, Department of Computer Science, Cornell University, New York, USA, 1994.
- 3 Huttenlocher Daniel P, Rucklidge William J. A multi-resolution technique for comparing images using the hausdorff distance [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 705 ~ 706.
- 4 Kwon Oh-kyu, Sim Dong-gyu, Park Rae-hong. Robust Hausdorff distance matching algorithm using pyramidal structure [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(7): 2005 ~ 2013.