

一种有效的基于时空联合的视频对象自动分割新算法

高丽^{1),2)} 杨树元²⁾ 李海强³⁾

¹⁾(中国科学院研究生院,北京 100039) ²⁾(中国科学院声学研究所数字系统集成部,北京 100080)

³⁾(LG 电子研发中心,北京 100102)

摘要 针对具有复杂背景的视频序列中运动物体的分割问题,在利用 Canny 算法将空间边缘信息结合到基于变化的分割技术的基础上,提出在预处理阶段对视频序列的灰度图进行局部对比度增强处理,以增加前景物体与背景对比度的观点,首先解决了许多视频分割算法都存在的对比度较低带来的分割困难问题,同时通过设计 3×3 模板的滤波器来滤除对比度增强之后引入的少量噪声;然后针对复杂背景的情况,设计了一种视频对象自动分割新算法,该算法利用随机信号的统计特性累计得到算法所需的背景来实现背景信息的自动获取;最后利用背景累积过程中分类讨论的观点,解决了物体停止运动时间较长时造成分割丢失的问题。实验结果表明,该算法可以有效地将运动物体从视频序列中自动地分割出来。

关键词 视频分割 Canny 边缘检测 对比度增强 随机信号的检测

中图分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2005)09-1096-09

New Efficient Automatic VOP Segmentation Based on Spatio-temporal Information

GAO Li^{1),2)}, YANG Shu-yuan²⁾, LI Hai-qiang³⁾

¹⁾(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

²⁾(Department of Digital System Integration Technique, Institute of Acoustics, CAS, Beijing 100080)

³⁾(LG Electronics R&D Center, Beijing 100102)

Abstract On the base of combining change-detection-based segmentation approach and spatial edge information by canny edge detection, an algorithm is proposed in which local contrast enhancement is applied to improve the contrast between foreground object and background in the pre-processing stage, and the problem caused by low contrast is solved. A filter was designed to remove a small quantity of noise caused by contrast enhancement; Then for the complex background, the algorithm utilizes probability-based classification to accumulate the background information, which it is needed by the original segmentation algorithm, and consequently realizes the capturing of background information automatically; Finally, the paper proposed that three situation should be discussed in the process of accumulating background information. The proposed algorithm is evaluated on several MPEG-4 test sequences and produces promising results.

Keywords video segmentation, canny edge detection, contrast strengthen, probability-based classification

1 引言

随着通信网络的出现,基于对象的视频分割技

术,即 VOP(video object plane)已经成为基于内容的检索、编码和视频数据库操作的关键技术,它既是计算机视觉研究的难点之一,也是新一代多媒体交互、流媒体应用等新兴领域的研究热点。目前提取视频

基金项目:中国科学院海外杰出学者基金资助项目(E09JJ02)

收稿日期:2004-11-10; 改回日期:2005-01-25

第一作者简介:高丽(1978~),女,2001年获北京理工大学工学学士学位,2004年获北京理工大学硕士学位,现为中国科学院声学研究所博士研究生。研究方向为数字图像处理、视频序列的运动分割与运动目标的跟踪。E-mail:lhqingen@sohu.com;future_gao@hotmail.com

中的运动物体已有多种方法,例如:基于光流场的参数模型分割算法^[1]会受到光流可靠性的影响,而且参数模型只适用于刚体运动,计算复杂度高;贝叶斯分割方法^[2]是在给定光流数据的条件下,利用贝叶斯方法来对图像建模,该方法精度虽高,但计算复杂度太高;而利用形态学工具进行分割,又由于只依靠一些简单的物体特征,因而会造成目标与分割区域的不一致;

基于变化的分割技术^[3~6]是比较流行的一种分割算法,它是利用变化检测模板(change detection mask, CDM)代替运动场,通过检测视频中,时间上相邻的两帧帧差的变化区域和不变区域来将运动物体与静止背景进行分离。该方法可在避免复杂度较高的计算的情况下自动检测到运动物体,并允许较大程度的非刚体运动,但分割精度易受噪声影响,并且由于缺少空间边缘信息,从而易导致物体边界的不规则,还会发生分割丢失等现象。算法引入空间边缘信息后,虽然利于算法分割精度的提高,但简单地将帧差图二值化,其得到的边缘信息不可靠,还产生大量噪声。

针对这些问题, Kim 等人提出的算法^[7]是利用 Canny 算子对帧差图进行边缘检测,不仅可以很好检测到物体边缘,还不易受到噪声的干扰。由于该算法很好地将空间信息结合到基于时间变化的分割技术当中,因此不仅能设计出时空结合,且能抑制噪声的分割算法,并且计算简单,易于实现实时的运动图像处理,但是该算法也存在一些问题:首先,当前景物体某部分与背景的对比较低时,会发生该部分丢失的现象,这同样也是困扰很多其他的自动分割算法^[8~12]的问题,至今还没有很好的解决方法;其次,算法需要用到背景信息作为参考,对于文中提到的像 hall-monitor 这样的序列,第 1 帧没有出现物体,可用来作为背景信息,但对于像 Akiyo 和 mother&daughter 这样的序列,在不可能以第 1 帧作为背景信息的情况下,则需采用手工得到背景的方法,这样做不但不利于实现自动分割,同时会降低分割精度。

本文提出的算法虽是基于 Kim 等人提出的方法^[7],但却是采用新的观点来解决上面提到的问题,图 1 为本文分割算法的总流程图。

2 预处理——增强灰度图前景物体与背景的对亮度

目前,视频自动分割技术中普遍存在一个问题,

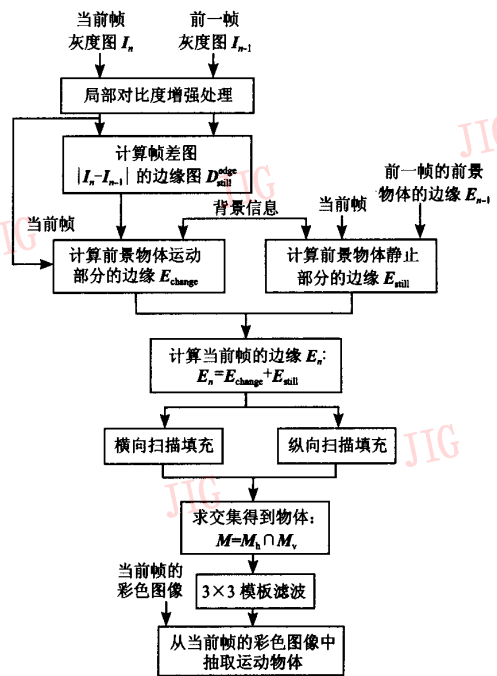


图 1 分割算法总流程图

Fig. 1 Block diagram of the segmentation

即由于图像的质量问题,当前景物体与背景的对比较低时,将会造成前景物体某部分边缘不明显,这样分割时,会出现该部分丢失的现象,而且仅依靠形态学来进行后处理也不可能将其填充。不仅如此,另外很多自动分割算法^[8~12]都提到算法直接受到背景对亮度因素的影响。

为提高图像分割精度,传统的做法是首先对视频序列进行去除噪声的处理。这样做虽然降低了噪声风险,但由于没有解决图像对比度的问题,而且有些去噪的方法还会使得原图像边缘变得模糊,因此反而会降低图像的对亮度。

本文中提出一个新的观点,即针对图像中出现对亮度不明显的情况,在预处理阶段中增强前景物体与背景的对亮度,但是由于在对亮度增强的同时,会引入少量噪声,因此算法将进行相应的处理。

图像增强的方法很多,其中包括灰度分段线性变换、直方图处理等^[13]。灰度线性变换是利用对比拉伸的思想来提高图像灰度级的动态范围,其一方面能很好地增强图像的对亮度,突出原始图像中不太明显的细节;另一方面,也使得该扩展范围之外的图像细节得以压缩,又会降低其对亮度。由于采用直方图处理方法增强图像的对亮度是全局性的,因

而不能保证所关心的局部区域得到所需要的增强效果。

为此,本文算法采用局部增强的思想^[13]来对视频序列进行处理。这样通过计算,仅仅增强图像中对比度较低的部分,以突出所关心的细节,而对对比度较高的区域则尽量保持不动。

该方法可有效分辨图像暗与亮的不同,以及哪些区域具有较低的对比度。局部增强的方法虽与全局增强的方法相同,但之前多了一个计算机自动选择和确定局部区域的判定过程。通常情况下,由于均值是像素平均亮度的测度,方差是亮度反差的测度^[13],因此在设计算法时,可利用每个像素的邻域内像素的均值和方差这两个特性来进行判定,具体过程如下:

首先定义一个 3×3 的矩形窗口,然后使其在原图像上逐点移动,并计算窗口内像素的均值和方差,若分别以 $m_{i,j}$ 和 $\sigma_{i,j}$ 代表第 i 行 j 列像素点对应的窗口的像素灰度均值和标准方差,分别以 M 和 D 代表图像全局灰度的均值和标准方差,则

$$m_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in W_{i,j}} f(x,y) \quad (1)$$

$$\sigma_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in W_{i,j}} (f(x,y) - m_{i,j})^2 \quad (2)$$

其中, $W_{i,j}$ 表示大小为 3×3 的窗口, (x,y) 代表窗口内像素的坐标,该像素灰度值为 $f(x,y)$ 。进行增强处理时,满足局部增强判决条件的像素将与一个增益系数相乘,而不满足增强条件的像素值不变,即

$$g(i,j) = \begin{cases} A \times f(i,j); & \text{如果 } K_{\min}M \leq m_{i,j} \leq K_{\max}M, \\ & \text{且 } K_1D \leq \sigma_{i,j} \leq K_2D \\ f(i,j); & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $g(i,j)$ 为输出图像, $f(i,j)$ 为输入图像, A 为增益系数,是一个正常数。 K_{\min} 和 K_{\max} 分别为局部增强的候选灰度区间的上限和下限,同时设定一个低对比度区间, K_1 和 K_2 分别为其上限和下限,其中 K_1 用来限制对比度最低值,以防遇到标准差为 0 的恒定区域, K_{\min} 、 K_{\max} 、 K_1 、 K_2 均是小于 1 的正常数,由图 2 可以看出,对比度不明显的地方(脸部)得到了很好的增强。

视频序列经过局部对比度增强处理后,会引入少量噪声,且它们大多以孤立的点或点集的形式出现在分割后的物体图中。根据分割后的物体图中噪声区域分布的特点,算法设计了 3×3 模板滤波器用于检测,并去除那些孤立的噪声区域。



图 2 对比度增强前后的边缘图

Fig. 2 Edge map of fore-and-aft contrast enhancement

3 滤波器的设计

本文提出的算法中,首先利用 8-连通区域标记的思想,设计了 3×3 模板滤波器,用于去除分割后物体图(二值图像:物体为 1,背景为 0)中的噪声。如果标记的连通点集合中的元素个数小于给定阈值,则将该集合视为噪声去除。在分割后的物体图中,由于所抽取的物体一般相对于噪声点集合的面积较大,因此采用该方法可以很好地去除那些小于给定阈值的噪声区域,试验中,选取的阈值为 150 ~ 200pixels。具体的做法是,定义 p_i 为像素点 (x,y) 的 3×3 邻域内的点,其中 p 点在二值图像中像素值为 1(如图 3 所示),如果该点的值也为 1,则将该点做一个标记 A 。定义集合 $N = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ 为由一系列相连,并且其值为 1 的点组成的点集, k 为集合中的元素个数,如果 k 小于给定的阈值(150 ~ 200 个)像素,则将该集合作为噪声去除。

$p_1(-1,0)$	$p_2(-1,0)$	$p_3(-1,1)$
$p_8(0,-1)$	$p(0,0)$	$p_4(0,1)$
$p_7(1,-1)$	$p_6(1,0)$	$p_5(1,1)$

图 3 3×3 模板

Fig. 3 3×3 template

4 利用统计特性累计背景信息

虽然仅依靠背景信息不易精确完整地分割出物体,且极易出现分割丢失等情况,但 Kim 在文献[7]提出的算法中,仍需要用到背景信息作为参考。该算法中提到,对于像 hall_monitor 这样的视频序列,

从第 1 帧就可以得到背景信息,供后面的算法使用,但是像 mother_daughter 这样的序列,从第 1 帧中却不可能得到完整的背景信息,因此文章中提到采用手工的方法来得到背景信息。

本文首先利用均值、方差等统计特性从帧差图中积累得到所需背景信息,然后结合到原先的算法中,以实现自动获取所需的背景信息,背景累积过程的流程图见图 4。

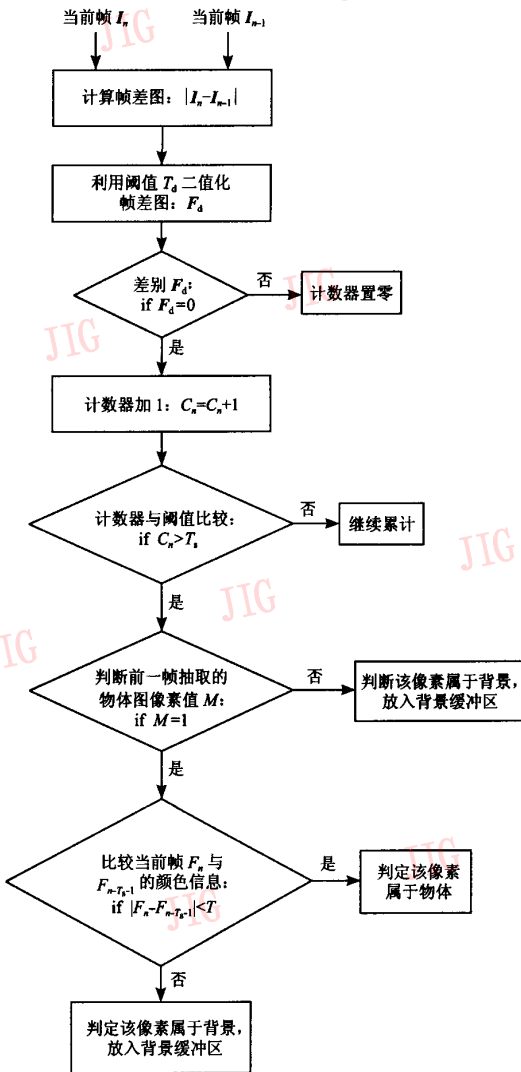


图 4 背景累积过程的算法流程图

Fig. 4 Flow chart of background accumulation

4.1 算法的基本原理

时间上连续两帧的帧差图反映物体运动引起的变化,但在通常情况下,由于帧差图中既包含前景物

体运动的变化,还包含背景的变化(这主要是由镜头噪声、随机噪声、亮度变化等因素引起的),因此应首先判定帧差图中的变化是否由运动的变化引起。

假设由噪声引起的像素变化情况用符号 H_0 表示,而由物体运动引起的像素变化情况用符号 H_1 表示,则在 H_0 假设下,噪声模型符合零均值的高斯正态分布^[3],即

$$P(\delta | H_0) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp(-\delta^2 / 2\sigma^2) \quad (4)$$

这里, δ 代表帧差图中的样本点灰度值, P 代表 H_0 假设下的样本概率, σ 代表 H_0 假设下的互帧差图像的噪声方差。对 σ 的确定,可利用摄像机本身的噪声方差来确定,也可通过计算帧差图^[12]来近似获得,即选取帧差图 4 个角的区域,计算每个区域像素灰度的均方差,然后取它的中值作为 σ 的值,再通过计算多帧的方差,取其平均值作为最终的 σ 。

α 代表样本空间的风险水平,通过设定 α 来确定两种假设 H_0 和 H_1 在样本空间中的分界点阈值 T_d (下角 d 代表 difference),它们之间的关系^[14]如图 5 所示。

分界点阈值 T_d 是判定帧差图中当前像素是否为噪声的灰度阈值,通过式(5)即可以确定出该阈值,上式表示在假设 H_0 的情况下,样本点被判为物体的概率为 α 。其中, α 由经验值获得,一般取为 0.01 ~ 0.05。图 5 中所示区域 R_0 代表样本点灰度值 δ 小于阈值 T_d 的区域,即属于 H_0 假设的情况, R_1 代表样本点灰度值 δ 大于阈值 T_d 的区域,属于 H_1 假设的情况。

$$\alpha = P(\delta > T_d | H_0) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \int_{T_d}^{\infty} \exp\left(-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}\right) d\delta \quad (5)$$

确定阈值 T_d 后,利用该阈值对帧差图进行逐点判定,即

$$\begin{cases} \delta > T_d; & \text{运动物体} \\ \delta \leq T_d; & \text{静止背景} \end{cases} \quad (6)$$

以运动判定之后的帧差图作为依据,计算每个像素 (i, j) 连续保持静止的次数 $C_{i,j}$,若像素运动,则将 $C_{i,j}$ 置为 0;若静止,则将 $C_{i,j}$ 增加 1。当 $C_{i,j}$ 大于给定的阈值 T_s (下角 s 代表 still,下同)时,则将对应的像素列入背景缓冲区, T_s 是将当前像素判定列入背景缓冲区提前设定的阈值,代表像素连续保持静止的次数。通过对帧差图进行逐像素点扫描,可近似

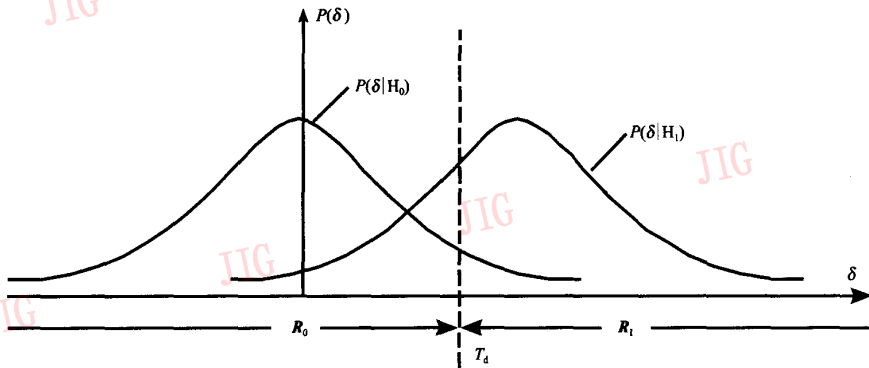


图 5 两种假设 H_0 和 H_1 在样本空间分布图

Fig. 5 Distributed map for samples in two hypothesis: H_0 & H_1

得到当前帧的背景区域信息。由此可见,背景积累的阶段是一个背景缓冲区不断更新的阶段。

4.2 背景积累过程中的分类讨论

通过实验发现,进行背景累积时,可以很好地地区分噪声与运动物体,但存在一个问题,即如果物体暂时停止运动的时间较长,则 $C_{i,j}$ 达到给定阈值后,也会因被误判为背景而影响到算法后续的计算。这个问题不仅出现在本文提出的算法中,其他文章中利用统计特征的方法提取物体时,也会存在类似的问题。本文提出新的观点可以很好地解决这个问题。

经过实验分析,得到如下结论,对于那些静止像素达到给定阈值时,被判为背景的情况可以分为以下 3 类:

① 起初属于背景区域的像素,经过几帧的积累,静止的次数达到给定阈值 T_s 后被判别为属于背景,这是第 1 类情况;

② 原先被物体遮挡的背景区域,由于物体的运动而显露之后,静止的次数达到给定阈值 T_s 后被判别为属于背景,这是第 2 类情况;

③ 原先的运动物体某部分暂时保持静止的次数达到给定阈值 T_s 后被误判为属于背景,这是第 3 类情况;

由此可以看出,前两种情况都可以正确积累到背景信息,而第 3 类则属于误判的情况,其中第 2 类情况与第 3 类情况不易区分,因为第 2 类情况中,尽管原先被物体遮挡的背景区域,只是由于物体的运动而显露为背景,但二者在 $C_{i,j}$ 达到阈值 T_s 之前都将被判为物体(如表 1 所示)。

表 1 判别背景时遇到的 3 类情况

Tab. 1 Three situations of background accumulation

类别	达到阈值 T_s 的静止像素点	区域中像素变化情况	判别结果
1	始终未被遮挡的背景区域	基本保持一致	正确
2	由被遮挡变为显露的背景区域	较大的差异	正确
3	始终是运动物体区域	基本保持一致	误判

增大阈值 T_s , 虽然可以避免第 3 种情况的误判,但会造成第 2 种情况误判时间加长,且与 T_s 的数值成正比。仔细分析后得出以下结论:第 3 类情况中,物体由运动转为保持静止期间,该区域前后帧的像素值基本保持一致,即始终是物体区域;但第 2 类情况中,背景由遮挡变为显露开始积累时,该区域在该时刻前后帧的像素值,一般情况下有较大差异,即由物体的颜色变为背景的颜色(该背景区域与物体的颜色值很相近的特殊情况除外)。

因此当静止次数 $C_{i,j}$ 达到给定静止次数阈值 T_s 时,若该像素在前一帧被判属于物体,则可断定属后两种类型的判别情况,再根据它们各自的特点分别对待:比较当前帧 F_n 中该像素与第 $n - T_s - 1$ 帧 F_{n-T_s-1} 中对应的像素,如果它们之间的颜色距离 $d_{i,j}$ 相近,则说明静止的像素属于物体,反之则属于背景,即

$$d_{i,j} = (\|R_n - R_{n-T_s-1}\|, \|G_n - G_{n-T_s-1}\|, \|B_n - B_{n-T_s-1}\|) \quad (7)$$

这里, (R_n, G_n, B_n) 和 $(R_{n-\tau_n-1}, G_{n-\tau_n-1}, B_{n-\tau_n-1})$ 分别为当前帧 F_n 与帧 $F_{n-\tau_n-1}$ 中像素对应的颜色特征(具体算法详见图5的背景累计算法流程图)。

5 试验结果

为了解本文算法的性能,应用 hall_monitor、mother&daughter、clair、silent、nhz^[15] 等几个典型的视频序列来进行测试,其中, hall_monitor 和 nhz 序列都具有背景复杂,部分前景物体与背景对比度不明显,视频噪声比较大等特点;clair 序列虽具有简单的静止背景,但有时会出现部分前景物体(主持人的脸部)与背景对比度不明显的情况;mother&daughter 序列的背景复杂,母亲的头部运动较大,但身体部分的运动

较小,而且头部会出现静止时间较长的情况,女孩在整个视频序列中的运动较少;silent 序列具有比 mother&daughter 序列更复杂的背景,而且也会出现物体停止运动时间较长的情况。

通过在预处理阶段增强灰度图像的对比度,再结合算法中的滤波器,则可以很好地解决部分前景物体与背景对比度不明显时的情况。对于 mother&daughter 和 silent 这样的序列,从第1帧中无法得到背景信息,但借助于统计特性累计却可得到所需的当前帧的背景信息,这就解决了前景物体静止时间较长的情况下出现丢失的问题。在执行算法时,对于 QCIF 格式的测试序列,测试平台为 Pentium-IV 2.0GHz 处理器的 PC 机,每帧的处理时间大约为 0.1s,试验结果如图6~图12所示。



图6 视频序列 hall_monitor 第71帧两种不同算法的分割结果

Fig.6 VOP extractions for "hall_monitor"(Frame:71)



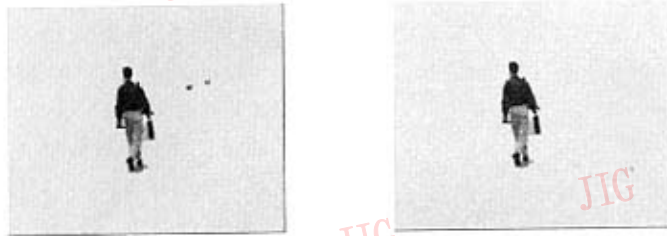
图7 视频序列 nhz 第170帧两种不同算法的分割结果

Fig.7 VOP extractions for "Nhz"(Frame:170)



图8 视频序列 clair 第102帧两种不同算法的分割结果

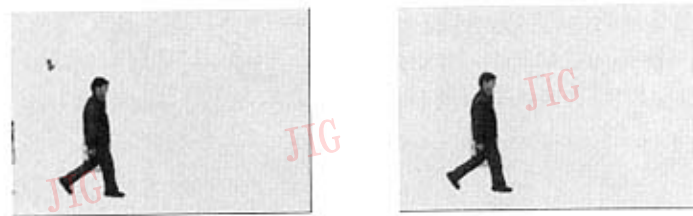
Fig.8 VOP extractions for "Clair"(Frame:102)



(a) 噪声滤除前的分割结果 (b) 噪声滤除后的分割结果

图 9 视频序列 hall_monitor 第 62 帧噪声滤除前后的分割结果

Fig. 9 VOP extractions for "hall_monitor" (Frame:62)



(a) 噪声滤除前的分割结果 (b) 噪声滤除后的分割结果

图 10 视频序列 nhz 第 170 帧的分割结果

Fig. 10 VOP extractions for "nhz" (Frame:170)



66 帧 22 帧 36 帧 144 帧

(a) 原图像



66 帧 22 帧 36 帧 144 帧

(b) 本文算法分割结果

图 11 视频序列 mother & daughter 本文算法分割结果

Fig. 11 VOP extractions for "mother & daughter" (Frame:66,22,36,144)

图 6(a)、图 7(a)、图 8(a) 为原始视频, 图 6(b)、图 7(b)、图 8(b) 为局部对比度增强前原有算法的分割结果, 图 6(c)、图 7(c)、图 8(c) 为局部对比度增强处理后但并未滤波的分割算法的分割结果, 从分割后图像看出有少量噪声存在。

图 9 和图 10, 是当算法引入 3×3 模板滤波器

之后的分割结果, 由该两图可以看出, 噪声已经被很好地去除, 其中 hall_monitor 序列的第 62 帧噪声比图 6 明显, 可选择它来进行演示。

视频序列 mother&daughter 的原图像与用本文提出的算法进行分割后的结果见图 11, 本文算法是将累积得到的背景信息结合到原有的算法中进行分割。

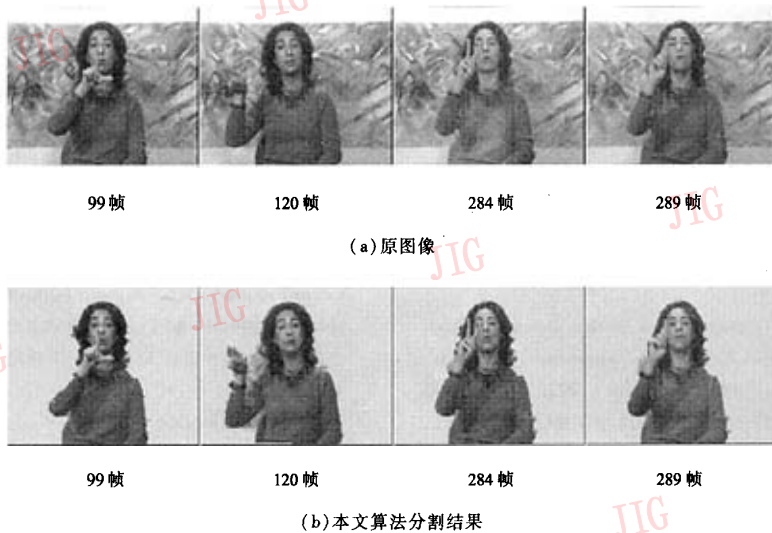


图12 视频序列 silent 本文算法分割结果

Fig. 12 VOP extractions for "silent" (Frame:99,120,284,289)

图12中,silent序列的原始图像的分割结果,从原始图像中可以看出,Silent序列背景比mother&daughter序列更加复杂。

6 结论

本文提出的算法是在Kim等人提出的方法基础上,首先在预处理阶段对灰度图进行局部对比度增强处理,然后用对比度增强后的图像参与算法的计算,最后通过设计 3×3 模板的滤波器来滤除对比度增强带来的噪声。当视频序列的背景复杂并且不能够从第1帧中得到背景信息时,本文提出利用随机信号的统计特性来积累得到当前帧的背景信息,并用其参与后续算法的计算,以实现自动获取所需的背景信息。同时算法提出的背景累积过程中分类讨论的观点,还解决了运动物体停止运动的时间较长出现丢失的现象。实验结果表明,本文提出的算法较好地解决了对比度不明显时物体的分割,并且滤除了因此而带来的噪声,同时较好地解决了背景复杂情况下对物体的分割。另外,实验还表明,该算法不仅计算简单、抗干扰能力强,而且易于实现实时运动对象的分割。

本文提出的算法主要解决了静止,且具有复杂背景情况的视频分割问题,由于对镜头的旋转、缩放、平移引起的背景和前景物体同时运动的情况,并没有考虑在内,因此下一个阶段将考虑在运动背景

下物体的分割提取问题,以便使本文提出的算法应用于更为广泛的视频序列中。

致谢 本文实验中所采用的视频序列Nhz来源于中国科学院自动化研究所提供的数据库:CASIA Gait Database^[15]。

参考文献 (References)

- 1 Adiv G. Determining three-dimensional motion and structure from optical flow generated by several moving objects [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1985, 7(4): 384 ~ 401.
- 2 Murray D W, Buxton B F. Scene segmentation from visual motion using global optimization[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(2): 220 ~ 228.
- 3 Aach T, Kaup A, Mester R. Statistical model-based change detection in moving video[J]. Signal Processing, 1993, 31(2): 165 ~ 180.
- 4 Mech R, Wollborn M. A noise robust method for 2D shape estimation of moving objects in video sequence considering a moving camera[J]. Signal Processing, 1998, 66(2): 203 ~ 217.
- 5 Neri A, Colonnese S, Russo G, et al. Automatic moving object and background separation [J]. Signal Processing, 1998, 66(2): 219 ~ 232.
- 6 Guo J, Kim J W, Kuo C C J. Fast and accurate moving object extraction technique for MPEG-4 object-based video coding[A]. In: Proceedings of SPIE [C], Boston, Massachusetts, USA, 1999, 3653:1210 ~ 1221.
- 7 Kim Changick, Hwang Jenq-Neng. Fast and automatic video object segmentation and tracking for content-based applications[J]. IEEE

- Transactions on Circuits and Systems for video Technology, 2002, 12(2):122 ~ 129.
- 8 Shao-Yi Chen, Shyh-Yih Ma, Liang-Gee Chen. Efficient moving object segmentation algorithm using background registration technique [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(7):577 ~ 586.
- 9 Cavallaro A, Ebrahimi T. Accurate video object segmentation through change detection [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C], Lausanne, Switzerland, 2002, 8:26 ~ 29.
- 10 LUO Tao. Automatic segmentation of moving objects for head-shoulder video sequence [J]. Acta Scientiarum Naturalium, Universitatis Pekinensis, 2000, 36(5):599 ~ 607. [罗涛. 头肩视频图像的运动物体自动提取[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2000, 36(5):599 ~ 607.]
- 11 YANG Li, ZHANG Hong, LI Yu-shan. Automatic segmentation for moving objects in video sequences[J]. Journal of Computer - Aided Design & Computer Graphics, 2004, 16(3):301 ~ 306. [杨莉, 张弘, 李玉山. 视频运动对象的自动分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(3):301 ~ 306.]
- 12 WANG Lei, ZHANG Xu-dong. Automatic segmentation of moving objects in video sequences using multifeature [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(11):1346 ~ 1351. [王蕾, 张旭东. 自动分割视频序列中运动物体的新算法:多特征联合方法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(11):1346 ~ 1351.]
- 13 Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. Digital image processing (second edition) [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004:66 ~ 84. [Gonzalez Rafael C, Woods Richard E. 数字图像处理(第2版). 阮秋琦, 阮宇智等译[M]. 北京:电子工业出版社, 2004:66 ~ 84.]
- 14 Whalen A D. Detection of signals in noise [M]. New York and London: Academic Press, 1971. [A. D. 惠伦. 噪声中的信号检测[M]. 刘其培, 迟惠生译. 北京:科学出版社.]
- 15 CASIA Gait Database[DB/OL], <http://www.sinobiometrics.com>