

# 自动分割视频序列中运动物体的新算法： 多特征联合方法

王 蕾 张旭东

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

**摘 要** 视频编码标准 MPEG-4 增加了适于多种应用的基于视频内容的功能, 为了支持这一功能和提高编码效率, MPEG-4 将视频序列中的每一帧分解成视频对象面(VOP); 另外, 由于基于内容的视频检索和视频监控系统均期望用分割出的关键视频对象紧致地表示一个序列, 同时由于视频分割技术在模式识别、计算机视觉等领域也得到了广泛的应用, 因此, 分割视频运动物体并跟踪运动物体的变化变得至关重要. 为了对视频中运动物体进行有效的分割, 在帧差图象的基础上, 采用 Canny 边缘检测和随机信号的高阶矩检测相结合的方法, 来自动分割视频序列的前景区域和背景区域, 并在前景区域中应用区域生长法进行颜色分割, 以精确提取运动物体的边缘; 还利用边缘和颜色特征来对分割出的运动物体建立模板, 用于解决非刚体运动中局部暂时停止运动的情况. 实验结果表明, 此方法可以有效地分割运动物体, 并能跟踪运动物体的变化.

**关键词** 图象处理(510·4050) 视频分割 Canny 边缘检测 高阶矩检测 区域生长 模板匹配

**中图分类号**: TN919.81 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)11-1346-06

## Automatic Segmentation of Moving Objects in Video Sequences Using Multifeature

WANG Lei, ZHANG Xu-dong

(Dept. Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** The video coding standard MPEG-4 enables content-based functionality for various applications. To support this functionality and improve coding efficiency, MPEG-4 decomposes each frame of a video sequence into video object planes (VOPs). The technique is also used in content-based video retrieval and video monitoring system to improve intelligence degree; and its applications are extended to pattern recognition, computer vision et al. Thus, segmentation and tracking of video moving objects become a key related research topic. A novel algorithm for automatic segmentation and tracking of moving objects is proposed in this paper. On the base of different image, we utilize a method of combining Canny edge detection and fourth-orders statistic hypothesis testing in improving the moving areas separation results. Then we use region growing with color information in the moving areas to achieve precise boundary of moving objects; and make use of the last segmentation result, extract edge and color information of moving objects, apply edge model matching and color model matching approach to track the changes of moving objects, and detect temporarily still parts. The experimental results for several video sequences demonstrate that our approach is effective in precise segmentation and detect the temporarily still parts of the video moving objects.

**Keywords** Video segmentation, Canny edge detection, Fourth-orders moment testing, Region growing, Model matching

## 0 引 言

随着通信网络的出现, 人们对于音频、视频内容交互功能的兴趣逐渐增加. 传统的视频编码标准, 如

MPEG-1/MPEG-2 和 H. 261/H. 263 都缺乏高层次视频内容的交互性. MPEG-4 视频编码标准由于引入了视频对象层(VOL)的概念, 从而使基于内容的交互性成为可能, 但要实现 MPEG-4 的高级功能, 则需要将视频预先分割成有意义的对象, 其每一个

对象由视频对象面(VOP)代表,且视频中的每一帧由这些 VOP 组成。由于这些 VOP 具有语义含义,在提取物体时发生的任何错误都可能导致 VOP 无效,因此,精确提取运动物体,并跟踪运动物体的变化变得至关重要。另外,在基于内容的视频检索和监控系统中,由于分割出运动的视频对象可以用于紧凑地表示一个视频序列,因此有效分割运动物体已经成为一个急待解决的问题。

目前,提取视频中的运动物体已有多种方法,例如:基于光流场的参数模型法<sup>[1]</sup>,即通过估算运动参数来找出符合相同运动模型的区域,并予以合并,但是光流法会受到光流可靠性的影响,并且参数模型只适用于刚体运动,不适用于非刚体运动;贝叶斯分割方法<sup>[2~5]</sup>,该方法是在给定光流数据的条件下,通过搜索分割标记的最大后验概率(MAP),利用贝叶斯方法来对图象进行建模,该方法虽然比别的方法精度更高,但是计算复杂度太高;利用形态学工具进行分割<sup>[6~8]</sup>的形态学方法是结合视频对象的运动特性与空间聚类特征来对物体进行分割,此方法对视频物体进行分割虽可以得到很好的效果,但是在某些情况下,由于形态学方法只依靠了一些简单的物体特征,因此会造成目标与分割区域不一致;基于变化的分割技术<sup>[9~13]</sup>是通过检测视频帧上的变化区域与不变区域来将运动物体与静止背景进行分离,虽然变化区域检测法避开了光流场特有的缺陷,但是由于它依赖于时空图象亮度梯度,因此分割精度容易受到观测噪声的影响;统计学方法<sup>[14],[15]</sup>则需要视频序列的先验知识;基于运动跟踪的分割方法<sup>[16]</sup>,不仅允许使用图象的部分轮廓进行比较,适用于非刚性的运动物体,而且在视频对象运动量较大时,也能获得较好的分割效果,即使物体停止运动一段时间后,仍然可以继续跟踪物体。

基于以上问题,本文提出了一种新的方法来对视频序列中运动物体进行自动分割,具体的实现过程如图 1 所示。

### 1 预处理

通常情况下,由于视频序列的原始数据中包含了很多与视频内容无关的噪声;另外,由于镜头的平移、旋转和伸缩造成了连续帧中背景不一致的现象,因此,为了提高图象分割的效率,需要首先对视频序列进行去噪声和背景配准的处理。

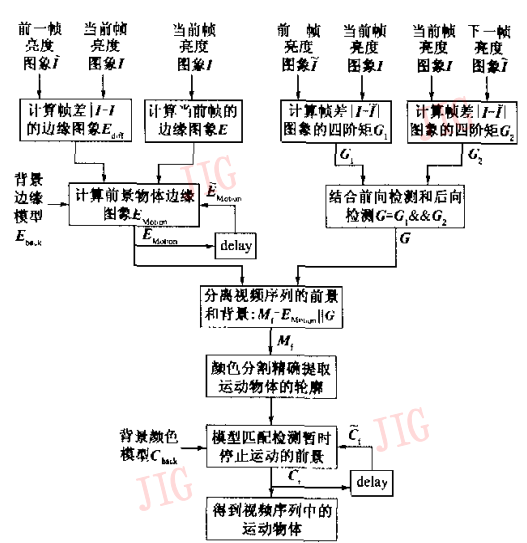


图 1 视频分割算法流程图

#### 1.1 去除噪声

用 3×3 窗口对 R、G、B 3 个通道分别进行中值滤波。大家知道,中值滤波器是一种典型的低通滤波器,可以在保护图象边缘的同时有效地去除噪声。

#### 1.2 背景配准

由于镜头的旋转、拉伸以及平移,会引起背景和前景物体的同时运动,因此,在分割运动物体前需要对镜头的全局运动进行补偿<sup>[17]</sup>,本文采用的是 6 参数仿射模型,即利用参数估算的方法来对背景的移动进行补偿,以使得连续两帧之间的背景相同,再通过连续帧差来划分前景。仿射变换如下式所示:

$$\tilde{x}_1 = a_1x_1 + a_2x_2 + d_1 \quad (1)$$

$$\tilde{x}_2 = a_3x_1 + a_4x_2 + d_2 \quad (2)$$

进行背景配准时,按如下步骤进行:(1) 先将图象分割成 16×16 大小的块,并估算出运动矢量场;(2) 对数据用最小二乘法进行曲线拟合来估算出仿射变换的 6 个参数;(3) 去除代表前景物体的块;(4) 利用剩下的数据重新估算运动参数,重复步骤 3 和步骤 4 直到得到的背景不再改变为止。

### 2 自动分割视频序列的前景

在这一节中,将联合利用 Canny 边界检测和四阶矩检测的方法来检测前景物体以及前景物体中暂时停止运动的部分,并去除掉遮盖和显露的背景,以得到完整的运动物体区域。

### 2.1 Canny 边界检测算子提取前景物体的边缘<sup>[18]</sup>

设边缘图象的定义为： $\Phi(I) = \theta(\nabla G * I)$ ，这里表示当前帧图象。Canny 检测算子的基本思想是先对图象做高斯平滑，再计算平滑后图象的梯度( $\nabla$ )，梯度值最大的位置就是物体的边缘；然后利用非最大值抑制(non-maximum suppression)来处理梯度图象，以细化边缘；最后使用滞后算法(hysteresis)对图象进行阈值化处理，以检测并连接物体边缘。

用 Canny 边缘检测算子分别求出当前帧的边缘图象  $E$  和差帧图象的边缘图象  $E_{diff}$ ：

$$E = \Phi(I) = \theta(\nabla G * I) \quad (3)$$

$$E_{diff} = \Phi(|\tilde{I} - I|) = \theta(\nabla G * |\tilde{I} - I|) \quad (4)$$

这里  $\tilde{I}$  是前一帧图象。假设当前帧中的边缘集合为  $E = \{c_1, \dots, c_k\}$ ，前景运动物体的边缘集合为  $E_{Motion} = \{m_1, \dots, m_l\}$ ，其中， $l \leq k, E_{Motion} \subseteq E$ 。前景运动物体的边缘图象可以通过由当前帧的边缘集合中选出与差帧图象边缘集合的距离小于一定阈值  $T_{Edge}^{change}$  的点得到，前景运动物体运动的边缘图象为

$$E_{Motion}^{change} = \{c \in E / \min_{r \in E_{diff}} \|c - r\| \leq T_{Edge}^{change}\} \quad (5)$$

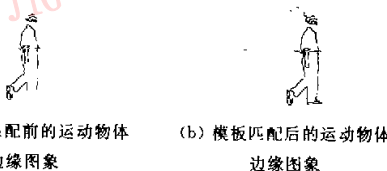
在某些情况下，前景物体的一部分可能会由于暂时停止运动而发生丢失现象(如图 2(a)所示，右腿丢失)。为解决这一问题，可利用前一帧运动物体的边缘图象  $E_{Motion}$  和背景的边缘模型  $E_{back}$  来共同检测暂时静止的前景部分，暂时静止的前景部分为

$$E_{Motion}^{still} = \{c \in E / c \in E_{back}, \min_{x \in E_{Motion}} \|c - x\| \leq T_{Edge}^{still}\} \quad (6)$$

其中， $E_{back}$  是背景的边缘模型，可以通过计算一段时间内，每一像素点作为背景边缘出现的概率得到。最后，当前帧中的前景物体边缘可以通过下式得到

$$E_{Motion} = E_{Motion}^{change} \cup E_{Motion}^{still} \quad (7)$$

Canny 边缘检测的结果如图 2 所示，图 2(a)是未经模板匹配的物体边缘图象，图 2(b)中的前景物体边缘图象是模板匹配后的结果，由图 2(b)可以看出，停止运动的右腿得到了很好的匹配。



(a) 模板匹配前的运动物体边缘图象 (b) 模板匹配后的运动物体边缘图象

图 2 模板匹配得到的运动物体边缘图象

### 2.2 用随机信号的高阶矩特征判断运动区域

背景的变化主要是由镜头噪声、随机噪声、亮度

变化或图象纹理的慢变化而引起的。帧差图象  $d$  中就包括了这些因素引起的变化和前景物体运动的变化。由于噪声一般具有高斯分布的特性，而运动物体则具有很强的结构性，所以可以通过逐点计算帧差图象的四阶矩来区分高斯信号和非高斯信号<sup>[19]</sup>。

每个窗口中像素点的四阶矩可用  $3 \times 3$  的窗口在帧差图象上逐点移动来计算。设帧差图象像素值为  $d(x, y)$ ，窗口大小  $N$  为  $3 \times 3$ ，则计算窗口像素点的四阶矩公式如下

$$m_i^{(4)} = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in w_i} (d(x,y) - m_i)^4 \quad (8)$$

其中， $m_i$  是窗口中像素均值，即

$$m_i = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in w_i} d(x,y) \quad (9)$$

这里，下标  $i$  表示按窗口移动的顺序号， $w_i$  表示一个窗口， $(i, j)$  是窗口内像素的坐标。按窗口扫描次序，逐像素计算  $m_i^{(4)}$ ，并利用下式得到运动区域

$$\begin{cases} m_i^{(4)} \geq C \times (\delta_s^2)^2 \text{ 为 } H_1 \\ m_i^{(4)} < C \times (\delta_s^2)^2 \text{ 为 } H_0 \end{cases} \quad (10)$$

其中， $H_1$  表示像素是运动的， $H_0$  表示像素是静止的。 $C$  是一个常量，可由经验值预先设定，通常设置为  $70 \sim 85$ 。 $\delta_s^2$  是帧差图象背景区域  $s$  内的噪声方差，按下式进行计算

$$\delta_s^2 = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in s} (d(x,y) - m_s)^2 \quad (11)$$

这里， $s$  代表所选择的静止背景区域，假设前景物体一般占据图象的中央，则可以取差帧图象的 4 个角为静止背景区域来计算背景方差，并取其中值作为  $\delta_s^2$ 。为了增强鲁棒性和减少随机因素对结果的影响，可以对多帧  $\delta_s^2$  取中值，作为最终的  $\delta_s^2$

$$\delta_s^2 = \text{median}(\delta_{s_1}^2, \delta_{s_2}^2, \dots, \delta_{s_n}^2) \quad (12)$$

在视频序列中，由于引起图象变化的因素有前景物体的运动、遮挡及显露的背景区域以及各种噪声，而遮挡及显露的背景区域在高阶矩检测中又会被误判为前景物体的一部分，因此可以通过结合前向检测和后向检测的方法来去除误判的背景。高阶矩检测分离前景和背景的结果如图 3(a)所示。

### 2.3 结合边缘检测和高阶矩检测

由于 Canny 边缘检测算子采用了非最大值抑制算法，因此当前景物体某部分边缘不明显时，会发生丢失细节的现象(由图 2 可以看出，人的颈部边缘发生了丢失现象)，但高阶矩检测可以弥补这一缺陷；另一方面，高阶矩检测对于暂停运动的前景部分

也会发生丢失现象(由图 3(a)中可以看出,当人腿部停止运动时,若只采用随机信号的高阶矩检测不出这一部分的).由于本文在 Canny 边缘检测中是利用前一帧的物体边缘来检测暂停运动的部分,正好弥补了高阶矩检测的缺陷,因此用逻辑或(OR)运算将边缘检测和高阶矩检测结合起来,可以得到如下式所示的前景物体完整的闭合模型

$$M_f = G \cup E_{\text{Motion}} \quad (13)$$

其中, $G$  为高阶矩检测的结果.检测出的前景物体模型如图 3(b)所示,由图 3(b)可以看出,左腿和颈部已经得到了很好的匹配.接下来可将前景物体的边缘和内部标记为运动区域,并利用形态学中的闭运算去除前景物体中的细小空洞.



图 3 利用高阶矩和边缘算子联合检测到的运动物体

### 3 精确提取运动物体边缘

由上面的处理即可得到前景物体的完整模型,但是在高阶矩检测中,由于使用了  $3 \times 3$  窗口计算像素的四阶矩,因此会引入一定的误差,使得一些原本属于背景的检测窗中心点被误判为前景,并将造成物体的实际边界发生模糊(如图 4(a)所示,前景物体边界发生模糊).本文通过区域生长法来对前景物体进行颜色分割,以得到运动物体的精确边缘.另一方面,当背景区域在连续两帧中均被误判为前景时,则仅用结合前后向检测的方法不能去除被误判的背景,因此本文采用背景建模的方法来解决这一问题.

#### 3.1 区域生长法进行颜色分割

由于已经得到物体的运动区域,因此可只在运动区域内进行颜色分割,以减少区域生长法的运算复杂度,采用区域生长法进行颜色分割的过程如下:

(1) 对 RGB 每一通道计算运动区域的梯度图象,梯度值越小,说明图象中颜色变化越缓慢.

(2) 选取梯度值最小的像素点作为种子点,并将种子点放入数组中,同时设置一个编号进行标记,表示已经处理过此像素点,然后将种子点周围的 4 个邻域点放入候选点数组中.

(3) 依次从数组中取出候选点,计算候选点  $i$

和种子点之间的颜色距离,设该距离为  $d_i$ ,

$$d_i = (|r - r_i|, |g - g_i|, |b - b_i|) \quad (14)$$

其中, $(r, g, b)$ 和 $(r_i, g_i, b_i)$ 是种子点与其中候选点的颜色特征.通过将该距离的 3 个分量分别和预先设置的阈值  $T$  作比较( $T$  可以取  $8 \sim 32$ ).

(4) 如果颜色距离的 3 个分量均小于阈值  $T$ ,那么就可以认为候选点与区域具有一致的彩色特征,此时即将候选点归入区域并进行标记,同时将候选点周围未标记过的邻域点放入候选点数组中.

(5) 检查候选点数组是否非空,如果非空,则转入第 3 步,继续进行区域生长.

(6) 在未处理的区域中,选择下一个种子点,开始新的区域生长,直到所有的像素点均被归类为止.

区域生长完毕后,会存在一些只占一两个像素点的极小区域,由于这些区域对后面聚类算法的计算复杂会造成很大的影响,所以应先将这些极小区域并入相邻域中.

#### 3.2 聚类算法进行区域合并

顺序的区域生长法由于事先设定了阈值  $T$ ,因此可能会造成区域的分割块数过多.对于单独的前景物体来说,区域块数可以控制在  $70 \sim 100$ ,如果分割块数过多,则需用区域 RGB 分量的均值和方差特征来进行区域合并.设区域的第  $i$  个颜色特征矢量为  $V_i(\mu_i, \mu_g, \mu_b, \delta_i, \delta_g, \delta_b)$ ,  $\mu$  是区域均值,  $\delta$  是区域方差,其计算公式如下

$$\mu_\lambda = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N c_\lambda(p_n) \quad (15)$$

$$\delta_\lambda = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (c_\lambda(p_n) - \mu_\lambda)^2 \quad (16)$$

其中, $c_\lambda(p_n)$ 代表像素  $p_n$  的颜色分量, $\lambda = r, g, b$ .聚类时,首先依次找出尺寸最小的区域,并计算此区域和其邻域之间的颜色特征矢量距离,设该矢量距离为  $d_j$ ,则

$$d_j = \sqrt{\sum_{\lambda} (\mu_{j,\lambda} - \mu_{i,\lambda})^2 + \sum_{\lambda} (\delta_{j,\lambda} - \delta_{i,\lambda})^2} \quad (17)$$

其中, $i \neq j$ ;然后把拥有最小距离的两个区域合并,并重复以上步骤,直到符合规定的块数为止.

#### 3.3 模板匹配法

定义  $C = \{p_1, \dots, p_k\}$  为当前帧聚类后的区域集合,  $C_i = \{f_1, \dots, f_i\}$  为前景物体的区域集合.其中,  $1 \leq k, C_i \subseteq C$ .属于前景物体的区域可通过下式得到

$$C_i^{\text{change}} = \left\{ P_m \in C \mid \frac{n_m}{N_m} > T_{\text{color}}^{\text{change}} \right\} \quad (18)$$

其中,  $N_m$  表示  $C$  中第  $m$  个区域  $P_m$  的尺寸大小,  $n_m$  表示该区域中有多少像素点属于  $M_i$  中的相应区域, 阈值  $T_{color}^{change}$  可以取值为  $0.7 \sim 0.9$ . 颜色分割的结果如图 4(b) 所示, 由图 4(b) 可以看到, 误判的前景区域已经去除. 图 4(a) 中是未经颜色分割的结果.



图 4 颜色分割结果

在初始分割运动物体时, 可使用图象的边缘特征, 并用前一帧的物体边缘作为模板来寻找当前帧中暂时不动的部分. 由于 Canny 算法检测边缘时会丢失边缘不明显的部分, 如果这部分又停止运动, 仅用边缘特征进行模板匹配是不够的 (如图 5(a) 所示, 就丢失了足部和部分肘部), 因此应通过联合利用颜色特征进行模板匹配来检测暂停运动的部分. 这样暂停运动的前景区域就可以通过上一帧分割出的运动物体  $C_i$  和颜色背景模型  $C_{back}$  得到

$$C_i^{still} = \{p \in C / p \in C_{back}, \min_{y_m \in C_i} d \| p - y_m \| \leq T_{color}^{still}\} \quad (19)$$

最后, 利用逻辑或 (OR) 来得到当前帧中的运动物体

$$C_i = C_i^{change} \cup C_i^{still} \quad (20)$$

### 3.4 建立背景模型<sup>[26]</sup>

在上面的处理中, 由于每一帧图象已被分割为前景和背景, 因此可以根据每一帧分割出的背景图象建立背景模型. 设第  $n$  帧背景图象为  $b_n$ , 则建立的背景模型如下式所示

$$B = \alpha b_n + (1 - \alpha)B \quad (21)$$

其中,  $\alpha \ll 1$ , 一般可以取为  $0.05 \sim 0.01$ . 运动物体分割的最终结果如图 5(b) 所示, 由图 5(b) 可以看出, 肘部和足部都得到了很好的修正.

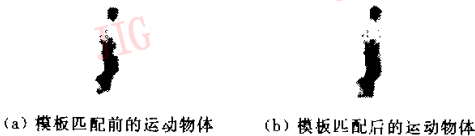


图 5 模板匹配运动物体分割结果

## 4 实验结果

为了验证本文算法效果, 按照图 1 中所示流程, 结合 1~3 节中的技术, 构成完整的运动物体的分割方

法, 对不同的视频序列进行了实验, 实验结果见图 6~图 9. 由图 6 可以看到, 模板匹配的方法可以有效地检测出暂停运动的前景部分. 在图 7~图 9 中, (a) 图是原始视频图象, (b)~(d) 图是分割后的运动物体. 由图 8 和图 9 的分割结果可以看出, 即使前景物体的运动速度较快, 本方法也可以很好地分割运动物体.

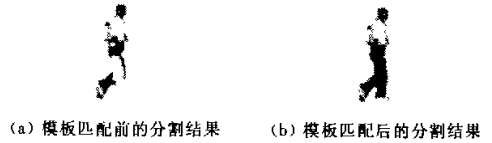


图 6 视频序列 ETRI\_od\_B 第 117 帧分割结果



图 7 tennis 视频序列运动物体分割结果

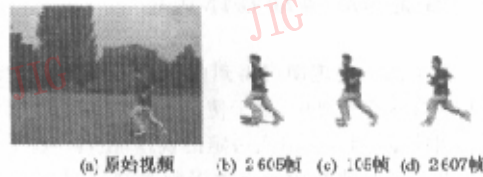


图 8 ETRI\_od\_E 视频序列运动物体分割结果

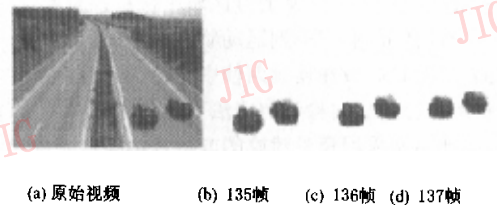


图 9 speedwa4 视频序列运动物体分割结果

本方法中使用到的一些参数, 例如式 (10) 中的  $C$ , 3.1 节中的  $T$ , 3.2 节中的区域块数, 3.3 节中的  $T_{color}^{change}$ , 以及 3.4 节中的  $\alpha$  等, 均可以根据经验在分割开始时设定.

用本方法进行物体分割时, 只有当物体的各个部分都发生运动后, 才能得到完整的物体结构, 否则只能得到已经发生运动的各个部分. 如果物体某部分的亮度与颜色特征和背景非常类似, 而又停止运动时, 则可能会发生丢失现象, 从而造成分割结果不

精确(如图 7(b)所示,分割结果中运动员的部分腿部丢失)。另外,小物体的快速运动也有可能发生丢失现象(如图 7(c)所示,分割结果中乒乓球丢失)。

## 5 结 论

视频对象分割均要求自动分割出有意义的前景物体,本文在帧差图象上联合使用 Canny 边缘检测和高阶矩检测算法自动分割出运动区域,在此基础上再使用区域生长法进行颜色分割,以精确提取运动物体的边缘,同时采用边缘和颜色特征来建立运动物体的模板,并使之适应运动物体的变化,以检测运动物体中暂时停止运动的部分。实验结果表明,本方法可以较好地处理物体部分停止运动时的情况,并能够在视觉上较好地提取物体边缘。

进一步的工作重点将放在引入新的特征,解决在光照条件差或前背景相似的情况下,准确地提取运动物体边缘,以及当镜头在大范围内旋转、缩放、平移时的背景匹配问题,以便本方法能应用于更广泛的视频序列中。

## 参 考 文 献

- 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 Bouthermy P, Francois E. Motion segmentation and qualitative dynamic scene analysis from an image sequence [J]. International Journal on Computer Vision, 1993, 10(2): 157~183.
- 4 Chang M M, Sezcan M I, Tekalp A M. An algorithm for simultaneous motion estimation and scene segmentation [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C], Adelaide, Australia, 1994, 5: 221~224.
- 5 Chang M M, Tekalp A M, Sezcan M I. Motion-field segmentation using an adaptive MAP criterion [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C], Minneapolis, MN, USA, 1993, 5: 33~36.
- 6 Salembier P, Pardas M. Hierarchical morphological segmentation for image sequence coding [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(5): 639~651.
- 7 Salembier P, Brigger P, Casas J R et al. Morphological operators for image and video compression [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(6): 881~898.
- 8 Choi J G, Lee W S, Kim S D. Spatio temporal video segmentation using a joint similarity measure [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7(2): 279~286.
- 9 Mech R, Wollborn M. A noise robust method for segmentation of moving objects in video sequences [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C], Munich, Germany, 1997, 4: 2657~2660.
- 10 Deng Y, Manjunath B S. Netra-v: Toward an object based video representation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(5): 616~627.
- 11 Hotter M, Thoma R. Image segmentation based on object oriented mapping parameter estimation [J]. Signal Processing, 1988, 15(3): 315~334.
- 12 Diehl N. Object-oriented motion estimation and segmentation in image sequences [J]. Signal Processing, Image Communication, 1991, 3(1): 23~56.
- 13 Wang J Y A, Adelson E H. Representing moving images with layers [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(5): 625~638.
- 14 Kim Munchur, Kim Jinwoong. Moving video object segmentation using statistical hypothesis testing [J]. Electronics Letters, 2000, 36(2): 128~129.
- 15 Lee Kyu-Won, Kim Jinwoong. Moving object segmentation based on statistical motion model [J]. Electronics Letters, 1999, 35(20): 1719~1720.
- 16 Meier T, Ngan K N. Automatic segmentation of moving objects for video object plane generation [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 1998, 8(5): 525~538.
- 17 Hsu Chiou-Ting, Tsan Yu-Chun. Mosaics of video sequences with moving objects [A]. In: International Conference on Image Processing [C], Thessaloniki, Greece, 2001, 2: 387~390.
- 18 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.
- 19 韩军,熊璋,孙文彦等.自动分割及跟踪视频运动对象的一种实现方法[J].中国图象图形学报,2001,6A(8):732~738.
- 20 Hidalgo J R, Salembier P. Robust segmentation and representation of foreground key regions in video sequences [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C], Salt Lake City, UT, USA, 2001, 3: 1565~1568.

王 蕾 1977 年生,2000 年 7 月毕业于清华大学电子工程系,现在清华大学电子工程系攻读硕士学位。主要研究方向为视频分割。



张旭东 1962 年生,先后获山东大学电子系理学学士学位和清华大学电子工程系工学硕士和博士学位,曾任香港理工大学短期研究员一年,现任清华大学电子工程系副教授,信号处理与网络传输研究所副所长。主要研究方向为多媒体信号处理、小波理论及应用、统计信号处理、高速数字信号处理系统。发表学术论文 40 余篇。

