

基于小波的视频镜头自适应分割

黄 海 石义军 王思贤

(武汉大学电信学院计算机图象处理实验室, 武汉 430079)

摘 要 随着多媒体技术的发展,出现了大量的视频数据.但由于视频数据是非结构性的,因此为了便于视频的检索和浏览,必须对视频进行分段,而将镜头作为分段的基本单位是比较适合的.通过仔细分析镜头串接的特点,根据小波的特性和小波变换检测奇变点的优点,提出了应用小波变换检测视频内容差异度函数奇变点的方法对镜头边界进行检测.首先取一段视频,选取亮度直方图对视频的内容进行描述,然后提取视频内容差异度变化曲线,再进行多分辨小波分解,去噪后找出模极大值点,经过跟踪可较准确地找出镜头边界.实验证明,该方法能自适应的对视频进行分割,对各种类型的镜头边界有较好的检测效果.

关键词 计算图象处理(520·6040) 镜头 内容差异度 多分辨分解 Lipschitz 常数

中图法分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)04-0415-07

Adaptive Segmentation of Video Shot Based on Wavelet

HUANG Hai, SHI Yi-jun, WANG Si-xian

(School of electronic information, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract With the development of multimedia technology, the amount of multimedia video data is enlarged at an explosive speed. As video data isn't structural, we have to detach it in order to index and browse video. It is a good method to use shots as the basic units. The analysis of character of shots sequence. It is not a good method using common threshold-based because of the variety content of video and the different shot transition type. A novel wavelet-based shot boundary detection approach is proposed to overcome these difficulties, it regards the shot change detection as the singularity position detection of frame-frame difference function. This makes the selection of threshold easier and gets a good performance. Selecting a video segment and picking up frame to frame difference curve is the first step. in order to improve the speed of the segmentation, an intensity histogram-based content description scheme is adopted, the description is sufficient and efficient. The next step is to analyze frame to frame difference function by wavelet transform. Then we filter the noise and find out the module max. Finally we can get the edge of shots accurately by tracking. It is a great method to detach video data adaptively and examine all kinds of shot edges.

Keywords Computer image processing, Shot, Difference of content, Multiresolution analysis, Lipschitz constant

0 引 言

随着多媒体技术的发展,数字视频由于丰富的信息量而受到高度重视.但视频数据的增多也带来了不容忽视的问题,即如何对这些数据进行有效的管理.视频信息数据量极大,抽象程度很低,数据本身并不包含解释和结构等信息,从而使得对视频进行检索和浏览极为困难.问题的关键在于视频不是

一种结构性的数据,它没有合适的能够用作索引和浏览的基本单元,因此提取这种单元是基于内容的视频分析要解决的首要问题.一般认为视频分为视频序列、场景、镜头和帧4级结构,而其中镜头较适合作为索引和浏览的基本单元.

视频是由一段段的镜头串接而成的,这种镜头串接按特性可以分为突变类和渐变类两大类.突变类镜头串,是前一个镜头在时间上刚刚结束,后一个镜头就马上开始,其特点是过渡时间为零,前后两个

镜头内容上不发生任何交叠;渐变类镜头串,是前一个镜头的尾部和后一个镜头的头部存在着内容的交叠,常见的渐变过渡有,淡入淡出、隐现、翻页、拉进、滑入、弹出弹出、上拉下拉、翻转、旋转^[1]等。

一般镜头内部前后帧画面内容基本相近,在镜头边界处,前后帧内容差别较大;同一镜头内帧内容相近,而不同镜头间帧内容差别较大,因此可通过比较视频帧间内容的差异来分割视频镜头,即认为镜头边界相邻两帧内容差异度应该大于处于两侧的任一镜头内部相邻两帧的内容差异度,然而由于镜头边界存在渐变的类型,使问题复杂化。在渐变边界,内容连续性的破坏程度不很明显,幸而渐变型的过渡往往要持续一段时间(10到20帧),在这段时间内,视频相邻帧的内容差异度会呈现一种缓慢而平稳变化的信号特性,如呈现先上升后下降的山峰特性,而镜头内部相邻帧的内容差异度则呈现完全随机的一种类似噪声的特性^[2],因此对渐变类型的镜头边界检测仍然是可以完成的。

现有的视频镜头边界检测技术种类繁多,而且大都与内容描述特征的选取和内容差异度距离度量的选择混杂在一起进行讨论。镜头边界的检测基本上是基于阈值的方法,主要有全局阈值法、采用双阈值的“双子比较”法、局部自适应阈值法、通过建立镜头过渡的精确模型来检测的基于模型的方法,以及利用一些准则的组合来判断镜头边界的方法,另外还有复杂度比较高的基于聚类的方法。但是这些镜头检测方法共同的缺陷是无法适应各种不同的情况,对一段视频有效的阈值对另一段视频可能会失效。长的视频序列在每一个时间段的内容变化特性并不相同,对于帧-帧差异的度量不存在一个统一的尺度,因此它们的阈值选取都较为困难。而基于小波变换的镜头分割方法,实现了有效的自适应阈值分割,算法能够较一致地检测各种类型的镜头边界。

1 基于小波变换的镜头边界检测

1.1 基本原理和公式

将相邻帧的内容差异度(frame to frame difference,简称FFD)看成是随时间变化的函数,视频分段分成获取FFD函数和根据函数决定FFD镜头边界两部分。本文的视频源是MPEG-1压缩格式,颜色采取的是YUV表示方式,研究发现,仅用亮度分量Y来表达图象内容对于视频分段是足够的,且

结果更加鲁棒。本文采取亮度直方图 $h(l)$ 的描述方式

$$h(l) = \frac{n_l}{N} \quad l = 0, 1, \dots, L-1 \quad (1)$$

图象 $f(x, y)$ 中共有 N 个像素,分为 L 个灰度等级, n_l 是图象 $f(x, y)$ 中具有灰度级 l 的像素个数。

在视频片段中通常采用差分距离、相对距离、交叉距离等直方图距离度量,通过比较,选取亮度直方图差分距离^[3]作为差异度距离度量,它是亮度直方图对应帧差分绝对值的总和

$$d(h_i, h_j) = \sum_{l=0}^{L-1} (|h_i(l) - h_j(l)|) \quad (2)$$

h_i, h_j 是给定的第 i 和第 j 帧的亮度直方图。

定义 $FFD_M(k)$ 为相距 M 帧的内容差异函数

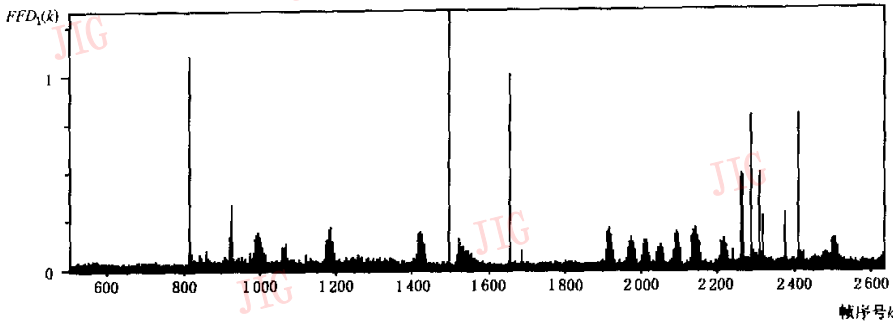
$$FFD_M(k) = d(h_k, h_{k-M}) \quad (3)$$

M 的长度一般不超过一个镜头的长度,根据标准的视频帧速率,选 $M \leq 10$ 比较适合。以一段草原相会视频进行分析,比较研究了 $M=1, \dots, 10$ 的 $FFD_M(k)$ 函数变化特性。图1给出了 $M=1$ 和 $M=4$ 两种 $FFD_M(k)$,横坐标是帧序号,纵坐标是 FFD 值。通过比较可知,随着 M 的增大,镜头边界的宽度变宽,幅度变大,这种趋势对于渐变类型的过渡尤为明显,其山峰变得更高更陡峭;而在镜头内部,函数分布特性基本保持不变。因大的 M 在增强边界的同时也增强了噪声,会引起分割时虚警增加,故选取 $M=1$ 。

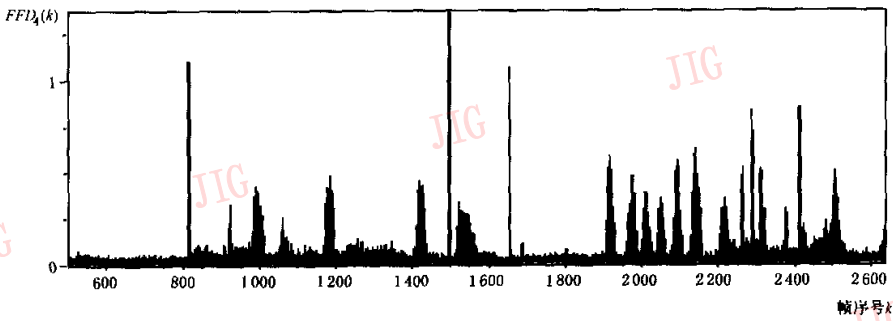
在突变类型的边界处, $FFD(k)$ 呈现类似 δ 冲激函数的特性;而在渐变类型的边界处, $FFD(k)$ 呈现类似山峰的特性,可看成是缓变的峰值信号叠加上微弱的噪声;在运动平缓的镜头内部, $FFD(k)$ 的毛刺很少,分布平稳,幅度较小, $FFD(k)$ 可以看成是均值和方差较小的高斯随机过程;在大运动的镜头内部, $FFD(k)$ 毛刺很多,分布密集,幅度较大, $FFD(k)$ 可以看成是均值和方差较大的高斯随机过程。因此,通过 $FFD(k)$ 函数,就可以全面刻画视频的镜头边界特性。

可以看到, $FFD(k)$ 函数在镜头边界处会发生奇变,总是从一种分布的高斯随机过程变化到另外一种分布的高斯随机过程。鉴于小波变换在奇变信号检测和抑止噪声方面的广泛应用,引入小波理论来检测 $FFD(k)$ 函数的奇变点,借助小波变换自动“变焦”的特性,来取得一种新的自适应阈值的效果,并获得关于视频镜头边界检测的一致性解决方法。

小波变换是应用数学的分支,它较好地解决了时间和频率分辨率的矛盾,在低频段采用高的频率



(a) $M=1$ 的变化曲线



(b) $M=4$ 的变化曲线

图 1 $FFD_M(k)$ 变化的曲线

分辨率和低的时间分辨率;而在高频率段则采用低的频率分辨率和高的时间分辨率,其具有“变焦”功能. Mallat 等人建立了小波变换与刻画信号奇异性的 Lipschitz 指数之间的密切关系,从而可以通过小波变换来确定信号的奇异点位置.

小波变换的基本思想是用一族函数去表示或逼近一信号,这一族函数称为小波函数系.它由一基本小波(母小波)不同尺度的平移和伸缩构成.连续小波定义如下:

定义 1 设 $\varphi \in L^1 \cap L^2$ 且 $\hat{\varphi}(0) = 0$, $\hat{\varphi}$ 是 φ 的傅里叶变换,则按如下方式生成的函数族 $\{\varphi_{a,\tau}\}$

$$\{\varphi_{a,\tau}(x)\} = a^{-1/2} \varphi(x - \tau/a) \quad \tau \in \mathbf{R}, a \in \mathbf{R} - \{0\} \quad (4)$$

叫连续小波, φ 叫基本小波或母小波.

在此基础上定义连续小波变换:

定义 2 设 $f(t) \in L^2(\mathbf{R})$, $\varphi(t)$ 是基本小波函数,则

$$Wf(a, \tau) = (f(t), \varphi_{a,\tau}) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \varphi\left(\frac{t - \tau}{a}\right) dt \quad (5)$$

称为 $f(t)$ 的连续小波变换.

当连续小波的尺度参数 a , 以二进尺度采样时,即对积分变换以为 2^j 伸缩步长,而平移参数 τ 仍采用连续参量时,就得到二进小波

$$\varphi_{2^j}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} \varphi(t \cdot 2^{-j})$$

定义 3 函数序列 $\{W_{2^k} f\}_{k \in \mathbf{Z}}$ 叫作 f 的二进小波变换,其中

$$W_{2^k} f(x) = f * \varphi_{2^k}(x) = \frac{1}{2^k} \int_{\mathbf{R}} f(t) \varphi\left(\frac{x - t}{2^k}\right) dt \quad (6)$$

在实际应用中,信号的可测分辨率是有限的,不可能计算所有尺度上的小波变换.把变换限定在 $j=0$ 和 $j=J$ 之间, 2^0 表示最高分辨率, 2^J 表示最低分辨率.为建立小波变换的信号多分辨率分解表示,引入具有低通特性的平滑函数 $\psi(x)$,其傅里叶变换满足条件

$$|\hat{\psi}(\omega)|^2 = \sum_{j=1}^{+\infty} |\varphi(2^j \omega)|^2 \quad (7)$$

定义平滑算子 S_{2^j}

$$S_{2^j} f(x) = f * \psi_{2^j}(x) \quad (8)$$

$$\psi_{2^j}(x) = \frac{1}{2^j} \psi\left(\frac{x}{2^j}\right) \quad (9)$$

$S_{2^j}f(x)$ 表示信号的低通平滑分量, $W_{2^j}f(x)$ 表示信号的高频细节分量. 此时集合 $\{(S_{2^j}f(x)), W_{2^j}f(x); 0 \leq j \leq J\}$ 称为信号 $f(x)$ 的小波变换多分辨率表示. 这个变换为信号分析提供了一个清晰的分层框架^[4-6].

在数学上, 函数的局部奇异性是用 Lipschitz 指数来刻画的, 其定义是

定义 4 (1) 设 n 为非负整数, $n \leq a \leq n+1$, 称一个函数 $f(x)$ 在 x_0 点为 Lipschitz a , 当且仅当存在 2 个常数 A 和 $h_0 > 0$, 及一个 n 阶多项式 $P_n(x)$, 使得对于 $h < h_0$, 有式 $|f(x_0+h) - P_n(h)| \leq A|h|^a$ 成立; (2) 称 $f(x)$ 在开区间 (a, b) 上为一致 Lipschitz a 的, 当且仅当对任意 $x_0, x_0+h \in (a, b)$, 式 $|f(x_0+h) - P_n(h)| \leq A|h|^a$ 都成立; (3) 称 a_0 为 $f(x)$ 在 x_0 点处的 Lipschitz 正则, 如果 a_0 是使 $f(x)$ 为 Lipschitz a 的所有 a 的上确界; (4) 称 $f(x)$ 在 x_0 处是奇异的, 如果 $f(x)$ 在 x_0 处不是 Lipschitz 1.

关于小波变换与信号奇异性的关系有如下定理:

定理 假设小波 $\varphi(x)$ 连续可导、实值, 具有紧支集. 设 $f(x) \in L^2(\mathbf{R})$, $[a, b] \in \mathbf{R}$, 又设 $0 < a < 1$, 则对于任意 $\epsilon > 0$, $f(x)$ 在区间 $(a+\epsilon, b-\epsilon)$ 上是一致 Lipschitz a 的, 当且仅当, 对任意 $\epsilon > 0$, 存在一个常数 A , 使得对于 $x \in (a+\epsilon, b-\epsilon)$ 及 $s > 0$, 有下式成立

$$|Wf(s, x)| \leq As^a \quad (10)$$

该定理将小尺度上的 $f(x)$ 小波变换的渐近衰减与局部 Lipschitz 正则联系起来. 该定理可推广到 $a < 0, a > 1$ 的情况; 如果小波 $\varphi(x)$ 具有 n 阶消失矩, 那么定理对于任意非整数 $a (0 < a < n)$ 仍成立. 对于 $a < 0$ 且 $a \in \mathbf{Z}$, 定理也能有效地刻画一致 Lipschitz 指数. 定理给出的是由小波变换对 $f(x)$ 在一个区间上的 Lipschitz 正则刻画, 可以证明, 在一定的条件下, 用小波变换也可估计函数 $f(x)$ 在一点 x_0 的 Lipschitz 正则^[7-12].

由上述讨论可知, 在满足一定条件下, 非严格地讲, 小波变换的模都满足式(10), 这等价于

$$\log |Wf(s, x)| \leq \log(A) + a \log(s) \quad (11)$$

采用二进小波变换, 则有

$$\log_2 |W_{2^j}f(x)| \leq \log_2 A + ja \quad (12)$$

上式给出了小波变换模的对数值随尺度 j 变化的规律. 此规律从小波变换模极大值上表现最为明显. 小波变换的模极大值, 当 $a > 0$ 时, 随尺度 j 的增大而增大; 当 $a < 0$ 时, 则随 j 的增大而减小. 对阶跃情况 ($a=0$), 小波变换的模极大值不随尺度改变. 因此根据小波变换模在随尺度增加 (或减小) 的变化情况就可大致判断信号在某个区间或某点的奇异性及对应 Lipschitz 指数的取值范围.

1.2 设计实现

设 $\theta(x)$ 是一适当光滑函数, 可以作为小波的尺度函数, 它满足

$$\int_{-\infty}^{\infty} \theta(x) dx = 1$$

$$\lim_{|x| \rightarrow -\infty} \theta(x) = 0$$

$\varphi(x)$ 是它的一阶导数, 且 $\varphi(x)$ 满足可允许条件, 所以它可以作为一个母小波.

于是, 在尺度下 2^j , 函数 $f(x) \in L^2(\mathbf{R})$ 的小波变换为

$$W_{2^j}f(x) = f(x) * \varphi_{2^j}(x) = f(x) * \frac{d}{dx} \theta_{2^j}(x)$$

$$= 2^j \frac{d}{dx} [f(x) * \theta_{2^j}(x)] \quad (14)$$

由此可知, $f(x)$ 的小波变换等价于 $f(x)$ 被平滑函数 $\theta(x)$ 平滑后的导数. 因此, 小波变换的模值极大点对应信号 $f(x)$ 的奇异点, 由两相邻尺度所对应的小波变换的模值极大点可求得 Lipschitz 指数

$$a \approx \log_2 \left\{ \frac{|W_{2^j}f(x)|}{|W_{2^{j-1}}f(x)|} \right\} \quad (15)$$

选 $\theta(x)$ 为三次样条函数, 则它的一阶导数为二次样条函数. 一维信号突变点的检测相当于二维情形下的边缘检测. Mallat 论证了 Canny 边缘检测算子等价于寻找小波变换的模的局部极大值. 因此, 用三次样条小波检测突变点具备类似 Canny 算子的准确率高和定位准确的检测效果. 三次样条小波 FIR 滤波器 h_n 与 g_n 数值如表 1 所示.

表 1 三次样条小波滤波器系数

| n | -4 | 3 | -2 | -1 | 0 |
|-------|----------|----------|----------|----------|--------|
| h_n | 0 | 0 | 0.0625 | 0.2500 | 0.3750 |
| g_n | -0.00008 | -0.01643 | -0.10872 | -0.59261 | 0 |
| n | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| h_n | 0.2500 | 0.0625 | 0 | 0 | |
| g_n | 0.59261 | 0.10872 | 0.01643 | 0.00008 | |

由小波变换检测奇异信号的原理可知, $FFD(k)$ 函数在小波变换下有如下的特性: (1) 对突变型镜头边界, 其奇异指数接近 -1 , 随尺度增大, 下降最快, 但由于其初始幅度很大, 因此在大尺度下仍然表现较大的幅度; (2) 对渐变型镜头边界, 其奇异指数大于 0 , 模极大值随尺度增大而增大, 在大尺度下被增强; (3) 对镜头内部的噪声点, 其奇异指数为 $-0.5 - \epsilon$ (ϵ 为大于 0 的小量), 与突变型边界类似, 随着尺度增大, 幅度迅速下降, 由于其初始幅度较小, 因此在大尺度下, 幅度几乎减为 0 , 而且大部分逐渐消失. 于是, 设计如下的算法来检测镜头边界.

检测算法的输入是 $FFD(k)$ 函数, 整个检测过程分为 3 步: 第 1 步对 $FFD(k)$ 函数作二进小波多分辨率分解; 第 2 步在每一个分辨率下跟踪小波变换的局部模极大值, 得到模极大值线并计算奇异指数; 最后, 对镜头边界进行有效性分析, 进一步确认和细化.

2 实验与结果

2.1 FFD 函数的多分辨率分解

对于输入的 $FFD(k)$ 函数作二进小波多分辨率分解. 原始信号近似看作是分辨率 $j=0$ 的信号 $S_{\sigma} f(x)$. 选取三次样条小波滤波器, 高通和低通滤波器, G 和 B 系数按表 1 取值. 分解的尺度数目以使信号模极大值点个数占优为准, 这里分解级数 $J=4$. 图 2 是图 1 中 $M=1$ 的 $FFD(k)$ 函数 4 级小波分解的结果. 通过比较可以看出, 随着级数的增大, 模极大值点越来越小. 对于突变型的镜头边界, 随着级数的增加, 其值迅速减少, 这与冲激函数的奇异特性是一致的; 对于渐变型的镜头边界, 其值随着级数的增大迅速增大或者保持不变, 它的奇异特性类似于斜坡函数或阶跃函数; 对于一般的噪声点, 模极大值也逐渐减小, 大部分自动消失.

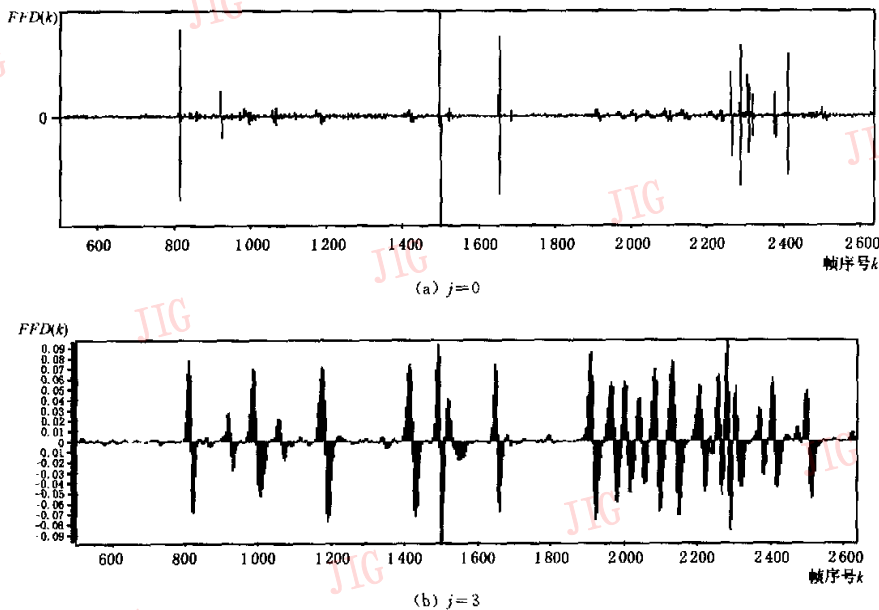


图 2 不同分辨率下 FFD 小波变换

根据小波变换检测信号奇异性的原理, 每一分辨率下小波变换的模极大值点对应于信号的奇异点. 利用当前小波变换模值和其相邻两点的比较就可以检测出每一分辨率下所有的小波变换模极大值. 图 3 是尺度 $j=3$ 时检测出的小波变换模极大值点. 容易看出, 极大值点相对于原始的 $FFD_M(k)$, 分布已经相当稀疏. 但是, 镜头内还存在微弱的噪声点没有消除, 故采

用两个步骤来消除这种影响: 首先利用一个阈值来消除非常微弱的极大值点, 由于此时噪声点极微弱, 因此此时可先取一个相对固定的阈值便可很好地消除噪声点了; 接着再采用一个窗口极大值滤波器来消除那些粘连的极大值点. 经过上述两步后, 模极大值点就基本上由镜头边界组成(如图 4 所示). 对这些模极大值点进行跟踪就可以准确定位镜头边界的位置.

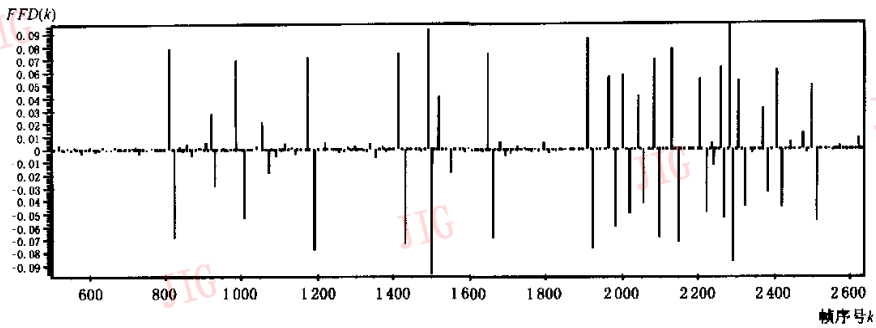


图 3 FFD 函数的小波变换模极大值

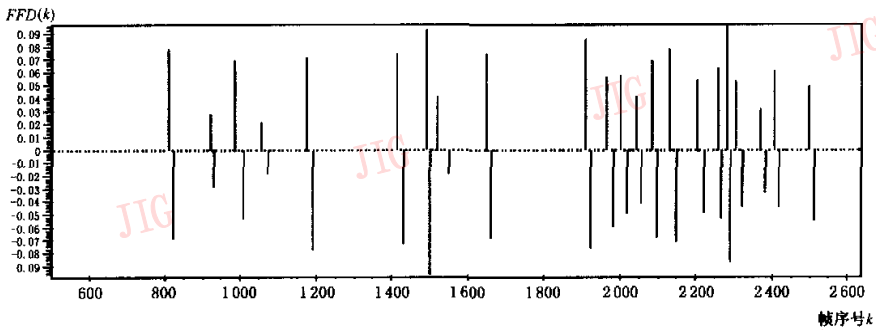


图 4 滤除噪声后的模极大值

跟踪算法采取从高分辨率到低分辨率逐级进行的方式,从最高级开始,对于上一级每一个模极大值点,在低一级尺度当前位置的邻域内搜寻同符号的模极大值点,搜寻路径不能越过异符号的模极大值点,搜寻左右交替进行,以保证最近邻匹配.如果没有搜寻到则匹配失败,返回上一级,重新往下匹配.

实际上小波变换模极大值点的位置总要偏离真实的边界位置,偏移的程度和分解的级数有关,尺度越高,偏移越厉害.因此,跟踪时不同级的邻域宽度应该取不同的值.邻域宽度的选取从上到下分别是 7、5 和 3,可以取得比较好的效果.

2.2 奇异指数的计算

跟踪完成以后,在每一条极大值线上利用式(15)计算奇异指数.每一条极大值线可以得到 3 个指数(每相邻的两个极大值得到一个),用它们的均值作为最后的奇异指数值.由于在最低级小波变换定位最准确,因此在最低级的极大值线位置处标上奇异指数的值,就得到一幅镜头边界及其奇异特性的分布图(图 5),这就是镜头初步的分割结果.从奇异指数可以大概看出边界的类型,对于突变型,奇异指数接近-1,且一般由紧邻的双线组成,表示正负跳变;对于渐变型,奇异指数大于 0,双线的位

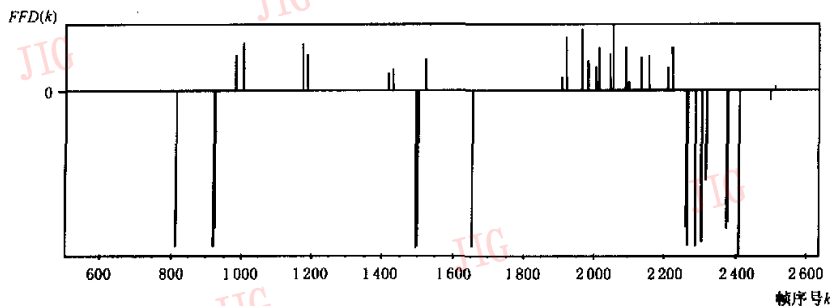


图 5 镜头边界及其奇异特性分布图

大约标志渐变的开始和结束.图5中的每一根线大约表示一次 $FFD(k)$ 的跳变,镜头边界分布情况一目了然.

3 总 结

利用小波变换检测镜头边界的原理及具体算法,力图解决一般镜头边界检测算法阈值选取困难的问题.特别地,基于小波变换的检测算法对渐变型的边界检测具有优良的性能.把镜头边界检测看成是对帧-帧差异度函数 $FFD(k)$ 奇异点的检测,对各类型的镜头边界都可以一致性地检测.因此,基于小波的算法对不同的视频具有很强的鲁棒性,从算法速度上来看,比其他算法略慢一些,但差异不是太大.另外,该算法比较简单,易于实现;阈值的选择比较容易,可以实现自动选取;对于突变和渐变的镜头有较一致的检测效果.因而,基于小波的算法具有明显的优势.

参 考 文 献

- 1 周洞汝,胡宏斌.视频数据库管理系统导论[M].北京:科学出版社,2000:47~68.
- 2 Zhang H J, Kankanalli A, Smoliar S. Automatic partitioning of full-motion video[J]. Multimedia Systems, 1993,1(1):10~28.
- 3 Toller M S, Lewis P H, Nixon M S. Video segmentation using combined cues[J]. Proc. SPIE, 1997,3312:414~425.
- 4 [美]崔楠泰.小波分析导论[M].西安:西安交通大学出版社,1995.
- 5 秦前清,杨宗凯.实用小波分析[M].西安:西安电子科技大学出版社,1994.
- 6 Rioul O, Verreri M. Wavelets and signal processing[J]. IEEE SP Mag., 1991,8(4):14~38.
- 7 Mallat S G, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets [J]. IEEE Trans. Inf. Theory, 1992,38(2):617~643.
- 8 Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation [J]. IEEE Trans. PAMI, 1989, 11(7):674~693.
- 9 Mallat S G. Multifrequency channel decompositions of images and wavelet models [J]. IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, 1989,37(12):2091~2110.
- 10 Mallat S G, Zhong S. Characterization of signals from multiscale edges[J]. IEEE Trans. PAMI. 1992,14(7):710~732.
- 11 Mallat S G. Zero-crossing of wavelet transform [J]. IEEE Trans. Inf. Theory, 1991,37(4):1019~1033.



黄海 1971年生,武汉大学电信学院通信与信息系统硕士研究生.主要研究领域为医学图象处理及基于内容的视频分析.

石义军 1975年生,武汉大学电信学院通信与信息系统硕士研究生.主要研究领域为医学图象处理、基于内容的视频分析及网络视频传输.

王恩贤 1946年生,武汉大学电信学院教授.主要研究领域为图象模式识别、医学图象处理、网络视频传输.