

一种基于时空切片边缘分析的 WIPE 检测算法

史迎春^{1,3}, 周献中², 辛动军¹, 骆文¹, 张峰¹

(1. 南京理工大学自动化系, 江苏南京 210094; 2. 南京大学工程管理学院, 江苏南京 210093; 3. 武汉通信指挥学院仿真中心, 湖北武汉 430010)

摘要: 提出一种基于时空切片边缘分析的 WIPE 检测算法。首先用 Canny 算子和形态学算子提取不同方向时空切片的非水平边缘; 然后用不同方向的 Gabor 滤波器对其进行滤波, 提取边缘方向信息, 并通过定义结构元对不同切片进行边缘切片能量分布计算; 最后将所有能量切片按方向根据一定规则进行合成, 用边界区域能量局部最小的特点, 结合持续时间、色彩变化、运动强度等约束和 Hough 变换进行 WIPE 边界检测。实验表明, 该算法能较准确地检测出 WIPE 的起始帧和结束帧, 且具有较强的鲁棒性。

关键词: 视频检测; 视频结构化; 镜头边界检测; WIPE; 时空切片

Wipe detection algorithm through spatio-temporal slice edge analysis

SHI Ying-chun^{1,3}, ZHOU Xian-zhong², XIN Dong-jun¹, LUO Wen¹, ZHANG Feng¹

(1. Department of Automation, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China; 2. College of Engineer Management, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. Simulation Center, Communication Command Institute of PLA, Wuhan 430010, China. Correspondent: SHI Ying-chun, E-mail: yingchun1004@163.com)

Abstract: WIPE detection algorithm based on spatio-temporal slice edge analysis is proposed, the non horizontal edges of video horizontal, vertical and diagonal spatio-temporal slices are generated by Canny filter and morphologic operator. Then the edge direction information is obtained by a series of different angle Gabor filters and the energies of edge spatio-temporal slices are calculated by defining structure components. After compounding the boundary energy by direction rules, the WIPE boundary is detected by combining time duration, color changes, motion restriction and Hough transform with the lowest energy characteristics of boundary. The test result shows that the algorithm can locate the start frame and the end frame of WIPE correctly and is robust to WIPE type, WIPE duration, video color changing and video motion.

Key words: video detection; video structurization; shot detection; WIPE; spatio-temporal slice

1 引言

WIPE 是从画面的某一或某些部分开始逐渐被下一个镜头的画面代替, 其中淡入、淡出、溶解由于其模式比较单一, 已有多种检测方法。对于 WIPE, 近几年人们已提出了一些算法, 如 Zhang 等^[1]提出用双阈值法检测渐变; Yeo 和 Liu^[2]通过检测延迟的帧间差是否出现“高原”来判断镜头的渐变; Alattar 利用视频帧的统计特性, 检测 WIPE 转换区域的位

置^[3]; 金红等通过对 WIPE 转换期间相邻两帧进行替代画面面积建模进行 WIPE 检测^[4]; 王东辉等则通过对各种 WIPE 建立模式模板库, 并通过模板匹配实现 WIPE 检测^[5]。但是 WIPE 模式非常多, 而且新的转换模式不断出现, 如何建立统一的转换检测算法, 成为目前镜头分段中的难点。文献[6]通过对视频时间切片纹理一致性的分析, 提出了一种通用的 WIPE 检测算法。其基本思想是, 首先对视频流做

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2004317)。

作者简介: 史迎春(1969—), 男, 浙江临安人, 博士生, 从事多媒体信息处理和研究的分析。

水平、垂直和对角方向时空切片;然后对时空切片不同颜色分量用不同方向的 Gabor 滤波器进行滤波,并通过定义结构元对不同切片的不同颜色分量分别进行能量分布计算;最后根据边界区域局部能量比较小的特点,用Hough 变换进行WIPE 边界检测.但在实验中发现,该算法得到的边界区域不够集中,边界区域能量与周边区域能量的差别不是很明显,为最终进行WIPE 边界检测带来了困难.

本文从分析数据、结构元定义、能量计算和定位方法 4 个方面对文献[6]方法进行了改进,提出了一种基于时空切片边缘分析的 WIPE 检测新算法,取得了比较好的效果.

2 基于时空切片边缘分析的 WIPE 检测算法原理

2.1 时空切片边缘方向特征提取

对视频流做水平方向、垂直方向、对角方向时空切片,对于各种 WIPE 模式可以在时空切片中看到明显的边界特征,若能正确提取边界便能精确确定 WIPE 的起始帧和结束帧,如图 1 所示.为此,本文提出用时空切片边缘方向信息进行 WIPE 检测分析.记 $H = [H_r, H_g, H_b, H_L], V = [V_r, V_g, V_b, V_L], D = [D_r, D_g, D_b, D_L]$ 分别为水平、垂直和对角方向 r, g, b 和亮度时空切片.分别对其进行 Canny 边缘提取,再对 r, g 和 b 分量沿 θ 方向进行一阶高斯导数卷积,提取边缘方向信息.以水平切片 H 为例

$$E_{\theta}^r = \bar{G}_{\theta}^r H_r \quad (1)$$

其中: $i \in \{r, g, b\}, \bar{G}_{\theta}^i(x, y) = \bar{G}_r(x', t'), \bar{G}_r(x, t) = \exp\{-\frac{1}{2}(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{t^2}{\sigma_t^2})\} \exp\{2\pi j W x\}$, $x' = x \cos \theta + y \sin \theta, t' = -x \sin \theta + t \cos \theta, \theta = \{0^\circ, -45^\circ, 45^\circ\}$.对亮度边

缘进行 Gabor 滤波,提取方向信息

$$T_{\theta, \alpha, \beta} = \hat{G}_{\theta, \alpha, \beta} H_L \quad (2)$$

其中: $\hat{G}_{\theta, \alpha, \beta}(x, t) = \hat{G}_{\theta, \alpha}(x', t'), \hat{G}_{\theta, \alpha}(x, t) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_t} \exp\{-\frac{1}{2}(\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{t^2}{\sigma_t^2})\} \exp\{2\pi j W x\}$, W 为径向中心频率.如此对每一像素建立一个 12 维的特征向量,以备进一步分析.

2.2 边缘像素能量函数分析

记 $H(i, t), V(i, t), D(i, t)$ 中像素 $x_i = (h_i, v_i, d_i)$ 为边界区域 ξ 的概率为 $p(x_i \in \xi | H, V, D) = p(x_i \in \xi | H_N, V_N, D_N)$.其中 H_N, V_N, D_N 为像素 x_i 的 8 邻域系.假设 H_N, V_N, D_N 相互独立,则有

$$p(x_i \in \xi | H, V, D) = p(h_i \in \xi | H_N) p(v_i \in \xi | V_N) p(d_i \in \xi | D_N),$$

简记为

$$p(x_i \in \xi | H, V, D) = p(h_i) p(v_i) p(d_i). \quad (3)$$

进一步假设 $p(\eta_i), \eta_i \in \{h_i, v_i, d_i\}$ 服从 Gibbs 分布^[7],则有

$$p(\eta_i) = \frac{1}{A} \exp\{-U(\eta_i)\}. \quad (4)$$

其中: A 为归一化常数, $U(\eta_i)$ 为能量函数.将式(3)代入(4),两边取对数有 $\log\{p(x_i \in \xi | H, V, D)\} \propto -\{U(h_i) + U(v_i) + U(d_i)\}$.考虑时刻 t 所有像素 x , 则有 $\sum_{i=1}^N \log\{p(x_i \in \xi | H, V, D)\} \propto -\sum_{i=1}^N \{U(h_i) + U(v_i) + U(d_i)\}$, 简记为

$$L(x \in \xi) \propto -\sum_{i=1}^N \{U(h_i) + U(v_i) + U(d_i)\}, \quad (5)$$

即 x 属于边界区域的概率正比于 t 时刻所有像素能量总和.进一步将能量函数 $U(\eta_i)$ 分为 3 类, $U_r(\eta_i), U_v(\eta_i), U_n(\eta_i)$ 分别表征正斜率边界、垂直边界和负斜率边界,即

$$U_r(\eta_i) = \{U_r^s(\eta_i), U_r^g(\eta_i), U_r^b(\eta_i), U_r^L(\eta_i)\},$$

$$U_v(\eta_i) = \{U_v^r(\eta_i), U_v^g(\eta_i), U_v^b(\eta_i), U_v^L(\eta_i)\},$$

$$U_n(\eta_i) = \{U_n^r(\eta_i), U_n^g(\eta_i), U_n^b(\eta_i), U_n^L(\eta_i)\}. \quad (6)$$

2.3 边缘像素能量函数定义

定义像素 P 的 8 邻域系结构元 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{12}\}$ 来表征边界区域方向结构,如图 2 所示.以 H 切片为例,记 h_i 为 $H_r(i, t)$ 上像素; $\Gamma_c^r(h_i)$ 为 h_i 邻域系结构元 C 能量的 r 分量; $\eta_1 = H_r(i_1, t_1), \eta_2 = H_r(i_2, t_2)$ 为 C 中 h_i 的两个邻点;定义改进后的能量函数分

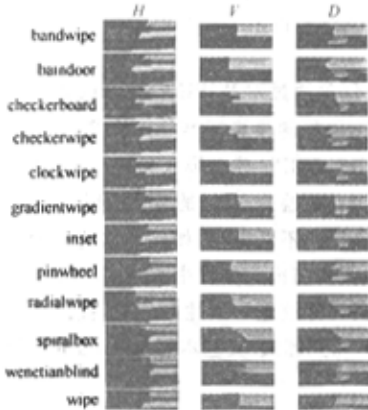


图 1 各种 WIPE 模式的时空印片

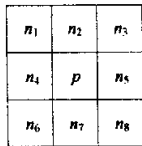
别为(其他分量作类似处理)

$$\begin{aligned}
 U_p(h_i) &= \\
 3\Gamma_c^r(h_i) - [\Gamma_{c_1}^r(h_i) + \Gamma_c^r(h_i)] - \Gamma_{c_2}^r(h_i), \\
 U_v^r(h_i) &= \\
 3\Gamma_{c_1}^r(h_i) - [\Gamma_c^r(h_i) + \Gamma_{c_2}^r(h_i)] - \Gamma_{c_2}^r(h_i), \\
 U_N^r(h_i) &= \\
 3\Gamma_c^r(h_i) - [\Gamma_{c_1}^r(h_i) + \Gamma_{c_2}^r(h_i)] - \Gamma_{c_2}^r(h_i).
 \end{aligned} \tag{7}$$

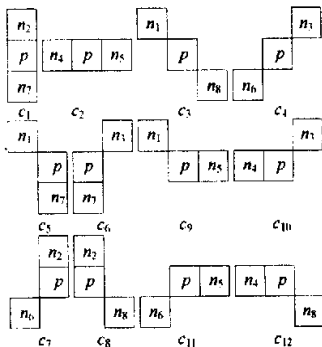
其中

$$\begin{aligned}
 \Gamma_c^r(h_i) &= \min_{c \in \{c_2, c_3, c_8, c_9, c_{12}\}} \Gamma_c^r(h_i), \\
 \Gamma_{c_1}^r(h_i) &= \min_{c \in \{c_4, c_6, c_7, c_{10}, c_{11}\}} \Gamma_c^r(h_i), \\
 \Gamma_{c_j}^r(h_i) &= |E_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i, t) - E_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i_1, t_1)| + \\
 &\quad |E_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i, t) - E_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i_2, t_2)|.
 \end{aligned}$$

if $j \in \{1, 2, \dots\}$, then $\theta = 0^\circ$; if $j \in \{3, 5, 8, 9, 12\}$, then $\theta = -45^\circ$; if $j \in \{4, 6, 7, 10, 11\}$, then $\theta = 45^\circ$.



(a) P 像素 8 邻域系



(b) P 像素 8 邻域系结构元

图 2 P 像素 8 邻域系及其结构元定义

定义 h_i 邻域系结构元 C_j 的能量的 L 分量

$$\begin{aligned}
 \Gamma_{c_j}^L(h_i) &= |T_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i, t) - T_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i_1, t_1)| + \\
 &\quad |T_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i, t) - T_{\sigma, \theta}^{H, \theta}(i_2, t_2)|.
 \end{aligned} \tag{8}$$

其中: if $j \in \{1, 2, \dots\}$, then $\theta = 0^\circ$; if $j \in \{3, 5, 8, 9, 12\}$, then $\theta = -45^\circ$; if $j \in \{4, 6, 7, 10, 11\}$, then $\theta = 45^\circ$. 即结构元能量的计算不再是分方向单独考虑,

而是综合 3 个方向一起考虑. 能量函数的直观意义为: 若 P 像素为边界区域, 则将取得局部最小的能量. 最终定义 H 切片能量函数为

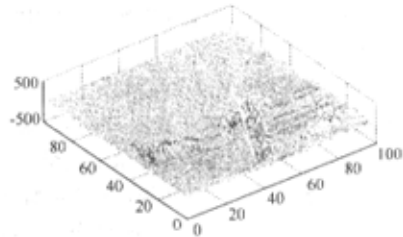
$$\begin{aligned}
 U_P(h_i) &= \min_{j \in \{r, g, b\}} U_P^j(h_i) + U_P^j(h_i), \\
 U_V(h_i) &= \min_{j \in \{r, g, b\}} U_V^j(h_i) + U_V^j(h_i), \\
 U_N(h_i) &= \min_{j \in \{r, g, b\}} U_N^j(h_i) + U_N^j(h_i).
 \end{aligned} \tag{9}$$

2.4 WIPE 边界检测能量函数定义

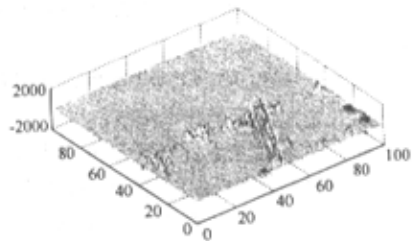
根据式(3), 定义 WIPE 检测能量函数为

$$\begin{aligned}
 L(x \in \xi) &= \\
 &= \min \left\{ \begin{aligned} &\sum_{i=1}^N \{U_{\text{wipe}}(h_i) + U_{\text{wipe}}(v_i) + U_{\text{wipe}}(d_i)\} \\ &\sum_{i=1}^N \{U_v(h_i) + U_{\text{wipe}}(v_i) + U_{\text{wipe}}(d_i)\} \\ &\sum_{i=1}^N \{U_{\text{wipe}}(h_i) + U_v(v_i) + U_{\text{wipe}}(d_i)\} \\ &\sum_{i=1}^N \{U_{\text{wipe}}(h_i) + U_{\text{wipe}}(v_i) + U_v(d_i)\} \end{aligned} \right\}, \\
 U_{\text{wipe}} &= \sqrt{U_P^2 + U_N^2}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

WIPE 边界区域对应于 $L(x \in \xi)$ 的最小能量区域. 本文用 Adobe Premier 6.0 生成 BarnDoor WIPE 视频, 其中 WIPE 范围为 50-80. 对文献[6]算法及本文算法进行了比较, 结果如图 3 和图 4 所示. 图 3 为根据文献[6]算法和本文改进算法对同一 WIPE 实例视频进行处理得到的水平切片 H 的能量分布情况,



(a) 文献[6]算法



(b) 本文算法

图 3 能量分布图

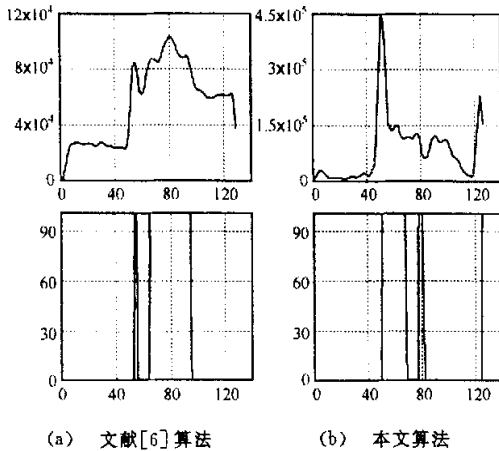


图4 检测结果

文献[6]算法数据动态范围为 $[-351.7, 365.8]$;本文算法数据动态范围为 $[-1523.2, 1984.0]$.图中白色线框框住的区域为WIPE边界区域,可以看出,较文献[6]算法,本文算法得到的边界区域更集中,边界区域能量与周边区域能量的差异更明显.图4(a)和图4(b)分别为文献[6]算法和本文算法得到的WIPE检测能量函数变化曲线图及其根据阈值得到的WIPE边界候选区域,可见改进后的算法突出了边界区域与周边区域的能量差异,能更好地界定WIPE边界范围.

3 WIPE检测算法流程

根据以上分析,具体设计改进的WIPE检测算法流程如下:

Step1: 提取 H, V, D 时空切片;

Step2: 用Canny算子提取 H, V, D 切片边缘;

Step3: 用形态学算子去除水平边缘;

Step4: 提取 H, V, D 边缘切片方向特征;

Step5: 根据 $L(x \in \xi)$ 能量分布选取候选WIPE区域;

Step6: 根据持续时间约束合并或删除候选WIPE区域;

Step7: 计算候选区域两侧颜色直方图差,剔除因颜色变化造成的伪WIPE区域;

Step8: 对候选区域进行Hough变换,统计峰值区域像素数,剔除因运动造成的伪WIPE区域;

Step9: 根据规则综合 H, V, D 时空切片中的候选区域,确定最终WIPE边界.

4 实验及结果

利用上述改进算法对用Adobe Premier6.0生

成的12种WIPE视频片段进行了测试,表1为实验结果.从表1可以看出,对于大多数WIPE,该算法都能取得比较好的效果,检测到率为100%,定位精度也较高,误差一般为1~3帧左右,只有pinwheel, spiralbox和venetianblind三种WIPE在起始帧和结束帧定位上稍差一些.

表1 不同类型WIPE检测结果

WipeType	Actual Range	Detected Range	WipeType	Actual Range	Detected Range
BarnDoors	50-80	50-81	CheckerWipe	50-80	50-81
Wipe	50-80	52-82	CheckerBoard	50-80	57-83
BandWipe	50-80	51-82	ClockWipe	50-80	51-81
GradientWipe	50-80	55-82	PinWheel	50-80	51-66
Inset	50-80	51-82	SpiralBoxes	50-80	62-85
RadialWipe	50-80	50-80	VenetianBlinds	50-80	68-92

另外,作者还利用上述算法对用Adobe Premier6.0生成的不同持续时间的WIPE进行了测试,结果见表2.表2表明,该算法对不同持续时间的WIPE具有较强的适应性.

表2 不同持续时间WIPE检测结果

WipeType	Actual Range	Detected Range	WipeType	Actual Range	Detected Range
BarnDoors1	50-70	51-69	BandWipe1	50-70	51-72
BarnDoors2	50-80	50-82	BandWipe2	50-80	51-83
BarnDoors3	50-90	48-87	BandWipe3	50-90	52-92
BarnDoors4	50-100	50-101	BandWipe4	50-100	50-102
BarnDoors5	50-110	52-108	BandWipe5	50-110	52-113
BarnDoors6	50-120	50-122	BandWipe6	50-120	51-126

5 结 语

本文从4个方面对文献[6]提出的算法进行了改进,提出了一种基于时空切片边缘分析的WIPE检测新算法.对于分析数据,采用时空切片的非水平边缘信息;对于结构元定义,从8个扩展到了12个;对于能量计算,提出了一种改进的方法,即结构元能量的计算不是分方向单独考虑,而是3个方向综合考虑;对于定位方法,加入了持续时间约束、颜色变化约束及运动强度约束.实验表明,较文献[6]算法,本文算法得到的边界区域更集中,边界能量与周边区域能量的差异更明显.对用Adobe Premiere6.0生成的各种WIPE,该算法能较准确地检测出WIPE的起始帧和结束帧,能适应不同类型的WIPE和不同持续时间的WIPE,并且由于考虑了颜色变化约束和运动强度约束,对镜头中存在的运动和色彩变化具有较强的鲁棒性.

(下转第638页)

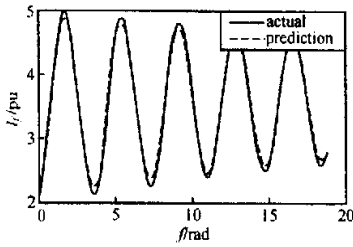


图5 Park模型和SVM模型励磁电流 I_f 输出

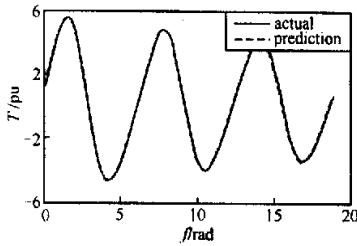


图6 Park模型和SVM模型转矩 T 输出

经训练过的SVM能准确描述这一系统的动态行为。

4 结 论

发电机为一高阶非线性系统,建立该系统较为精确的模型是一项有意义而又有一定难度的工作。本文将支持向量机运用到发电机建模中,初步研究结果表明,用支持向量机建立发电机模型是可行的,可以用它来进行稳态计算、暂态分析。用支持向量机

所建立的发电机模型进行控制还有待进一步深入的研究。

参考文献(References)

- [1] 沈善德,朱守真,等. 用递归神经网络建立同步发电机模型[J]. *清华大学学报*, 1997, 37(s1): 95-98.
(Shen S D, Zhu S Z, et al. Application of recurrent neural networks in power generator modeling[J]. *J of Tsinghua University*, 1997, 37(S1): 95-98.)
- [2] Vapnik V. *Statistical learning theory*[M]. New York: Wiley, 1998.
- [3] Vapnik V. *The nature of statistical learning theory* [M]. New York: Springer-Verlag, 1995.
- [4] Burges C J. A tutorial on support vector machines for pattern regression [J]. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 1998, (2).
- [5] 王锡淮,朱思锋. 基于支持向量机的船舶电力负荷预测[J]. *中国电机工程学报*, 2004, 24(10): 36-39.
(Wang X H, Zhu S F. Ship power load forecasting using support vector machine [J]. *Proc of CSEE*, 2004, 24(10): 36-39.)
- [6] 陈珩. *同步电机运行基本理论与计算方法* [M]. 北京: 水利水电出版社, 1992.
- [7] 王锡淮,李少远,席裕庚. 基于自适应模糊聚类的神经网络软测量建模方法[J]. *控制与决策*, 2004, 19(8): 951-953.
(Wang X H, Li S Y, Xi Y G. Method of neural network soft sensor modeling based on adaptive fuzzy clustering[J]. *Control and Decision*, 2004, 19(8): 951-953.)

(上接第634页)

参考文献(References)

- [1] Zhang H J, Smoliar W S. Automatic partitioning of full-motion video[J]. *Multimedia System*, 1993, 1(1): 10-28.
- [2] Yeo B L, Liu B. Rapid scene analysis on compressed video [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 1995, 5(6): 533-544.
- [3] Alattar A M. Wipe scene change detector for use with video compression algorithm MPEG-7[J]. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 1998, 44(1): 43-51.
- [4] 金红,周源华. 一种基于模型的扫描检测方法[J]. *软件学报*, 2001, 12(3): 468-474.
(Jin H, Zhou Y H. A model-based wipe scene change detection method[J]. *J of Software*, 2001, 12(3): 468-474.)
- [5] 王东辉,朱森良,吴春明. 一种用于自动视频分段的WIPE 转换检测和模式识别方法[J]. *计算机研究与发展*, 2002, 39(2): 247-253.
(Wang D H, Zhu M L, Wu C M. A novel method for wipe transition detection and pattern recognition in automatic video partition[J]. *J of Computer Research and Development*, 2002, 39(2): 247-253.)
- [6] Ngo C W. *Analysis of Spatio-temporal Slices for Video Content Representation*[M]. Hong Kong: University of Science and Technology, 2000.
- [7] Geman S, Geman D. Stochastic relaxation, Gibbs distribution, and Bayesian restoration of image [J]. *IEEE Trans PAMI*, 1984, 6(11): 721-741.