

利用自适应时间片梯度谱对镜头转换进行精细识别

刘铁岩 张旭东 彭应宁

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要 提出了一种利用视频序列的自适应时间片梯度谱对镜头转换类型进行精细识别的算法。在这个算法中, 首先提出了自适应时间片梯度谱的概念, 并且在此基础上, 提出了用于识别镜头转换类型的模板构造和匹配算法, 同时还给出了一种描述语言作为模板的软描述方法, 用以适应不同的图象尺寸和镜头转换的持续时间。实验结果表明, 这种方法在多数情况下具有很好的识别效果, 只是在两个镜头转换非常相近时, 识别效果差些, 另外, 该方法识别速度快, 同时具有很强的鲁棒性和可扩展性, 是解决镜头转换类型精细识别问题的一个有益尝试。

关键词 计算机图象处理(520·6040) 视频分析 模板匹配 镜头转换识别

中图法分类号: TP391 TN948.64 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)08-0883-07

Fine Structure Recognition of Video Shot Transitions Using Adaptive Gradient Slice

LIU Tie-yan, ZHANG Xu-dong, PENG Ying-ning

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In this paper, a series of techniques are developed to address this problem. First, a new concept, adaptive gradient slice (AGS), is defined for the purpose of transforming a 3D video sequence to a 2D representation. Then image projection and morphological operations are adopted to locate shot transitions in the AGS domain. For the detected transitions, soft templates and corresponding template-matching algorithms are designed to recognize their fine structures. Simulation results show that, with the manually constructed templates, the proposed algorithm can recognize most of the transitions in the experiment very precisely in real time. Only for two transitions quite similar to each other, the proposed algorithm will encounter some difficulties to distinguish them. The reason is that the mapping from 3D sequence to 2D image loses some spatial information. However, in conclusion, this paper provides an effective way to deal with the problem of fine structure recognition of video shot transitions.

Keywords Computer image processing, Video analysis, Template matching, Shot transition recognition

0 引言

近年来,随着视频压缩技术的日趋成熟和 Internet 的迅猛发展,人们对数字图书馆、视频点播、视觉信息挖掘等应用的需求不断提高。这就使得基于内容的视频分析技术逐渐成为了一个重要的研究课题。一般的视频分析系统包括镜头边界检测、关键帧和关键物体提取以及视频表示等主要技术环节。其中镜头边界检测是其他各个环节的基础,同时

也是视频分析系统与以往的图象分析系统相比所独有的环节。

镜头边界检测的主要目标是根据各个图象帧之间内容的差异把视频序列分割成为按照时间顺序排列的若干独立镜头,并且确定相邻镜头以何种方式进行转换。在该领域的研究历史上,人们把主要精力放在了镜头边界的定位和粗尺度的镜头转换类型识别上,也就是说人们关心的问题主要有两个:一是确定镜头切换发生的确切位置,起始于哪一帧,终止于哪一帧;二是检测出镜头转换是切变(Cut)、溶解

(Dissolve, 包含淡入、淡出), 还是划变(Wipe). 为此人们提出了不少算法, 如利用直方图对比^[1,2]、运动信息^[3]、轮廓对比^[4]等方法检测切变; 利用双阈值算法^[1]、生成模型法^[5]检测溶解; 利用统计特性^[6]、差分图象投影^[7]、差分图象边缘信息^[8]、时空三维的动态模板匹配^[9]来检测划变等等. 应该说, 目前切变的检测已经取得了相当好的效果, 渐变的检测虽然还是个开放课题, 但是也有了大量的实用化算法.

事实上, 镜头转换的类型是十分丰富的, 图1示出了典型的镜头转换类型树.

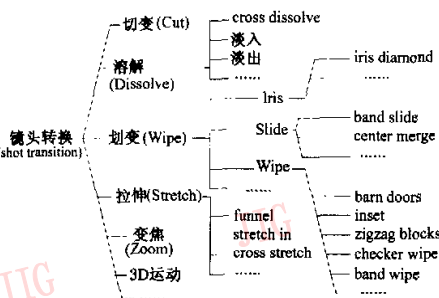


图1 典型的镜头转换类型树

在某些应用场合下, 只知道一阶的镜头转换类型还是不够的, 人们关心的可能是更高阶的信息, 比如某个镜头转换属于“划变”或“拉伸”之下的哪种子类型. 这主要是由于复杂的镜头转换子类型多是作者在视频编辑的阶段后期加入的, 选用这种而不是那种子类型, 表达了作者的某种创作意图, 反映了高层的语义信息. 所以, 如果能够比较详细地识别出镜头转换的子类型, 对于更加充分地了解视频内容是十分有益的.

与镜头边界定位和粗略识别相比, 这种精细尺度的识别工作还很不成熟, 还很少有这方面的尝试, 但这个研究方向还是很重要的, 因为镜头转换类型在视频分析的体系结构中占据非常关键的位置. 比如隐马尔可夫模型(HMM)是人们进行视频序列辨识的一个常用的数学工具, 在与此相关的工作中, 很多学者把镜头聚类结果和镜头转换类型同时作为HMM的状态, 而有些则把镜头和镜头转换类型都作为HMM的输出量去训练HMM^[10,11]. 由此可见, 镜头转换类型在视频分析过程中的作用, 并且也很容易理解, 检测到的镜头转换子类型越丰富, HMM的训练和识别结果也将越精确.

正是基于上述分析, 把研究重点放在了镜头转换的精细识别问题上, 提出了自适应时间片梯度谱

的概念, 并且给出了人工和自动生成模板的方法以及模板的描述语言. 在此基础上, 用动态模板匹配的方式进行镜头转换类型的识别. 考虑到对于切变、淡入淡出以及溶解等简单的转换类型, 定位和识别通常可以同时解决, 因此, 焦点就放在了一些更加复杂的转换子类型上.

1 镜头转换的自适应时间片梯度谱

视频序列的时间片表示, 是通过把原本三维(x, y 和 t 3个分量)的视频序列降到二维空间得到的, 其具体做法是: 设法用直线段表示图象, 并把这些直线段沿着时间轴依次排开. 这种概念首先由Ngo等正式提出^[12]. 他们在压缩域里利用部分解码得到DC图象, 然后对DC图象正中(可以是水平、竖直和对角3个方向)的3条扫描线进行高斯加权平均, 从而生成图象的一种直线段表示. 通过提取时间片, 他们成功地设计了镜头边界检测算法、关键帧提取算法以及一个比较完善的检索系统. 但是需要注意的是, 他们在提取时间片的时候丢失了太多的空间信息, 并且固定的时间片高度可能为镜头边界检测造成麻烦; 在镜头转换持续时间很短时, 时间片中标志镜头转换的高亮线斜率过高, 不易通过Hough变换提取; 而当镜头转换持续时间很长时, 它又很难和镜头内因运动产生的高亮线相互区分.

为了较好地解决上面提到的问题, 提出一种生成时间片的新方法, 首先定义以下的表达方式: $s^z(t)$ 表示 z 方向上来表征整幅图象 $F(t)$ 的直线段. $s^z(w, t)$ 是这条线段上的第 w 个像素点, 把表征图象的直线段在时间轴上顺序排列开来, 就得到了视频序列的时间片表示 $S^z = \bigcup_t s^z(t)$. 这里, 总共用到了水平方向 ($z=H$) 和竖直方向 ($z=V$) 两个方向的时间片, 自适应时间片梯度谱的具体生成步骤如下:

(1) 对于每幅图象, 在提取轴向上(水平或者竖直)作一个覆盖所有像素点的真正意义上的高斯窗加权平均, 以得到表征 $F(t)$ 的直线段 $s^z(t)$. 在水平方向上, $s^H(y, t)$ 的定义为

$$s^H(y, t) = \sum_{x=0}^{N_H-1} \alpha(x, t) \cdot F(x, y, t) \quad (1)$$

$$y = 0, \dots, N_V - 1$$

其中

$$\alpha(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(t)}} \exp\left\{-\left(x - \frac{N_H}{2}\right)^2 / 2\sigma(t)^2\right\}$$

是高斯窗的熵系数, N_H 表示图象的高度. 同理也可以定义竖直方向的 $s'(x, t)$. 注意到这里高斯窗的方差 $\sigma(t)$ 不是固定值, 而是一个根据相邻帧差自适应调整的动态值. 镜头内的高斯窗较宽, 相应的时间片会比较平滑, 而在镜头边界附近高斯窗较窄, 时间片就会比较锐化, 这样的处理突出了镜头转换部分, 对后续的认识过程有利.

(2) 对得到的时间片做梯度运算. 所使用的梯度算子不是全方向的, 而是沿着时间片提取轴向的; 再把得到的结果二值化, 并做一次中值滤波和一次形态学的加粗运算. 这个中间结果记为 G^* .

(3) 为了识别的方便, 需要从 G^* 中把表征镜头转换的部分提取出来. 这个任务可以通过把 G^* 向时间轴投影来实现. 事实上, 经过自适应加权和梯度运算, G^* 中的高亮点主要集中在镜头转换的时间间隔里, 而在镜头内部基本上没有高亮点. 因此可以通过判断时间片在时间轴上投影的强度来找出大致的镜头边界以及镜头转换的时长 (即转换的持续时间), 从而把镜头转换的图谱从 G^* 中提取出来.

(4) 在对某个特定的镜头转换样本进行识别时, 还需要根据上面提取的镜头转换时长来自适应调整镜头转换图谱的高度: 设某个样本的镜头转换时长为 M/fr (fr 为帧率), 就把镜头转换图谱的高度插值或者抽样到 M 个像素, 这样能够保证表征镜头转换的高亮线基本具有 $+1$ 或者 -1 的斜率, 易于检测.

自适应时间片梯度谱 (AGS*) 是一个能表征镜头转换, 且易于识别的图谱.

2 基于模板匹配的镜头转换识别算法

2.1 模板的构造

实际应用中, 视频镜头转换的种类是有限的, 比如专业视频编辑软件 Adobe Premiere 6.0 一共支持 74 种转换, 而其中最常用的平面几何转换也就是二、三十种. 由于针对每种子类型的镜头转换, 其模板构造是一次性的, 在有限模板的情况下, 这种构造模板的工作量是可以接受的.

2.1.1 人工模板的构造

用人工来进行模板构造的优势在于可以利用人的智能, 这样在模板提取的时候, 只需对某一子类型镜头转换的普通有噪样本进行分析就能得到它的模板. 比如 band wipe 子类型的某个镜头转换样本经过分析后, 得到如图 2 所示的时间片梯度谱.



图 2 band wipe 的时间片梯度谱样本

据此, 可以很容易地构造出如图 3(a) 所示的水平模板. 对于竖直模板, 这个图谱不是简单的一个随机场, 它在靠近中心的局部区域沿竖直方向分布着比较高的能量, 因此竖直模板可以用一组竖直栅栏与一个随机场的叠加来近似, 以提高后面模板匹配时的匹配度, 相应的模板如图 3(b) 所示.



图 3 人工构造的 band wipe 模板

如果把这个模板以位图的方式存储, 会遇到两个问题: 一是每个模板要占较大的存储空间; 二是固定的模板不能适应同类镜头转换具有不同时长的情况. 为此, 定义了一种语言去描述提取的模板. 在实验的过程中发现, 几乎所有的镜头平面几何转换, 其水平和竖直方向的梯度谱都可以分解为一系列直线段的组合, 或者额外再叠加一个随机场. 基于此, 定义了如表 1 所示的模板描述语言, 其中主要有 LineByEnds 和 RandomField 两个函数, 利用它们人们可以方便地根据新的镜头转换子类型定义相应的模板.

表 1 模板描述语言

定义	类型	说明
-WIDTH, -HEIGHT	宏	生成模板的具体尺寸
LineByEnds ($x_1, y_1, x_2, y_2, width$);	函数	画一条以 $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 为端点的线段, 并在此线段两侧拓展出宽度为 $width$ 的一族线段.
RandomField ($\mu, \sigma, Type$)	函数	生成一个随机场. 当 $Type = GAUSS$ 时, 此随机场服从 $N(\mu, \sigma)$ 分布, 否则就是一个具有均值 μ 的均匀分布随机场.
for	控制	循环控制, 具有类 C 语言的语法结构

band wipe 模板的描述语句如表 2 所示.

下面来看一下这种描述性软模板的实例化过程.

表2 band wipe 模板描述语句

水平模板	竖直模板
LineByEnds(0,0,...,WIDTH,-HEIGHT,4);	for($g = -WIDTH/4$; $r < -WIDTH * 3/4; i += 2$)
LineByEnds(-WIDTH,0,0, -HEIGHT,4);	LineByEnds($g, 0, r,$ HEIGHT,1);
	RandomField(-WIDTH/2,16, GAUSS);

如第1节所述,在提取镜头转换的时间片梯度谱时,可得到实际镜头转换的时长,这一信息可以用来确定需要即时生成的模板尺寸,也就是参数 WIDTH 和 HEIGHT 的具体取值.假设需要把 band wipe 模板与一个尺寸为 100×100 的时间片梯度谱样本进行比较,这时模板生成程序会读取存储好的模板描述语句,并且把宏 WIDTH 和 HEIGHT 分别替换为 100 和 100,再遵照替换后的模板描述语句即时生成所需的模板.事实上,实际操作表明,这些语句可以相当精确而完整地重建出图3中的模板.

2.1.2 自动模板的构造

首先选取反差比较大、镜头内运动又较少的两个镜头,利用视频编辑软件生成某种转换子类型的一个样本,然后按照前面描述的方法提取它的时间片梯度谱.之后,为了自动生成一个符合上面描述语法的模板表示,需要两个关键模块的帮助:一个是检测直线的模块,它对时间片梯度谱做 Hough 变换,并把 Hough 域中能量超过一定阈值的点筛选出来,每个点选定后就清空它周围 10×10 的邻域, Hough 域中每个这样的点对应于原始域内一条直线,如果没有任何点满足阈值条件,就生成一个随机场模板;另一个是确定线段的边界的模块,从第1个模块检测到的直线与梯度谱边界的一个交点出发,向另外一个交点进行搜索,直到找到一个 3×3 邻域里高亮点比例超过 30% 的点为止,标记这个点为一条线段的起点,然后继续搜索,如果搜索到的点仍然满足上述的邻域条件,就继续向下搜索,否则标记它为这条线段的终点,并且依照模板描述语言的语法输出一条线段的描述语句,这个过程持续到第1个模块中检测到的所有直线都被处理完为止.

2.2 模板匹配准则

假设待识别镜头转换样本的时间片梯度谱为 AGS^* ,而即时生成的第 n 个模板为 $Template_n^*$,则二者之间的匹配度定义为

$$match_n^* = \frac{|Template_n^* \& AGS^*|^2}{|AGS^*| |Template_n^*|}, n \in 0, 1, \dots, N_T \quad (2)$$

其中, $|\cdot|$ 表示高亮点的数目,而

($Template_n^* \& AGS^*$) 是梯度谱和模板的逻辑与,其高亮点数目表征了二者的重叠程度, N_T 为模板的数目.由于噪声的存在,镜头转换梯度谱不会为空,而本文定义的模板在没有明显线条的情况下至少是一个随机场,也不会为空,所以式(2)几乎总是有意义的.

综合考虑竖直和水平两个方向的匹配结果,得到如下具体识别方法:先针对竖直方向梯度谱,排除那些 $match_n^V < T$ 的模板(T 是拒识阈值,在后面的实验中, T 的取值为 0.1);在剩余的模板中,再利用水平方向梯度谱,排除 $match_n^H < T$ 的模板.也就是说,只要有一个方向的梯度谱与模板严重失配,就不会把样本归入第 n 种转换子类型.对两次排除后仍然幸存的模板,把竖直方向和水平方向匹配结果相加,作为总的衡量准则,其最大值对应的就是最终识别结果,反之,如果没有幸存的模板,就声明系统对该样本拒识.这个过程也可以用下式来表示

$$Match = \arg \max_n \{ match_n^H + match_n^V \mid match_n^H > T \text{ 且 } match_n^V > T \} \quad (3)$$

3 实验结果

通过设计一系列的实验来验证前面提出的镜头转换识别算法.为此,构造了一个由 224 个视频序列组成的镜头转换样本集,每个序列包含一个镜头转换子类型,总共涵盖了 14 种子类型,每种子类型有 16 个样本(各个样本具有不同的长度和镜头转换时长).这些视频序列以 MPEG-1 视频流的格式存储,可以从 <ftp://msplab.ee.tsinghua.edu.cn/> 下载.实验条件如下:DELL 微机(主频为 1.6GHz 的奔腾 IV CPU, 256MB 的 DDR 内存)以及 Windows XP 的操作系统.图4示出了正在进行视频镜头转换类型识别的仿真程序界面.

为了能够反映文中模板匹配算法的最优性能,在实验中只使用了人工构造模板的方式对这些镜头转换样本进行识别.实验结果如表3所示,在表格中,两个评价准则的定义为

$$\begin{aligned} \text{召回率} &= \text{正确识别数} / (\text{正确识别数} + \text{漏识数}) \\ \text{精确率} &= \text{正确识别数} / (\text{正确识别数} + \text{虚警数}) \end{aligned} \quad (4)$$

其中,漏识数指的是含有某子类型却被识别成为其他子类型或被拒识的序列数目,虚警数指的是不含有某个子类型却被识别成含有该子类型的序列数目.



图 4 视频镜头转换识别程序工作界面

表 3 镜头转换的识别结果

镜头转换子类型	垂直模板	水平模板	正确识别数	漏识数	虚警数	召回率(%)	精确率(%)
band slide	✗	■	16	0	2	100	33.9
band wipe	✗	■	16	0	0	100	100
barn doors	<	■	16	1	1	93.8	93.8
center merge	▶	■	16	0	0	100	100
funnel	▲	■	16	0	1	100	94.1
insect	/	■	16	0	0	100	100
iris diamond	<	<	16	0	1	100	94.1
push	■	■	10	6	0	62.5	100
Slide	▲	■	16	0	3	100	84.2
sliding bands	■	■	16	0	0	100	100
split	<	■	11	5	0	68.2	100
Wipe	/	■	16	0	0	100	100
zigzag blocks	M	■	16	0	0	100	100
Zoom	<	▲	15	1	0	93.8	100

表 4 中列出了历史上主要的镜头边界检测算法的识别范畴。事实上,目前在主要的学术期刊和会议上还没有明确涉及视频镜头转换类型精细识别的论文,因此这里无法开展针对性的对比实验。不过,从上面的结果已经可以看出,对实验中绝大多数转换子类型而言,本文的算法已经具有相当高的识别性能,而且实验结果表明,识别的速度很快,基本可以实时处理测试序列。但当两个转换子类型的模板具

有较大相似性的时候,识别的效果就差一些,比如 push 与 slide, Split 与 barn doors 等。为了进一步研

表 4 不同镜头边界检测算法的识别范畴

算法	切变	溶解	划变	其他子类型
文献[2],[3]	✓	✗	✗	✗
文献[1]	✓	✓	✗	✗
文献[6]~[9]	✗	✗	✓	✗
文献[4],[5]	✓	✓	✓	✗

究这种情况下算法的性能,针对 Split 子类型,进行了如下实验来考察其识别性能是否对模板的构造具有敏感性。

前面提到,模板是由人工按照多个有噪样本总结出来的,模板中究竟应该有几条直线段是由转换模式的共性决定的;相反,线宽和线的完整性则与噪声和镜头运动息息相关,如果要判断算法设计是否鲁棒,就应该考虑线宽对于算法性能的影响。在前面的实验中,Silit 水平模板的描述语句如表 5 所示。

表 5 Split 的水平模板描述语句

Split 的水平模板
LineByEnds(0, -HEIGHT/2, -WIDTH, 0, 8);
LineByEnds(0, -HEIGHT/2, -WIDTH, -HEIGHT, 8);
LineByEnds(0, -HEIGHT/4, -WIDTH/2, 0, 1);
LineByEnds(0, -HEIGHT * 3/4, -WIDTH/2, -HEIGHT, 1);
LineByEnds(0, 0, 0, 0, 8);
LineByEnds(0, -HEIGHT, 0, -HEIGHT, 8);

从表 5 中可见,这个模板主要由 3 组对称的线段组成,记它们的线宽分别为: W_1, W_2 和 W_3 (在表 5 中它们的取值为 8, 1, 8)。通过调整这 3 个参数,得到如图 5 所示的实验结果。

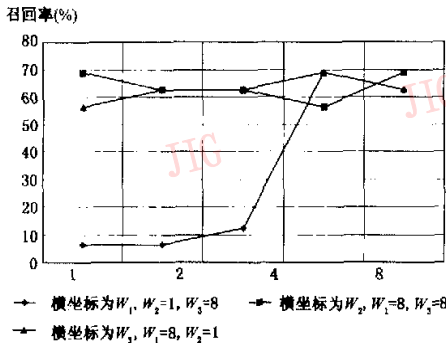


图 5 不同参数 (W_1, W_2, W_3) 对 Split 识别结果的影响

从图 5 中可以看出, W_1 是最敏感的参数,但是即使这样,在 $W_1 \geq 8$ 的时候,结果也趋于稳定,这说明提出的算法具有相当的鲁棒性,对模板的具体设计不很敏感。在这种情况下,识别率不理想主要来源于时间片梯度谱这个特征本身的缺陷。为了进一步提高识别性能,可以考虑使用更多方向上的时间片梯度谱,或者构造更优的特征。

总的说来,使用人工生成模板的方式,文中提出的算法可以相当准确地识别出绝大多数的镜头转换模式。这就在一定程度上解决了镜头转换方式精细

识别的问题。

4 结论

在利用视频序列时间片梯度谱进行视频镜头转换子类型识别的算法中,首先提出了自适应时间片梯度谱的概念,并在此基础上设计了一种基于描述语言的软模板构造和匹配的算法。实验结果表明,这种算法具有很好的识别效果,同时具有很好的鲁棒性和可扩展性,为解决镜头转换精细识别问题提供了一个有效的手段。为了进一步利用自适应时间片梯度谱进行视频分析,我们正在研究和实现基于神经网络的镜头转换精细识别算法,在这个新的研究课题中,关键的问题将是如何选择合适的网络结构和能够表征自适应时间片梯度谱的特征。

致谢:本论文工作得到清华大学博士生科研创新基金的鼓励性资助,香港理工大学的卢国栋教授在本题研究过程中,与作者进行了有益的讨论,特此表示感谢。

参考文献

- Zhang H J, Kankanhalli A, Smoliar S W. Automatic partitioning of full-motion video[J]. Multimedia Systems, 1993, 1(1):10~28.
- Sethi I K, Patel N. A statistical approach to scene change detection[A]. In: Proceedings of SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases III [C], San Jose, CA, USA, 1995, 2420:329~338.
- Shahraray B. Scene change detection and content-based sampling of video sequences[A]. In: Proceedings of IS&T SPIE Digital Video Compression Algorithms and Technologies [C], San Jose, CA, USA, 1995, 2419:2~13.
- Zabih R, Miller J and Mai K. A feature-based algorithms for detecting and classifying scene breaks[A]. In: Proceedings of Fourth ACM International Conference on Multimedia [C], San Francisco, California, USA: ACM Press, 1995:189~200.
- Hampapur A, Jain R, Weymouth T. Production model based digital video segmentation [J]. Multimedia Tools and Applications, 1995, 1(1):9~46.
- Adnan M. Alattar. Wipe scene change detector for use with video compression algorithms and MPEG-7 [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44(1):43~51.
- Wu M, Wolf W, Liu B. An algorithm for wipe detection[A]. In: Proceedings of the IEEE 1998 International Conference on Image Processing [C], Chicago, Illinois, USA: IEEE Press, 1998:893~897.
- Fernando W A C, Canagarajah C N, Bull D R. Wipe scene

- change detection in video sequences[A]. In: Proceedings of the IEEE 1999 International Conference on Image Processing[C], Kobe, Japan, 1999:294~298.
- 9 王东辉,朱森良. 基于模式模板的 MPEG 压缩视频序列的划变转换检测[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(5):477~481.
- 10 Wolf W. Hidden markov model parsing of video programs[A]. In: Proceedings of the IEEE 1997 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing [C], Munich, Germany, 1997, 4:2609~2611.
- 11 Boreczky J S, Wilcox L D. A hidden markov model framework for video segmentation using audio and image features[A]. In: Proceedings of the IEEE 1998 International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C], Seattle, WA, USA, 1998, 6:3741~3744.
- 12 Ngo C W, Pong T C, Chin R T. Detection of gradual transitions through temporal slice analysis [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems For Video Technology, 2001, 11(8):941~953.



刘铁岩 1976 年生, 1998 和 2000 年先后获得清华大学电子工程系工学学士和硕士学位, 现为清华大学电子工程系博士研究生. 主要研究兴趣为视频编码、视频监控、网络视频传输、视频分析与检索等. 发表论文 10 余篇.



张旭东 1962 年生, 副教授, 分别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. 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. 发表论文 40 余篇.



彭应宁 1939 年生, 教授, 博士生导师, 1962 年 1965 年分别获清华大学无线电系学士和硕士学位. 目前的主要研究方向包括谱估计、自适应滤波、阵列信号处理、雷达信号处理、微光图象信号处理等. 发表论文 100 余篇, 曾获国家专利 1 项.

《计算机仿真中的 HLA 技术》

《计算机仿真中的 HLA 技术》原名《Creating Computer Simulation Systems—An Introduction to the High Level Architecture》, 由北京华力创通科技有限公司付正军博士(一、二、三、四、八章)和王永红(五、六、七章)翻译, 戴绍强审核. HLA(High Level Architecture 高层体系结构)是用于实现分布式仿真的国际标准体系结构, 它被美国国防部指定用于军方建模和仿真的标准, 现今也正被许多民用仿真项目所采用.

本书作为 HLA 技术权威书刊, 适用于希望构建复杂仿真系统的系统工程师、大型仿真系统中的子系统或子模型的开发人员, 以及决定是否采用 HLA 技术的项目管理人员和投资决策人员. 本书也可以作为大院校自动控制专业、计算机专业学生学习分布式计算机仿真技术 HLA 的最新最好的教材. 它将会使您受益匪浅, 书中还为您提供了一些 HLA 的练习, 方便您的编程实践.

本书的基本内容包含了 HLA 的指南材料和 HLA 练习, 主要目的是指导您在多数情况下如何使用 HLA, 本书还附有光盘, 光盘包含了 HLA 规范、软件、安装指南和编程注意事项等.

《计算机仿真中的 HLA 技术》现已由国防工业出版社正式出版发行, 售价 39.00 元, 每本邮费 10 元, 北京华力创通科技有限公司可办理邮购, 邮购咨询电话: 010-82803303-3348.