

# 一种移动设备视频全景并行生成技术\*

韩 龙, 郭 立

(中国科学技术大学 电子科学与技术系, 合肥 230027)

**摘要:** 通过移动摄像机合成视频全景图, 由于视频中存在时间冗余以及现有合成技术对大角度旋转存在失配, 提出一种鲁棒性较好的视频全景并行合成方法。该方法首先对选取的关键帧采用并行线程提取可重复性特征, 并利用特征估计透视运动模型, 从而对相邻关键帧进行全局配准; 然后对重叠区域进行双线性融合, 以减少视差对重叠场景的影响, 同时并行优化提高了视频全景的合成速度。不同条件下移动合成实验表明, 在大角度移动旋转以及视差等情况下仍能较好地合成视图。

**关键词:** 特征提取; 视频全景; 全局配准; 场景镶嵌; 并行优化

**中图分类号:** TP301      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2010)03-1167-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.03.101

## Parallel generation for video panorama in mobile environment

HAN Long, GUO Li

(Dept. of Electronic Science & Technology, University of Science & Technology of China, Hefei 230027, China)

**Abstract:** Video panorama was generated by moving camera. Because of the temporal redundancy in video and misregistration in the large angle rotation, many existing algorithms perform poorly. To solve these challenging situation, this paper proposed an parallel synthesis approach to generating panorama which used texture feature to select key-frames. This method first extracted repeatable features from the selected key-frames using parallel threads, and then estimated the perspective motion model to align the adjacent key-frames by features. Employed bilinear blending to reduce the parallax effect in the overlapped region. Meanwhile, parallel threads programming improved the synthesis of speed. The experimental results show that the proposed method can effectively synthesize panorama with misregistration and parallax.

**Key words:** feature extraction; video panorama; global registration; scene mosaic; parallel optimization

视频全景合成技术一直是图像处理、计算机视觉和计算机图形学的活跃研究领域。在图像和视频处理中, 它能够提供更广阔的视野。目前被广泛应用在视频会议、航空拍摄、军事监测以及虚拟视点绘制技术等领域。从原理上可将其分为两类: 一类是直接利用特殊光学设备来采集全景图像; 另一类是由多个普通镜头采集多视点的图像, 然后通过算法合成全景。前者使用的设备比较昂贵, 而后者必须使用多个普通镜头设备采集, 它们之间的位置也有一定的约束。本文只采用一个普通镜头, 通过移动采集视频序列并自动合成全景视图, 因此具有较大的应用价值。

目前, 全景合成技术日趋完善, 对相邻视图间只有简单平移的全景合成研究比较成熟。如在条带全景图<sup>[1]</sup>中, 所有视频序列是水平对齐的。由于视差的存在, 许多算法会产生鬼影。国内外学者提出了一些消除鬼影的算法, 如多视投影法<sup>[2]</sup>和平面扫描法<sup>[3]</sup>等, 但这些方法运算量比较大, 或者需要人工干预。本文提出一种鲁棒性较好的自动并行合成视频全景技术。该方法通过随机移动摄像头采集视频序列, 由于视频序列间冗余的存在, 本文采用特征纹理选取关键帧; 然后利用并行线程调度, 对关键帧提取可重复性特征, 并对相邻视点进行全局配准。由于采用了并行线程调度, 合成全景图的速度有明显提高。

## 1 移动设备视频全景生成算法

将移动摄像机采集的视频序列作为输入, 采集时摄像机可随意缓慢移动, 没有特殊的约束限制, 而且也不需要知道摄像机的参数。移动设备视频全景合成主要由视频序列关键帧选取、提取关键帧的可重复性特征并配准、融合视频序列关键帧组成。为了提高生成全景图的鲁棒性, 本文利用 SIFT 算法来提取可重复性特征, 同时采用并行线程调度来优化合成的速度。

### 1.1 视频序列关键帧的选取

对于视频序列, 关键帧选取的方法包括特征跟踪、位移矢量等。考虑到视频序列之间纹理结构的相似性, 本文提出一种基于纹理特征相似性度量来选取关键帧。灰度共生矩阵描述了纹理特征在空间上的位置分布特性, 同时也反映了图像亮度变化的统计特性。

通过实验统计结果表明, 对于纹理特征的多个统计量, 笔者只采用二阶矩、熵、对比度和局部平稳性这四个纹理特征来选取关键帧。由这四个统计量特征构造的纹理特征向量足以估计相邻视频帧间的冗余度, 其特征纹理向量定义如下:

$$V = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4] \quad (1)$$

其中:  $f_1 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} [P_g(i, j)]^2$  为二阶矩, 它反映了图像灰度分布

收稿日期: 2009-06-18; 修回日期: 2009-07-21      基金项目: 国家教育部—英特尔信息技术专项科研基金资助项目(MOE-INTEL-08-08)

作者简介: 韩龙(1985-), 男, 内蒙古巴彦淖尔盟人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、计算机视觉(dragon30@mail.ustc.edu.cn);

郭立(1946-), 男, 教授, 博导, 主要研究方向为多媒体技术、图形图像处理、片上系统设计。

均匀性;  $f_2 = -\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \{P_\delta(i, j) \log[P_\delta(i, j)]\}$  为熵, 用来描述图像所具有的信息量, 代表了整个图像区域内灰度变化的复杂度;  $f_3 = \sum_{n=0}^{L-1} n^2 \{ \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} P_\delta(i, j) \}$ ,  $|i-j|=n$  为对比度, 可以理解

为纹理的清晰程度;  $f_4 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \frac{1}{1+(i-j)^2} P_\delta(i, j)$  为局部平稳性, 该值描述了图像的局部纹理特征的平稳程度, 而  $P_\delta(i, j)$  为灰度共生矩阵。对视频序列计算纹理特征向量  $V_i (i=1, 2, \dots, N)$ ,  $N$  为视频序列总数。通过比较视频序列纹理特征向量的相似度来选取关键帧, 其表达式如下:

$$d(i, j) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=2}^N |V_i - V_j| \geq T \quad (2)$$

其中:  $i, j (i \neq j)$  为视频序列号;  $T$  是相似性度量的阈值。当  $d(i, j) \geq T$  时, 选取当前帧为关键帧, 重复上述过程直到处理完所有视频序列, 阈值的选取根据不同的场景而定。

### 1.2 关键帧的特征提取和配准

在移动摄像机拍摄中, 当相邻关键帧的特征点得到后, 首先用平面透视运动模型<sup>[4]</sup>来估计关键帧间的几何关系。该模型使用透视矩阵将关键帧视图投影到同一平面上, 则有

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H_{i,j} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中:  $(x, y, 1)^T$  和  $(x', y', 1)^T$  分别为相邻两关键帧视图的齐次坐标。为了估计矩阵  $H_{i,j}$  中的八个参数, 需要四对匹配点, 从相邻视点的粗匹配后的特征点中随机抽取四对特征点对  $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$  和  $\{(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), (x'_3, y'_3), (x'_4, y'_4)\}$ , 如下式:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_1 x_1 & -x'_1 y_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -y'_1 x_1 & -y'_1 y_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_2 x_2 & -x'_2 y_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -y'_2 x_2 & -y'_2 y_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_3 x_3 & -x'_3 y_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -y'_3 x_3 & -y'_3 y_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x'_4 x_4 & -x'_4 y_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -y'_4 x_4 & -y'_4 y_4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h_0 \\ h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

由于摄像机镜头的畸变、视差和噪声等因素的影响, 本文采用 SIFT 算法<sup>[5,6]</sup>对关键帧提取特征点及初匹配。该算法得到的特征点具有尺度不变性, 能够适应存在视角变化较大和视差等视频序列, 有效地克服了输入序列中的噪声干扰。

首先对输入视频关键帧  $I(x, y)$  进行高斯滤波, 则有

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \times I(x, y) \quad (5)$$

其中:  $G(x, y, \sigma) = (1/(2\pi\sigma^2)) e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)}$ 。对不同尺度的高斯核差分构成高斯差分空间 (difference-of-Gaussian, DoG) 为

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (6)$$

其次, 将 DoG 空间中 26 个邻域 (上下尺度各 9 个邻域, 本尺度 8 个邻域) 的极值点作为候选点, 并在候选点处泰勒展开, 得到

$$D(v) = D + (\partial D^T / \partial v) v + (1/2) v^T (\partial^2 D / \partial v^2) v \quad (7)$$

其中:  $v = (x, y, \sigma)^T$ 。由上式解得关键点亚像素及亚尺度的精确坐标为  $\hat{v} = (\partial^2 D^{-1} / \partial v^2) \times (\partial D^T / \partial v)$ , 并对该处的 DoG 函数  $D(\hat{v})$  进行阈值限定, 以消除对比度较低的不稳健点。

再次, 构造关键点周围高斯差分图像的 Hessian 矩阵  $M_{Hes}$ , 并利用该矩阵的迹和行列式近似估计该处的曲率比, 以消除过强的边缘响应, 其公式如下

$$M_{Hes} = \begin{pmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{pmatrix}, \frac{\text{Tr}(M_{Hes})}{\text{Det}(M_{Hes})} < \frac{(1+r)^2}{r} \quad (8)$$

其中:  $\text{Tr}(M_{Hes})$  和  $\text{Det}(M_{Hes})$  分别为 Hessian 矩阵的迹和行列式;  $r$  为与矩阵特征值相关的阈值, 本文取  $r$  为 10。

为了使特征点具有旋转不变性, 对每个特征点再计算一定邻域内所有像素的梯度, 对梯度模赋予高斯权重并统计梯度方向直方图, 以决定该特征点的主方向。

最后, 对以特征点为中心、主方向为法方向的  $16 \times 16$  像素区域再进行高斯加权及分格梯度直方图统计, 形成 128 维的特征描述符。该特征描述符具有平移、旋转、尺度不变性, 通过比较两两之间的欧氏距离获得初匹配的特征点对。

由于 SIFT 只是部分具有仿射不变性, 故存在一些误匹配。本文采用 RANSAC 算法<sup>[7]</sup>进一步剔除误匹配点对, 即随机抽取四对匹配点计算一个初始矩阵, 再用该矩阵去度量其余特征点的匹配程度, 则有

$$\left| \begin{pmatrix} x'_n \\ y'_n \\ 1 \end{pmatrix} - H_{i,j} \times \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ 1 \end{pmatrix} \right| < \theta \quad (9)$$

其中:  $\theta$  是区分内点和外点的容限。本文设置  $\theta = 0.8$ 。通过迭代得到满足最大匹配点集的矩阵  $H_{i,j}$ , 该最大匹配点集为排除误匹配后的特征点集。

为了满足所有关键帧的配准精度, 这里利用全局配准来实现。设定  $N$  为视频序列的总数,  $n$  是选取的关键帧数目, 则有  $H_{1,i} = H_{1,2} \times H_{2,3} \times \dots \times H_{i-1,i}$ 。其中:  $i$  是关键帧的标号, 且  $i \leq n$ 。这样, 就可以得到一组透视变换矩阵, 如下式:

$$\begin{cases} H_{1,2} = H_{1,2} \\ H_{1,3} = H_{1,2} \times H_{2,3} \\ \dots \\ H_{1,n} = H_{1,2} \times H_{2,3} \times \dots \times H_{n-1,n} \end{cases} \quad (10)$$

由于 SIFT 提取的特征点鲁棒性好, 则透视变换矩阵组可以实现全局配准。

### 1.3 关键帧间的融合

考虑到视差的影响, 同时为了满足实时处理的要求, 本文采用迭代双线性加权融合算法<sup>[8]</sup>对关键帧进行融合, 具体实现过程如下:

a) 将关键帧 1 置于预先定义好的一个背景图中, 如图 1 所示, 构造一个大小为  $M \times M$  的背景图。

b) 将关键帧  $i$  (初始值  $i = 2$ ) 通过转换矩阵  $H_{1,i}$  变换到背景图中, 同时求出关键帧  $i$  的四个顶点在背景图中的新坐标。其中:  $1, 2, 3, \dots, n$  是关键帧的标号, 且  $i \leq n$ 。

c) 关键帧 1 和关键帧  $i$  的非重叠区域的像素值不变, 直接添加到背景图中, 重叠区域对  $R, G, B$  三个分量分别根据加权法来求得新像素的值, 其表达式如下:

$$I_{\text{new}} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} I_1 + \frac{\beta}{\alpha + \beta} I_i \quad (11)$$

其中:  $I_{\text{new}}$  是融合后的新像素值;  $\alpha, \beta$  分别表示重叠区域中的点到关键帧 1 的左边界的距离和关键帧  $i$  的右边界距离。

d) 求包围盒的大小, 即包围盒在背景图中的四个顶点坐标, 图 1 中黑色虚线所示。判断  $i \leq n$  是否成立, 如果成立,  $i = i + 1$ , 转到步骤 b) 继续执行; 否则, 结束融合循环。

## 2 视频全景并行合成的实现

为了提高视频序列全景图像合成的速度, 可考虑并行线程

调度来优化。目前,多核 CPU 已经开始在市场上出现,并成为今后市场的主流,因此充分利用并行线程编程变得尤为重要。

### 2.1 并行实现的原理

在移动设备环境下,对视频全景合成任务分解成若干小的任务,再将这些任务分配到不同的线程上,以获得多线程并行处理,如图 2 所示。



图 1 关键帧融合区域示意图 图 2 视频全景任务依赖图

其中: $T_1, T_2, \dots, T_n$  是关键帧特征提取的任务; $T_{1,2}, T_{2,3}, \dots, T_{n-1,n}$  是相邻关键帧特征点配准的任务; $T_d$  是所有关键帧融合的任务。图 2 中,任务  $T_1, T_2, \dots, T_n$  并行执行,任务  $T_{1,2}, T_{2,3}, \dots, T_{n-1,n}$  也并行执行,但需要等待  $T_1, T_2, \dots, T_n$  执行完后;最后执行任务  $T_d$ ,这些小任务之间可以完全独立运行,并且存在相互依赖关系。其中各个任务也可以进行数据分解来优化。

### 2.2 并行实现算法

本文所使用的硬件平台是 Intel 的双核 CPU 的 PC 机,软件平台是 Intel 开发的并行计算集成工具包,并在 Visual Studio 2005 环境下对 OpenMP 多线程编程<sup>[9,10]</sup>进行配置。

在视频序列全景视图合成过程中,由于 SIFT 特征点提取复杂度比较高,对 SIFT 算法进一步多线程调度实现。整个视频全景视图并行合成的伪代码如下:

```
//视频序列中的第一帧为基准帧
并行多线程实现对基准帧的 SIFT 特征提取;
for all frames // 对所有移动拍摄的视频帧
|//并行实现纹理特征选取关键帧;
|if( 是否为关键帧)
||#pragma omp critical
| |记录关键帧的标号;
|}
并行多线程实现对关键帧的 SIFT 特征提取;
#pragma omp parallel for
for all pixels // 相邻两关键帧中特征点像素
|//利用并行线程调度实现
| |完成关键帧间的配准;
| |视频关键帧之间的融合;
|}
}
```

SIFT 算法并行实现的伪代码如下:

```
//并行多线程实现对关键帧的 SIFT 特征提取
for all octaves //假设有 n 个尺度组
|建立 n 个栈用于存放尺度组中的特征;
|for all scales //一个尺度组中有 m 个尺度空间
| |构建 DoG 空间;
| |#pragma omp parallel for//并行检测特征点
| |for all pixels //对尺度组中的像素
| | |if ( 是否为关键点)
| | | |#pragma omp critical
| | | |添加新增的关键特征点入栈;
| |}
|}
降采样尺度组( Octave);
}
#pragma omp parallel for
for all pixels //像素指关键点栈中的像素
|//提取特征信息,即 128 维特征向量
| |定位特征点方向;
| |生成特征点描述符;
|}
}
```

对于并行实现来说,主要解决的是线程调度问题。在出现数据竞争时,利用线程同步机制控制线程的执行顺序,从而保证执行结果的确定性。在利用 OpenMP 实现中,一般利用 critical、lock 和 barrier 实现线程同步。在本文 SIFT 并行优化算法中,所有线程把生成的特征点压入共享栈时必然会产生竞争。这里,本文利用临界区(critical)对产生数据竞争的内存进行保护,以保证压入共享栈中的特征点的正确性,同时消除了访问共享内存的错误率。另外,对于定位特征点方向和生成特征点描述符、实现相邻帧像素配准和融合等操作,由于是采用循环结构,为此利用 parallel 循环优化来完成。在整个程序实现过程中,对矩阵的操作和对图像的降采样都进行并行任务分配优化。

下面对并行多线程调度的时间复杂度进行分析。如当用多线程调度完成 SIFT 特征点提取入栈时,提取的特征点个数为  $N$ ,则串行计算时间复杂度为  $O(N)$ ,并行时间复杂度为  $O(\log N)$ ,加速比  $S = O(N/\log N)$ 。

### 3 实验结果

为了更好地说明并行线程调度优化的效果,以只有两幅关键帧来举例说明,其中关键帧尺寸为  $240 \times 320$ 。整个视频全景合成算法伪代码的实验结果如表 1 所示。其中: $t$  表示一个单位时间。从表中可以看出,并行后的可重复的 SIFT 特征提取所消耗的时间明显减少。通过统计运行的结果,优化后的总时间比优化前近乎平均减少了 50% 左右,其加速比平均都可到达 2 倍以上。

图 3(a) 是对室外场景移动摄像机合成的全景图,拍摄中摄像机按一定角度旋转并移动,获取 22 帧视频序列。利用本文提出的方法,通过纹理特征相似度度量选取关键帧。设定一个阈值  $T$ ,其取值根据不同的场景而定,这里取  $T = 0.2$ 。以第一帧为基准帧,然后计算后续帧与基准帧的纹理特征相似性系数,关键帧的数目为 6,如表 2 所示。

| 表 1 优化前后的对比 |              | 表 2 关键帧间的相似性系数 |             |           |
|-------------|--------------|----------------|-------------|-----------|
| 关键帧尺寸       | 优化前用时( $t$ ) | 优化后用时( $t$ )   | 相邻关键帧       | 相似性系数     |
| 第一帧 SIFT    | 13           | 5.7            | 第 1 与 8 帧   | 0.276 219 |
| 第二帧 SIFT    | 13           | 5.7            | 第 8 与 13 帧  | 0.271 007 |
| 特征点匹配       | 1.8          | 1              | 第 13 与 15 帧 | 0.214 597 |
| 变换矩阵        | 0.2          | 0.1            | 第 15 与 18 帧 | 0.277 904 |
| 关键帧融合       | 1            | 0.5            | 第 18 与 22 帧 | 0.246 947 |
| 总时间         | 29           | 13             |             |           |

图 3(b) 是对室内环境进行拍摄合成的结果。本文所采用的方法能够自动完成关键帧的特征点提取和配准之间并行线程调度,从而快速得到视频序列全景图像;同时,利用了关键帧之间的全局配准,合成的准确度较高。

下面对本文提出的方法和其他方法进行了对比。高空移动摄像机拍摄 15 帧连续视频序列,实验结果如图 4 所示。



图 3 移动摄像机捕获视频序列的全景图

图 4 两种方法比较的实验结果

h-anim 标准构造人体骨骼结构,并将其应用到肢体网格,然后利用线性混合蒙皮算法将运动信息驱动虚拟人模型的运动。其中,关节运动角度信息用多项式拟合的方法进行编辑,既简化了运动信息的复杂程度,增加数据重用性,又使得每一帧运动能够平滑过渡。最后,对特定表情下的运动进行仿真,过渡平滑自然,肢体动作和面部表情在时间上能够协调一致,表明了本文方法在运动不是十分剧烈的表情仿真中是有效的。若在变化剧烈的运动仿真中采用的本文提出的多项式拟合的方法,为了使复杂动作得以完好表达,就必须增加多项式拟合的分段数和拟合的阶数。



(a) 整体和局部放大正视图 (b) 整体和局部放大侧视图

图3 在仰头大笑的表情下肢体动画截图

本文使用的线性混合蒙皮方法能实现运动的仿真,但却不能很好地实现肌肉的隆起、肌腱的拉伸以及皮肤的褶皱的效果,以后将在蒙皮算法上继续改进。细节上的逼真度将是以后工作的重点。

#### 参考文献:

- [1] 王兆其. 虚拟人合成研究综述[J]. 中国科学院研究生院学报, 2000, 17(2): 89-98.
- [2] YESIL M S, GUDUKBAY U. Realistic rendering and animation of a multi-layered human body model[C]//Proc of the Information Visualization. Washington DC: IEEE Computer Society, 2006: 785-790.

(上接第 1169 页)

图4(a)是本文的算法,关键帧数目为4;(b)是用基于区域特征的方法<sup>[11]</sup>进行了实验,关键帧数目为7。基于区域特征拼接的方法鲁棒性较差,在融合时容易产生明显的分界线;本文所采用的方法几乎看不出有分界线,而且对视频序列的旋转具有较强的适应性,同时用较少的关键帧就可以得到全景图像,合成速度较快。

#### 4 结束语

对于移动摄像机捕获的视频,本文提出了一种鲁棒性较好的视频全景图并行合成技术。由于视频序列之间存在冗余,首先采用纹理特征相似度来选取关键帧,利用并行线程调度提取可重复性特征;然后通过匹配特征估计平面透视运动模型,对输入的关键帧进行配准。整个合成全景图是通过并行线程调度来完成的。实验结果证明,当相邻关键帧存在一定视差时仍能较好地合成视图。对优化前后进行了对比,并行优化消耗时间大约减少了50%左右,加速比均达到2倍以上。同时,与其他方法进行了比较,本文的方法鲁棒性好,全景合成结果几乎可以实现无缝合成,计算复杂度也有所降低。

#### 参考文献:

- [1] ZHENG Jiang-yu. Digital route panoramas[J]. IEEE Multi-media, 2003, 10(3): 57-67.
- [2] ZELNIK-MANOR L, PETERS G, PERONA P. Squaring the circle in

- [3] 吕治国,李焱,贺汉根. 基于Poser模型的三维人体建模方法[J]. 计算机工程, 2008, 34(13): 256-258, 261.
- [4] WATERS K. A muscle model for animating three-dimensional facial expression[C]//Proc of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 1987: 17-24.
- [5] MEMISOGLU A. Human motion control using inverse kinematics[D]. Ankara: Bilkent University, 2003.
- [6] MOHR A, GLEICHER M. Building efficient, accurate character skins from examples[J]. ACM Trans on Graphics, 2003, 22(3): 562-568.
- [7] JACKA D, REID A, MERRY B, et al. A comparison of linear skinning techniques for character animation[C]//Proc of the 5th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa. New York: ACM Press, 2007: 177-186.
- [8] LEWIS J P, CORDNER M, FONG N. Pose space deformation: a unified approach to shape interpolation and skeleton-driven deformation[C]//Proc of the 27th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques. New York: ACM Press, 2000: 165-172.
- [9] WANG X C, PHILLIPS C. Multi-weight enveloping: least-squares approximation techniques for skin animation[C]//Proc of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation. New York: ACM Press, 2002: 129-138.
- [10] JAMES D L, TWIGG C D. Skinning mesh animations[J]. ACM Trans on Graphics SIGGRAPH, 2005, 24(3): 399-407.
- [11] JIA Yun-tao, FENG Wei-wen, YU Yi-zhou. Transplanting and editing animations on skinned meshes[C]//Proc of the 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007: 431-434.
- [12] 王 2 2, 邱显杰, 王文中, 等. 一种视频驱动的三维人体动画合成方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(8): 1700-1704.
- [13] 罗忠祥, 庄越挺, 刘丰, 等. 基于视频的人体动画[J]. 计算机研究与发展, 2003, 40(2): 269-276.
- [1] panoramas[C]//Proc of the 10th IEEE International Conference on Computer Vision. Pasadena, CA: IEEE Press, 2005: 1291-1299.
- [3] KANG S B, SZELISKI R, UYTENDAELE M. Seamless stitching using multi-perspective plane sweep, MSR-TR-2004-48[R]. [S. l.]: Microsoft, 2004.
- [4] SZELISKI R. Video mosaics for virtual environments[J]. Computer Graphics and Applications, 1996, 16(2): 22-30.
- [5] LOWE D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 90-110.
- [6] WINDER S A, BROWN M. Learning local image descriptor[C]//Proc of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: INSPEC, 2007: 1-8.
- [7] FORSYTH D A, PONCE J. 计算机视觉: 一种现代方法[M]. 林学阁, 王宏, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [8] CHEN Hui, ZHAO Bin, LIU Yue. A video mosaic algorithm for compressed video[C]//Proc of the 2nd Workshop on DMAMH. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007: 370-377.
- [9] AKHTER S, ROBERTS J. 多核程序设计技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 140-160.
- [10] ZHANG Qi, CHEN Yu-rong, ZHANG Yi-min. SIFT implementation and optimization for multi-core systems[C]//Proc of the 36th International Conference on Parallel Processing. Xi'an: [s. n.], 2007: 1139-1146.
- [11] 冷晓艳, 薛模根, 韩裕生, 等. 基于区域特征与灰度交叉相关的序列图像拼接[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(5): 602-605.