

# 一种摄像机布局的新方法<sup>\*</sup>

李良君<sup>1</sup> 岳小莉<sup>2</sup> 李志豪<sup>2,3</sup> 江 澜<sup>1</sup> 曹存根<sup>2</sup>

(首都师范大学 & 中科院计算所联合实验室 北京 100037)<sup>1</sup>

(中科院计算所智能信息处理重点实验室 北京 100080)<sup>2</sup> (北京大学软件与微电子学院 北京 102600)<sup>3</sup>

**摘要** 提出了一种基于约束的摄像机布局方法,并给出了一套评价所生成图像的量化标准。为提高系统的智能化程度,构建了一个具有摄像师专业知识的知识库,用以支持摄像机的自动布局。实验表明,应用该方法所获取的图像效果可以满足数字动画制作中(关键帧生成)的基本需要。

**关键词** 动画创作,摄像机布局,摄影约束,摄影知识库

## A New Method for Camera Composition

LI Liang-Jun<sup>1</sup> YUE Xiao-Li<sup>2</sup> LI Zhi-Hao<sup>2,3</sup> JIANG Lan<sup>1</sup> CAO Cun-Gen<sup>2</sup>

(Unite Academe of ICT and CNU, Beijing 100037)<sup>1</sup>

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Intelligent Information Processing, Beijing 100080)<sup>2</sup>

(School of Software and Microelectronics, Peking University, Beijing 102600)<sup>3</sup>

**Abstract** In this paper, a constraint-based approach to camera composition is proposed, and quantitative criteria are given to evaluate the performance of our method. For improving the degree of intelligence, a knowledge base contained the principles of cinematography is built to solve the camera composition problem. Experiments show that images generated by our method can satisfy the basic requirement (key frame generation) in animation generation.

**Keywords** Automatic animation generation, Camera composition, Cinematographic constraint, Cinematographic knowledge base

## 1 引言

摄像机自动布局涉及到虚拟现实、人工智能、人机交互以及艺术等多个领域的内容,是动画自动生成研究中的一个难点。早在 20 世纪 80 年代,即有相关的研究人员对此问题进行了探索和初步研究。近年来,随着计算机动画产业的高速发展,这一问题日益得到研究者的关注和重视。归纳起来,现有的相关研究主要分为以下三个主要的类别。

**数值计算方法。**该方法最早由 Jim Blinn 提出<sup>[1]</sup>,他通过指定空间中任意两个点在屏幕坐标系中的位置,来计算摄像机的属性取值。此后,David Christianson 等人<sup>[2]</sup>设计了摄像机控制描述语言(DCCL)及虚拟摄像师(Virtual Cinematographer)系统<sup>[3]</sup>,在该系统中,也采用了数值计算的方法。数值计算方法能够精确地计算摄像机的属性取值,但无法解决物体之间的遮挡问题。

**交互式方法。**借助人机交互方式,Phillips 于 1992 年完成了一个可以部分实现自动设置摄像机属性的系统("Jack")<sup>[4]</sup>。系统自动生成一幅初始图片,用户对该图片进行评价,并藉由系统所提供的相应指令辅助计算机修改或调整摄像机的属性值。

**基于约束满足与最优化的方法。**大部分摄像机规划系统都采用了这种方法,即通过一组约束或目标函数来对最终画面的要求进行描述,再根据约束与目标函数的不同,使用不同

的求解方法来计算摄像机的具体属性值。有代表性的工作包括: Dorée Seligmann 的 IBIS 系统,他提出了一种通用的、基于规则库的、由文本生成图像(非连续动画)的方法<sup>[5]</sup>;智能主体系统——CAMPLAN,由 Nicolas Halper 和 Patrick Olivier<sup>[6]</sup>完成。作为 IBIS 系统<sup>[5]</sup>的摄像机规划子系统,该系统旨在创建提供一套用以描述最终画面要求的机制,并通过计算生成最终的图像。需要提及的是, CAMPLAN 中首次使用了遗传算法来解决摄像机规划的问题。此外, Drucker 的 Cinema 系统<sup>[7]</sup>、Jardillier 的 Virtual Cameraman 系统<sup>[8]</sup>,以及 W. H. Bares 的 CONSTRAINTCAM 系统<sup>[9]</sup>都使用了这种方法。

国内相关的研究内容和研究水平主要体现在由中科院数学所陆汝钤院士领导完成的 Swan 系统<sup>[10]</sup>。Swan 是一个完整的计算机辅助动画生成系统,内容涉及自然语言理解、角色、背景、动作的设计、情节、摄像机的规划等,其中,对摄像机规划做了较为系统的研究。该系统采用了一种自顶向下逐步求精的思想,将镜头的规划分成五个步骤:首先,确定典型场景(类似于戏剧中的一场戏),以及场面中的角色个数、单个角色的特征、环境和导演因素;其次,根据镜头的需要(如突出某人形象)分割场景为单个镜头;接下来的三个步骤则通过摄影领域的专家知识以及图形学的算法,将摄影要求细化到底层的实现。

归纳起来,上述方法和系统从不同角度对摄像机规划进行了探索和研究,涉及到了游戏、教学、动画制作等方面,但鲜

<sup>\*</sup> 本文工作得到自然科学基金( # 60273019、60573064、60573063 和 60496326) 和国家重点基础研究发展计划( 2003CB317008 和 G1999032701) 的资助。李良君 硕士研究生,研究方向为智能动画生成、摄像机规划;岳小莉 博士,主要研究方向计算机动画、知识设计;李志豪 硕士生,主要研究方向计算机动画;江 澜 硕士生,研究方向为智能场景设计;曹存根 博士,研究员,主要研究领域为人工智能。

有应用于商业化的系统中。究其原因,主要有以下一些因素:(1)无法准确、详尽地描述用户需求,生成的画面不符合人们的期望;(2)能够处理的情况太简单,不适合动画制作等大型工程;(3)处理的速度及精度不够,不能在合理的时间内获得满意的结果。而这些问题的本质则在于虚拟摄像机布局问题(Virtual Camera Composition)至今没有一个有效的解决方法。基于此,本文结合已有方法,构建了一个具有摄像师专业知识的启发式知识库,提出了一种基于约束满足的方法,并给出了一套新的画面评价标准,用以解决面向计算机动画自动生成的虚拟摄像机布局问题。

## 2 基本概念

### 2.1 虚拟摄像机属性

一个经典的虚拟摄像机包含3个属性:可视区域、空间位置和朝向角度。可视区域指摄像机能够拍摄的范围,由摄像机的焦距、宽高比以及最近和最远可视面所决定(本文不讨论可视区域的确定方法,在使用中将可视区域默认为已知)。空间位置及朝向角度总称为摄像机的空间属性,通常有两种表示方法,详见表1。

表1中,第一种表示方法多用于实现与摄像机本身有关的约束,且多用在摄像机运动中(如水平摇拍整个场景);第二种则多在实现与拍摄对象相关约束时使用(如当拍摄对象为X时,我们调整摄像机的目标点的位置与X重合)。因本文讨论的是静态的摄像机布局问题,均与被摄对象有关,所以统一采用第二种表示方法。

### 2.2 画面误差评价标准

为了对生成画面进行评价,我们定义了容差矢量、绝对误差矢量、相对误差矢量、约束误差率和有效解五个概念,具体内容如下。

**容差矢量:**容差矢量是一个8维矢量,用以描述各种误差允许的范围,表示为 $T(t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8)$ 。其中, $t_1$ 到 $t_7$ 依次代表屏幕位置、拍摄角度、屏幕面积、屏幕高度、屏幕宽度、屏幕距离和遮挡率容许的误差, $t_8$ 表示容许的画面误差率的最大值。

**绝对误差矢量:**绝对误差矢量是一个7维矢量,用以表示当前画面与目标画面之间的绝对误差,用 $E(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7)$ 表示,其中:

$e_1 = m/\sqrt{s'}$ ,  $m$ 为物体当前位置与要求位置的距离,  $s'$ 为被摄对象在屏幕中的实际面积;

$e_2 = |a - a'|/180$ ,  $a$ 为要求的拍摄角度,  $a'$ 为摄像机实际的拍摄角度;

$e_3 = \sqrt{(s - s')/s}$ ,  $s$ 为要求的屏幕面积,  $s'$ 为被摄对象在屏幕中的实际面积;

$e_4 = |h - h'|/h$ ,  $h$ 为要求的屏幕高度,  $h'$ 为被摄对象在屏幕中的实际高度;

$e_5 = |w - w'|/w$ ,  $w$ 为约束要求的屏幕宽度,  $w'$ 为被摄对象在屏幕中的实际宽度;

$e_6 = |d - d'|/\sqrt{s'_1 + s'_2}$ ,  $d$ 为要求的两物体之间的距离,  $d'$ 为两物体在屏幕中的实际距离,  $s'_1$ 和 $s'_2$ 分别为两个物体在屏幕中的实际面积;

$e_7 = \sqrt{s_z/s'}$ ,  $s_z$ 为被摄对象在屏幕中被遮挡的面积,  $s'$ 为被摄对象在屏幕中的实际面积。

**相对误差矢量:**相对误差矢量是一个7维矢量,用以表示在给定的容差矢量时当前画面与目标画面之间的相对误差,用 $W(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7)$ 表示,其中, $w_i = e_i/t_i (1 \leq i \leq 7)$ 。

**画面误差率:**画面误差率是一个无量纲正实数,用来衡量当前画面与目标画面之间总的误差,用 $V$ 表示,且 $V = \sum_{i=1}^7 w_i$ 。

**有效解:**我们称摄像机属性的一组取值为一个解,设 $W$ 为一个解对应画面的相对误差矢量, $V$ 为其画面误差率, $T$ 为给定的容差矢量,我们称该解为一个有效解当且仅当 $w_i < t_i$ 且 $V < t_8$ 。

特别地,容差矢量一方面规定了各种要求允许的误差范围,同时代表了各个要求对整个画面效果的影响的权重。如果相应的容差矢量的分量比较大,那么在同样误差的情况下,对应的误差矢量分量会小,也表示该要求对画面效果的影响相对较小。

表1 摄像机空间属性的两种表示方法

<p>(a) 摄像机坐标系 (X, Y, Z) 和伴随坐标系 (X', Y', Z')。摄像机位置 P, 目标位置 A, 可视区域。摄像机绕 X, Y, Z 轴旋转的角度。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>空间位置 <math>P(x, y, z)</math>: 摄像机所处位置在世界坐标系中的坐标值。</li> <li>旋转角度 <math>R(x, y, z)</math>: 摄像机伴随坐标系中分别绕 X, Y, Z 轴旋转的角度。伴随坐标系指以摄像机位置 <math>P(x, y, z)</math> 为原点, 坐标轴方向与世界坐标系相同的坐标系。(图(a)黑色坐标轴表示)</li> </ul>
<p>(b) 摄像机坐标系 (X, Y, Z) 和伴随坐标系 (X', Y', Z')。摄像机位置 P, 目标位置 A, 可视区域。摄像机绕 Z 轴旋转的角度, 指摄像机的“上”方向。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>摄像机位置 <math>P(x, y, z)</math>: 同上。</li> <li>摄像机目标点位置 <math>A_p(x, y, z)</math> 或目标向量 <math>A_o(x, y, z)</math>: <math>A_p(x, y, z)</math> 指 A 点在世界坐标系中的坐标值, <math>A_o(x, y, z)</math> 指从摄像机指向目标点的矢量(如左图中 PA 所代表的矢量)。</li> <li>摄像机的 UP 向量 <math>UP(x, y, z)</math>: 用来表示摄像机在伴随坐标系中绕 Z 轴旋转的角度, 指摄像机的“上”方向。</li> </ul>

### 2.3 摄像机布局问题

借助上述概念,摄像机布局问题定义为:基于约束计算摄像机可能的布局属性值的范围。进一步地,以画面评价标准作为二次约束,得到摄像机的确定值。由此,该问题被抽象为

一个约束满足问题(Constraint Satisfaction Problem)。其中,变量集合  $X$  为摄像机属性对应的三个矢量  $P, A_o$  (或  $A_p$ ) 和  $UP$ ; 定义域  $D$  为虚拟世界中的任意点;而相应的约束集合  $C$  较一般的约束满足问题复杂,我们将在下面做进一步说明。

### 3 基于约束的摄像机布局

本文采用了几何计算与启发式搜索相结合的方法来解决摄像机布局问题。首先将约束分类,之后经过空间语义计算与屏幕语义计算,得到最终解。在计算屏幕语义约束时,需要借助一个启发式知识库的支持,基本流程如图1。

#### 3.1 约束的分类及说明

系统将摄像机约束分为两类:空间语义约束和屏幕语义约束。前者直接约束摄像机属性取值,后者通过约束摄像机所拍摄的画面效果间接约束摄像机属性取值。这两类约束在计算中采用的方法是不同的。我们使用谓词的形式来表示约束,参见表2和表3。

由此,我们定义约束集合  $D$  为上述谓词公式的集合。一个约束被满足当且仅当对应的谓词公式在一组摄像机属性取值下解释为真。

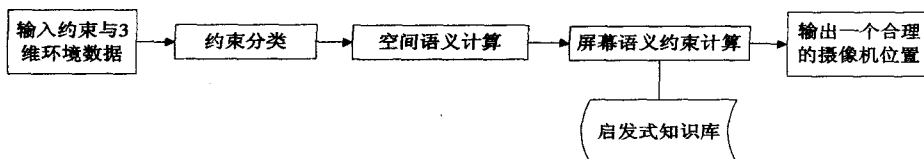


图1 整体算法流程

表2 摄像机空间语义约束谓词(“::”后面的英文名称为前面中文谓词的译名)

摄像机空间语义约束谓词	说明
侧拍角度::side_degree(obj, degree)	侧拍角度(obj, degree), $-180 \leq \text{degree} \leq 180$ , 负角度表示在物体的右侧面拍摄,正角度表示在物体的左侧面拍摄
垂直角度::vertical_degree(obj, degree)	垂直角度(obj, degree), $-180 \leq \text{degree} \leq 180$ , 负角度表示摄像机在被摄物体的下方拍摄,正角度表示摄像机在被摄物体的上方拍摄
正拍::up_y(obj)	摄像机的起始 up 向量与世界坐标系的 Y 轴方向一致,并且绕 Z 轴旋转角度为 0
仰拍::vertical_degree_high(obj)	摄像机在被摄物体的下方拍摄
平拍::vertical_degree_medium(obj)	摄像机与被摄物体等高拍摄
俯拍::vertical_degree_low(obj)	摄像机在被摄物体的上方拍摄
右侧拍::side_left(obj)	摄像机在物体的左侧方拍摄
左侧拍::side_right(obj)	摄像机在物体的右侧方拍摄
正面拍::side_face(obj)	摄像机在物体的前方拍摄
背面拍::side_back(obj)	摄像机在物体的后方拍摄

#### 3.3 屏幕语义约束的计算

屏幕语义约束的满足是摄像机布局的核心部分,指通过最优化搜索的方法获取一组满足所有屏幕语义约束的摄像机属性值。相较其它的三维应用领域(如电脑游戏、教学系统等),动画制作中涉及的虚拟环境更加复杂,传统的基于约束满足的最优化方法有以下不足:

(1)由于动画制作中虚拟环境的复杂性,寻找一个好的启发式函数是困难的;

(2)对于同样的画面要求,不同的摄影师会根据自身风格

#### 3.2 空间语义约束的计算

空间语义约束的计算是指求出一个空间区域,当摄像机(或目标点)处于该区域时,对应的谓词公式为真。

当摄像机满足单个谓词的约束时,可使用一个简单规则的几何体表示摄像机应该处的区域,表4为计算这类约束时用到的具体空间区域的表示,参见图2。

由于每一个空间语义约束谓词都对应一个与被摄对象相关的区域,我们可通过单个谓词对应的区域的布尔运算求得满足一个谓词公式的区域。遵照以下三条准则即可求得满足一个空间语义约束的区域。

准则1:两个谓词(或公式)合取,则对应的区域求并。

准则2:两个谓词(或公式)析取,则对应的区域求交。

准则3:单个谓词(或公式)取否定,则对应的区域求补(全集为整个虚拟世界空间)。

表3 摄像机屏幕语义约束谓词

摄像机屏幕语义约束谓词	说明
可识别::recognizable(obj)	obj 特征无遮挡 obj 与摄像机的距离小于该物体的可识别距离
可见::visible(obj)	obj 在摄像机的可拍摄范围之内
屏幕部位::screen_location(obj, location)	obj 在屏幕中所处的部位为 location, $\text{location} \in \{\text{上部, 下部, 左部, 右部, 中部, 左上部, 左下部, 右上部, 右下部}\}$
屏幕高度::height(obj, n)	$0 < n \leq 1$ , obj 占屏幕高度的百分比
屏幕宽度::width(obj, n)	$0 < n \leq 1$ , obj 占屏幕宽度的百分比
屏幕面积::size(obj, n)	obj 在屏幕的面积, $0 < n \leq 4$ (屏幕为一个 $2 \times 2$ 的平面)
水平坐标::horizontal_position(obj, n)	obj 的 x 轴坐标值, $-1 \leq n \leq 1$
垂直坐标::vertical_position(obj, n)	obj 的 y 轴坐标值, $-1 \leq n \leq 1$
屏幕坐标::coordinate(obj, x, y)	obj 在屏幕坐标系中坐标值, 屏幕中心为原点, 向上为 Y,
位于::location(obj1, obj2, location)	obj1 在屏幕中处于 obj2 的 location 方位, $\text{location} \in \{\text{上方, 下方, 左方, 右方, 左上方, 右上方, 左下方, 右下方, 中间}\}$
距离::distance(object1, object2, n)	两个物体在屏幕上的距离为 n, $0 \leq n \leq 2.828$
遮挡::occlude(obj1, ..., objN; obj):	obj1, ..., objN 一起遮挡住 obj
遮挡率::occlude_rate(obj, n)	obj 被遮挡的面积占总面积的 n, $0 \leq n \leq 1$

不同采用不同拍摄方案,而传统的最优化方法无法实现拍摄方案的多样化;

(3)我们通常只能提供部分重要的约束(如对画面中主要拍摄对象的大小的要求),因此许多摄影学上的约束需要针对具体环境加以考虑,传统的最优化方法不具备这种能力。

人类摄像师在进行摄像机布局时不存在以上问题,是因为他们具有摄影领域的专业知识和经验。因此,我们构建一个知识库用以支撑屏幕语义约束的计算,该知识库主要包含以下两类知识:

(1)摄影师专业知识。主要指与摄影学相关的专业知识,用以解决:

- 在已知约束的情况下,如何确定一个最有可能得到解

的起始位置;

- 在当前摄像机属性取值下,如果约束不被满足,如何调整摄像机属性的取值;
- 具体环境下,除满足用户约束外,添加其它摄影学上的屏幕语义约束;
- 当约束无法被满足时,如何调整场景中的物体或人物位置。

(2)图形学知识。这类知识的用途有:

- 在摄像师专业知识的指导下,计算摄像机具体的起始位置,并且计算每一次摄像机属性取值调整的具体数值;
- 在摄像师专业知识的指导下,计算约束无法被满足时场景中的物体或人物位置的具体改变量。

表 4 空间区域的表示

球:	表示与距离有关的约束,包括摄像机到物体的距离,对应谓词有:可见、可识别。
四棱锥:	表示摄像机可视区域,在该区域的物体都是摄像机能够拍摄到的。
长方体:	表示与方位有关的约束,包括物体的前后左右上下六个方位,当要求摄像机在物体的某一方位时,将摄像机放置在相应的长方体内即可。对应的谓词有:仰拍,平拍,俯拍,右侧拍,左侧拍,正面拍,背面拍。
圆锥:	表示与角度有关的约束。对应谓词为:侧拍角度,垂直角度。



图 2 空间区域的表示示例

本文的算法借鉴了摄影师的工作流程,因而以上知识均以产生式规则的形式给出,规则形式定义如下:

〈规则〉::=〈规则名称〉:IF〈规则前件〉 THEN〈规则后件〉〈规则解释〉〈规则备注〉

摄影规则的前件包含的内容有:需满足的约束、当前所得画面与要求画面的差距;

规则的后件包含的内容有:增加附加约束、摄像机属性的调整方法、模型位置的调整方法。图形学规则的前件为摄影规则的后件,规则后件包含调整的数值计算方法。整个算法的搜索部分是一个产生式系统,我们将摄像机当前的属性取值以及对摄像机的约束为该系统的综合数据库。表 5 是不同类型知识的举例及说明,知识库的其它性质这里不再详述。

借助这些知识,系统可以快速地确定摄像机的位置及拍摄角度,并且根据所处的虚拟环境,运用摄影学专业知识来获得更好的拍摄效果。以下是屏幕语义约束的计算步骤:

- Step1: 读入空间语义约束计算的输出结果。
- Step2: 查询知识库,根据屏幕约束选择一个搜索的起始位置。
- Step3: 添加临时约束,计算该位置对应的绝对误差矢量及约束满足率,满足约束则输出结果,不满足转到 step4。
- Step4: 判断搜索次数是否达到上限,达到转 step5,未达到转 step6。
- Step5: 查询知识库,输出调整物体或人物位置的建议,退出。
- Step6: 查询知识库,根据知识库的建议,调整摄像机属

性,转到 step4。

表 5 知识表示的举例及说明

类型	举例	说明
摄影专业知识	IF(1)物体画面面积小于要求面积 THEN 将摄像机朝向物体移动	处理面积约束不满足的情况。
	IF(1)两物体画面距离大于要求距离 (2)两物体画面面积小于要求面积 THEN 建议减小两物体之间距离	当约束无法满足时,给出合理建议。
图形学知识	IF(1)将摄像机朝向物体移动 THEN 移动距离等于当前距离减去当前距离 乘以当前物体画面面积与要求面积的 商的平方根。	当确定摄像机属性的改变方式时,给出计算改变量的方法。

## 4 系统实现和实例

我们使用 C++ 和 MEL(Maya 嵌入式语言)语言开发了一个原型系统,系统结构如图 3 所示,左部虚线框为约束分类及空间约束计算模块,右部虚线框为屏幕语义计算模块。

下面我们给出一个应用实例,以说明本文方法的特色。过肩镜头是电影学中较典型的一种拍摄方式,多用于两人对话场面,其画面需满足以下基本条件:

- (1)正在说话的人占据屏幕中心位置;
- (2)摄像机处于谈话对象的身后;

(3)两个交谈的人不能有太多的遮挡;

(4)说话者的面部不能有遮挡。

此外,我们还可以做进一步的限制,如听者出现在屏幕左部;说话者在屏幕中的高度应该占整个屏幕高度的90%;拍摄说话者的角度,拍摄听者的角度等。本例即针对这些要求和约束求解目标画面。

如图4所示,我们分别用A、B表示两个人物,其中A正在讲话。整个布局的约束用谓词表示如下:

$screen\_location(A, 中部) \wedge screen\_location(B, 左部) \wedge height(A, 90\%) \wedge side\_degree(A, 30) \wedge side\_degree(B, -170) \wedge occlude\_rate(A, 0) \wedge occlude\_rate(B, 0)$

容差矢量  $R_i$  根据知识库中记录的典型过肩镜头要求给出,其值为(0.5, 0.1, 0.4, 0.1, 0.1, 0.1, 0.3)。

图4(a)中,原始约束的画面,该画面的约束误差率为1.49,误差较其它两幅大的主要原因是人物A被遮挡。

图4(b)中,更改约束  $side\_degree(A, 30)$  为  $side\_degree(A, 45)$  之后的效果,该画面的约束误差率为0.83。由于人物A消除了遮挡,该画面的误差显著减小。

图4(c)中,进一步更改  $height(A, 90\%)$  为  $height(A, 50\%)$  之后的效果,该画面的约束误差率为0.62。由于人物A占屏幕的高度较前两幅画面更接近约束的要求,该画面的误差得到了进一步的控制。

整个计算过程在 Pentium 4 3GHz, 3G Memory, windowsXP 环境下进行,以 aya7.0 为图像渲染平台,虚拟环境中两个人物模型及八个圆柱体。单次布局所需时间均在100ms以下。

**结论与展望** 动画自动生成是一个极具挑战的研究课题,摄像机布局是其中的一个重要组成部分。本文采用一阶谓词公式表示画面约束,使用一种新的画面效果评价标准,通过几何计算与知识推理相结合的方法,可以自动生成最多包含两个主要拍摄对象画面。实验表明,该方法能够获得较满意的画面效果。

该方法具有良好的扩展性能,随着知识库的合理性与丰富性的提高,系统的处理能力将得到增强,因而,知识库的构建工作将是进一步的工作重点。此外,容差矢量与相对误差矢量的数学特性与拍摄风格之间的关系也是我们下一步要研究的问题。

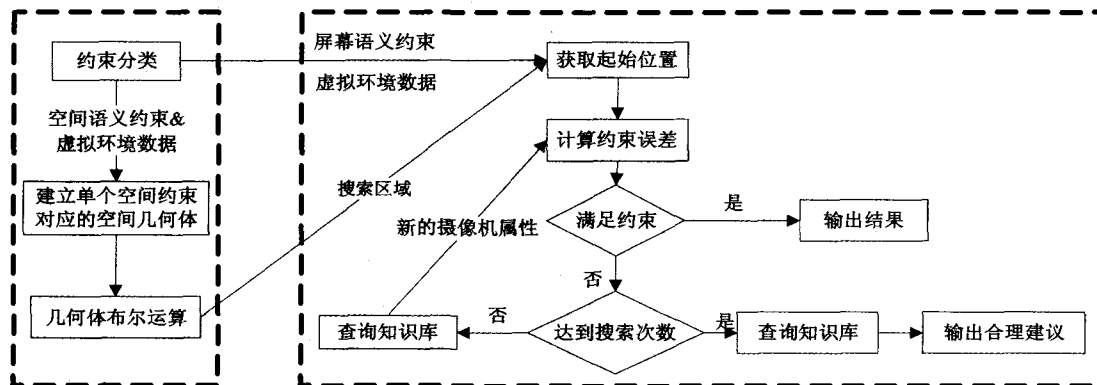


图3 系统结构图

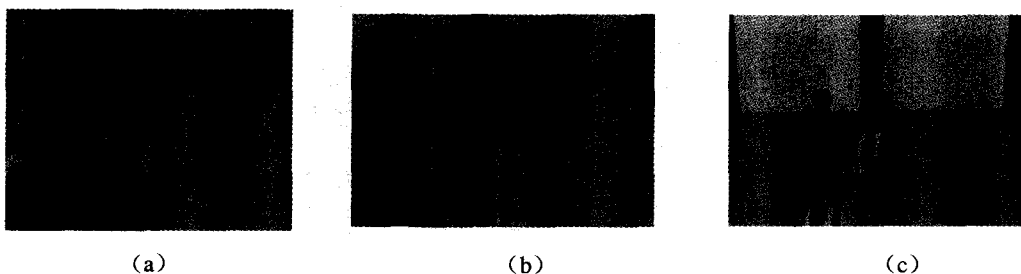


图4 三种过肩镜头的效果

参考文献

- 1 Blinn J. Where am I? What am I looking at?. IEEE Computer Graphics and Applications, July 1988
- 2 Christianson D, Anderson S, He Li-wei, et al. Declarative Camera Control for Automatic Cinematography In: Proceedings of AAAI, 1996
- 3 He L, Cohen M F, Salesin D H. The virtual cinematographer. a paradigm for automatic real-time camera control and directing. In: Proceedings of SIGGRAPH 96, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, August 1996. 217~224
- 4 Phillips C B, Badler N I, Granteri J. Automatic viewing control for 3d direct manipulation. In: Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, New York, NY, USA, ACM Press, 1992
- 5 Seligmann D D, Feiner S. Automated Generation of intent based 3D illustrations. Computer Graphics, 1991. 123~132
- 6 Halper N, Olivier P. CAMPLAN: A Camera Planning Agent, in Smart Graphics. In: Proceedings of the AAAI Spring Symposium, Menlo Park, 2000. 92~100
- 7 Drucker S M, Galyean T A, Zeltzer D. Cinema: A System for

- Procedural Camera Movements. In: SI3D '92. Proceedings of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, New York, NY, USA, 1992. 67~70
- 8 Jardillier F, Languéno E. Screen-space Constraints for Camera Movements; the Virtual Cameraman. In: Proceedings of EUROGRAPHICS-98, 1998, 17:175~186
- 9 Bares W H, Gregoire J P, Lester J C. Realtime Constraint-based Cinematography for Complex Interactive 3D Worlds. In: Proc. of AAAI-98/IAAI-98, 1998. 1101~1106
- 10 陆汝铃, 张松懋. 故事到动画片——全过程计算机辅助动画自动生成. 自动化学报, 2002, 28(3): 322~348
- 11 Callaway C, Not E, Novello A, et al. Automatic Cinematography and Multilingual NLG for Generating Video Documentaries Artificial Intelligence, 2005, 165(1): 57~89
- 12 Friedman D, Feldman Y. Knowledge-based Formalization of Cinematic Expression and its Application to Animation. In: Proceedings of Eurographics, Saarbrücken, Germany, 2002. 163~168
- 13 金小刚, 鲍虎军, 彭群生. 计算机动画技术综述. 软件学报, 1997, 8(4): 241~251