

手机短信 3D 动画中摄像机规划的自动生成^①

许向辉, 郝亮亮

(北京工业大学 计算机学院智能软件与多媒体北京市重点实验室, 北京 100124)

摘 要: 手机短信 3D 动画自动生成系统, 依托于全过程计算机辅助动画自动生成技术, 将发送方短信分析理解后自动生成一段对应主题的三维动画并发送给接收方. 摄像机是表现动画主题的关键方式, 其拍摄的效果好坏直接影响场景动画的表达内容的主题. 本文从定性规划和定量规划两个部分, 结合手机动画的特点, 对系统中摄像机的拍摄方案进行设计. 利用本体库对摄像机属性与拍摄方案进行刻画, 采用规则推理的方法, 针对不同主题的场景, 获取其中关键的拍摄目标, 并且采取不同的拍摄手法与镜头组合方式, 然后将定性描述信息转换为图形学数据进行定量计算与参数赋值, 最终实现计算机辅助下摄像机规划的自动生成.

关键词: 动画自动生成; 摄像机; 定性规划; 定量计算; 本体库

Auto-Generation of Camera Planning in 3D Animation of Short Message

XU Xiang-Hui, HAO Liang-Liang

(Beijing Key Lab of Intelligent Software and Multimedia Techniques, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Rely on the technique of full life cycle computer aided animation generation, in the 3D animation auto-generation system of short message, short message from the sender is translated to an animation and presented to the recipient, with the aid of computer. Camera is the key way to show the content of 3D animation and the effectiveness of the camera directly affects the expression of the content of the animation. In this paper, combining with the characteristics of mobile phone animation system, we design the scheme of camera shooting through qualitative planning and quantitative planning. Firstly, we describe the camera attributes and shooting schemes by ontology. With the method of logical reasoning, we get main targets from scenes of different topics and take different shooting styles and combinations of camera lens. Then, the qualitative descriptions of cameras are converted into graph data for quantitative calculation and parameter assignment. And finally we achieve the auto-generation of camera planning.

Key words: animation auto-generation; camera; qualitative planning; quantitative calculation; ontology

1 引言

手机短信作为传统的交流方式, 以其强大的功能和灵活的配置广泛适用于各种行业. 手机短信分为两种: 一种短信是通过手机或者其他电信终端直接发送或接受的文字或数字信息. 一种是彩信, 它最大的特点就是支持多媒体功能, 能够传递功能全面的内容和信息. 但是普通短信信息容量少, 对人的吸引力小, 作为简单的通知信息尚可, 日常交流已经相对略感乏味, 彩信的发送成本又太高. 传统的短信交流已经逐渐被微信, QQ 等互联网交流工具代替.

为了充分发挥短信的优势, 在短信交流的同时提高交流的兴趣. 中科院张松懋研究员将全过程计算机辅助动画自动生成技术^[1]创造性的应用到手机短信中来, 提出了手机短信 3D 动画自动生成系统. 该系统底层以图形学技术为支撑, 在上层运用人工智能技术以及电影艺术进行实现, 将手机短信转化为一段表达短信内容的简短三维动画, 发送给接收方. 3G 乃至 4G 通信技术的发展为此技术的实现提供了良好的先决条件.

摄像机规划^[2]是三维场景动画不可缺少的一部分, 摄像机规划就是解决在三维环境中, 观众观察的焦点

① 收稿时间:2015-05-19;收到修改稿时间:2015-07-02

应该在哪里, 摄像机应该朝向哪个方向以及如何运动等问题. 一个好的摄像机规划能够清晰的表现场景动画的主要内容.

在本系统中, 初期并不存在摄像机规划, 而是在已有动画场景内设置几个固定摄像机, 拍摄不同角度的场景信息, 不能保证拍摄场景中添加进去的所有主题模型, 这样生成的动画画面单调、内容简单, 不能清晰的表现短信内容. 而且随着完全自动生成场景的实现, 需要一个完整的摄像机规划与之配合.

本文摄像机规划的目的是根据短信内容主题, 以及三维场景内物体模型对主题的表现力度, 在一定的规则说明的限制下, 得到拍摄目标、拍摄手法、运动路径等摄像机参数, 再通过不同的镜头组合方式, 使动画生动形象的表现出短信所要表达的内容.

2 相关工作

目前对摄像机系统的研究主要从下面三个方面进行: 一、基于数值计算的摄像机规划. 最早开始于由 Jim blinn^[3]在 1988 进行建立一种基于数值计算的摄像机系统. 二、基于人机交互的摄像机系统. 如 Phillips 于 1992 年完成的 jack 系统^[4], 该系统产生画面, 由用户对系统进行评价, 通过评价来修改摄像机的属性. 三、基于约束和最优化的摄像机的系统规划. 通过一组约束或目标函数对最终画面的要求进行描述, 现在大多数摄像机规划系统都是通过这种方式来进行的. 主要有: Doree Seligmann^[5]设计的 IBIS 系统, IBIS 系统是一个通用的, 由文本生成图像(非连续性动画)的系统, 其主要的工作方式是基于规则库的.

而对于三维动画方面的摄像机自动生成的研究, 以陆汝钤院士领导完成的天鹅系统^[6]中为主, 其中的摄像机规划部分, 对基于知识库与规则推理的模式摄像机自动生成进行了深入的研究与实现.

在课题组之前的课题中, 小组成员在动画自动生成系统中对摄像机规划进行了研究. 其中, 王曦^[7]以动画自动生成技术为背景, 对摄像机规划中导演知识库的结构、定性的虚拟导演及定量的虚拟摄像师算法进行了研究, 建立了贯穿定性、定量两大层次的摄像机规划系统. 王巍峰^[8]基于古建动画自动生成系统, 对分镜头系统中定性分镜头规划的规则设计与摄像机定量规划算法进行了研究, 建立了包含定性、定量两部分的分镜头系统.

3 流程简介

手机短信 3D 动画自动生成系统整体流程如图 1 所示, 以中文短信作为输入, 在信息抽取模块对短信信息进行抽取, 进行主题模板以及命名实体的匹配; 情节定性规划部分根据抽取匹配得到的信息, 选择动画类别, 对动画场景中的模型进行增删规划, 然后进行动作、色彩、变形、光照等方面的规划, 将规划结果写入情节规划文档; 情节定量规划模块对定性规划的结果进行定量计算, 对动画文件进行操作, 进而生成可以渲染的动画场景文件; 最后进入网络渲染模块进行渲染, 生成可播放的动画文件, 将动画网址随短信一同发送给接收方, 供其观看下载.



图 1 手机短信 3D 动画自动生成系统整体流程图

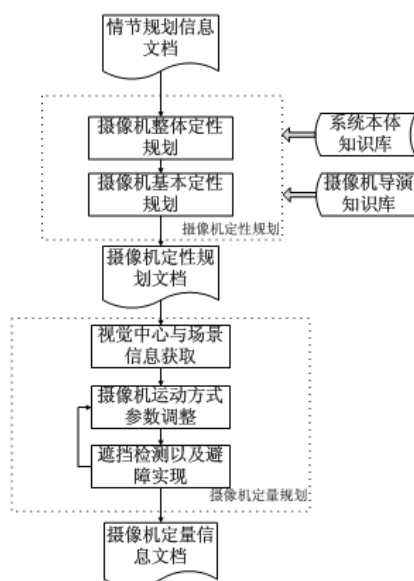


图 2 摄像机系统整体架构图

其中, 摄像机规划部分处于情节定性规划与定量规划之间. 其工作主要可以划分为两大部分: 摄像机定性规划和摄像机定量规划, 如图 2 所示.

3.1 摄像机定性规划

本模块以情节规划信息作为输入, 分为两个步骤进行处理, 首先摄像机整体定性规划中, 抽取出情节规划中给出的场景信息与人物、模型以及基于这些人物、模型的动作、表情、变形等相关附加信息并加以分类, 结合系统本体知识库得到整体定性规划信息; 然后通过分析各类物体对于主题、模板的表现力度, 结合摄像机导演知识库中摄像机的拍摄手法与属性刻画, 以及基于场景主题模板等信息的推理规则, 进行加权计算与逻辑推理, 获得摄像机基本定性信息. 最终的摄像机定性信息包括了摄像机的拍摄手法, 摄像机属性以及组合方式等描述信息, 为定量规划的实现打下基础.

3.2 摄像机定量规划

本模块的重点是计算, 接收定性规划信息, 根据预先标注以及实时获取的场景、人物、模型等有关数据, 结合定性定量转换表中设定的摄像机属性的数据范围, 进行摄像机规划的定量数据计算, 主要包括各种拍摄手法的实现逻辑和多摄像机组合的连接数据计算, 以及简单的摄像机避障计算. 最终得到该动画场景中摄像机在每一帧的位置与属性数据. 本系统底层采用 Maya 动画软件作为图形学支撑, 因此通过 Maya 的接口, 将定量的摄像机数据写入 Maya 文件, 最终通过渲染动画实现摄像机规划的效果输出.

4 摄像机定性规划

摄像机定性规划的实现, 主要依靠内容丰富的系统本体库, 结合摄像机导演知识库进行逻辑推理. 其中, 系统本体库经过课题组成员的逐步完善, 已经实现了基本的构架, 并且成功的运用到了系统中, 实现了情节规划这一重要板块. 下面首先简单的介绍一下已有的系统本体库, 然后对摄像机导演知识库的设计实现进行介绍.

4.1 系统本体库

整个系统的知识库, 其建立使用了 Protégé, 由各种动画相关的类及类的属性组成, 主要包括 Animation Scene(动画场景类, 如图 3 所示)、Animation Model(动画模型类, 如图 4 所示)、Topic(场景主题类)、

Template(模板类), Action(动作类, 如图 5 所示).

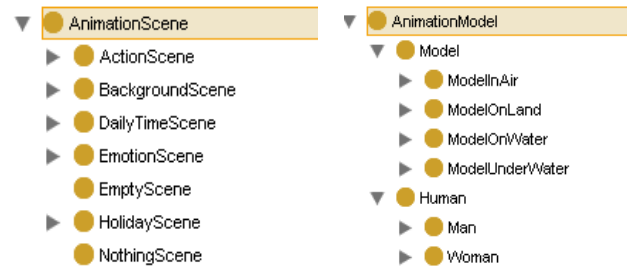


图 3 动画场景类知识库 图 4 动画模型类知识库



图 5 动画动作类知识库

1. Animation Scene, 动画场景类首先根据动作, 情绪等常见属性进行简单划分, 然后通过场景类型属性“Scene Type ID”区分为室内场景, 室外场景, 室内外场景等种类. 场景类的划分对摄像机基本定性规划有着很重要的意义. 室内的场景由于空间比较小不太适合摄像机的过分移动, 移动的摄像机更适合在室外进行, 室内外的场景的摄像机如果室内外都需要拍摄, 由于房屋的存在, 切镜头将减少很多不必要的遮挡计算和处理.

2. Animation Model, 模型类分为 Model(模型)和 Human(人物)两个子类, Model 类主要描述了日常生活中的各类物体, 根据主要存在的位置以及物体的大小又分为几个小类; Human 类则列举了人物, 根据性别、年龄分为不同的子类.

3. Action, 由于具有动作的模型主要有人物和动物, 动作类主要描述了人物和动物的动作. 动作是表现主题的重要方式, 不同的动作对应不同的摄像机拍摄方式, 一个好的动作划分对摄像机规划有很大的帮助. 例如一个属性“is Moving”的属性值为 true 的动作, 表示该动作具有位移变换, 那么在拍摄具有该动作的模型时, 就需要摄像机有跟拍动作.

4. Topic 和 Template, 主题和模板是整个系统定性

部分的中心, 主题类分为日常生活, 情感, 动作等类型, 模板类总结了生活中发生故事的地点, 背景等信息. 短信作为生活交流的载体, 大都会贴合一定的主题, 或者符合特定的故事模板. 通过主题模板引导整个动画场景, 人物, 模型的发展, 使得整个动画生成有条理符合逻辑.

4.2 摄像机导演知识库

根据日常生活中的常识, 结合电影中几种常用的拍摄手法, 以及摄像机镜头的属性, 进行分类划分. 并且结合系统本体库的信息, 构建摄像机方案与属性的推理规则库, 配合自定义的逻辑进行摄像机定性规划的实现.

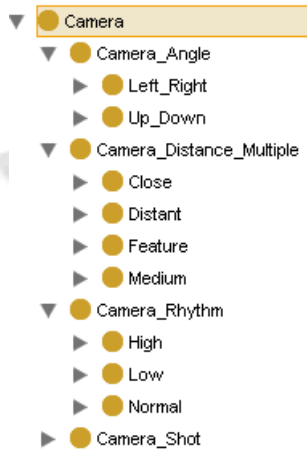


图 6 摄像机属性知识库

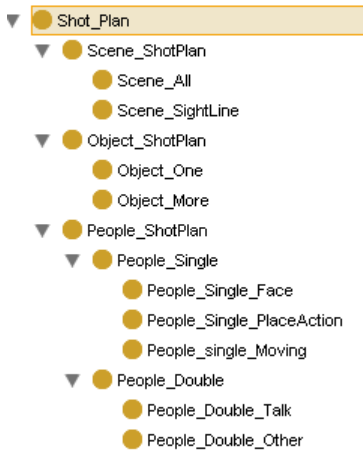


图 7 摄像机拍摄方案知识库

其中, 摄像机导演知识库包括两个类库: Camera(摄像机属性库, 如图 6 所示)、Shot Plan(拍摄方案库, 如图 7 所示)以及一个规则库.

1. Camera 库描述摄像机镜头的拍摄属性. 包括

Camera Shot(镜头类)、Camera Angle(拍摄角度类)、Camera Distance(拍摄距离类)、Camera Rhythm(拍摄节奏类).

Camera Shot 类主要描述摄像机拍摄方式, 将其分为 Single(单镜头)和 Combine(组合镜头), Single 采用六种最常用的拍摄手法: 定、推、拉、移、转、跟(根据位移选择), Combine 主要拍摄人物, 有以下四种: Follow Group(跟拍组合镜头)、Internal Reverse Angle(内反拍角度组合镜头)、External Reverse Angle(外反拍角度组合镜头)、Parallel(平行组合镜头);

Camera Angle 类根据俯仰幅度和左右旋转角度分为两个小类: 俯仰旋转和左右旋转; Camera Distance 类描述了摄像机的拍摄景别, 分别为特写、近景、中景、全景; Camera Rhythm 类描述了摄像机拍摄的节奏, 分为快、正常、慢三种.

2. Shot Plan 总结了三种常用的拍摄方案. 包括 Scene Shot Plan(针对场景的镜头拍摄方案)、Object Shot Plan(针对物体的镜头拍摄方案)及 People Shot Plan(针对人的镜头拍摄方案).

本系统中动画场景分为室外场景、室内场景、二维背景的舞台场景以及全自动生成场景四大类. Scene Shot Plan 的子类包括 Scene All(拍摄全部场景方案)和 Scene Sightline(视线方向轴线拍摄场景方案). 全景拍摄方案几乎在每个场景都会用到, 而视线方向轴线拍摄方案在一些有特定轨道(如公路、桥等)的室外场景中可进行使用, 并有不错的效果.

Object Shot Plan 的子类包括 Object One (单物体拍摄方案)和 Object More (多物体拍摄方案). 其中单物体拍摄方案中又有 Static(静止)和 Moving(运动)之分, 而多物体拍摄方案目前只设计了 Static 状态的方案.

People Shot Plan 的子类包括 People Single(单人拍摄方案)和 People Double(双人拍摄方案), 单人拍摄方案中包括 People Single Face(面部动作)、People Single Place Action(原地动作)、People Single Moving(移动动作), 双人拍摄方案包括 People Double Talk(交谈动作), 对于 People Double Other(双人独立动作), 直接拆分理解为两个单人的动作进行动画镜头规划.

为了节省规则库的推理时间, 导演知识库包含一部分自定义逻辑, 用以表述拍摄方案和镜头属性之间的关系, 以及一些常识性的主题模板动作相关的拍摄

方案逻辑,通过属性和约束条件进行限制。例如:校园场景是一个室外场景,根据校园一般为矩形规则场景的特点,可以定义其拍摄方案包含方案 Scene All,即: *School Scene has Shot Plan Scene All*;

3. 规则库用于补充 Protégé 自身的推理逻辑,规则内容包括镜头方案和拍摄属性的推理。通过分析基本的生活常识,结合场景类别、模型类别、主题、模板、动作类型等系统知识库内容,给出相应的镜头方案和拍摄属性选择。

摄像机拍摄方案的推理,例如:

```
OutdoorScene(?x)^have_people(?x,?y)^have_topic(
?x,?z)^RunTopic(?z)^have_action(?y,?a)^RunningAction(
?a)^isMoving(?a)-> People_Single_Moving(?y);
```

其推理逻辑描述如下:

室外场景有一个跑步的人,短信主题是跑步,并且跑步是有位移的,那么就采用 *People_Single_Moving* 这种拍摄方案,拍摄正在跑步的这个人。

摄像机镜头属性的推理,例如:

```
AnimationScene(?x) ^have_topic(?x,?o) ^slow(?s)
^inverse_of_include_topic(?o,?s)-> shot_rhythm(?x, ?s);
```

其推理逻辑描述如下:

一个拥有主题气氛的动画场景,这个主题气氛被包含于拍摄节奏 *slow* 中,那么该场景的拍摄节奏为 *slow*。

4.3 定性规划流程

摄像机定性规划接收上层情节规划的内容,提取其中场景、人物、动作、模型等信息,结合摄像机导演知识库,根据推理机制得出摄像机定性规划语言。

例如短信:我们去爬山吧!

在信息抽取模块,将短信进行中文分词,然后信息抽取,获取短信主题“爬山”,情节定性规划部分根据主题模板,得到可用场景、添加人物、动作等信息,进而得到情节规划信息,如图 8 所示(由于信息量大,仅列举与摄像机相关的几条规则)。

```
- <maName name="Mountain.ma"
  topic="ClimbMountainActionTopic" music="tk05.mp3">
  <rule ruleType="addToMa" addModel="girl.ma"
    class="YoungGirl" spaceName="SP_storm_A"
    type="people" isTarget="1" degree="" number="1"
    addModelID="addModelID7" />
  <rule ruleType="addActionToMa" type="action"
    usedModelID="addModelID7" usedModelInMa="girl.ma"
    actionName="Climb_Up_Down" ifAddConstraint="false" />
```

图 8 部分情节定性规划信息

摄像机定性规划则根据主题、场景、人物动作等信息,结合知识库推理得到图中摄像机定性规划信息(图 9):第一条规则创建摄像机;第二条规则拍摄全景信息,采用定俯拍,以中景方式正常速度拍摄;第三条规则突出拍摄人物爬山的动作,采用单人移动拍摄方案,组合跟拍爬山的女孩,侧后方近景略慢速度拍摄,体现人物爬山的劳累。

```
<rule ruleType="CreateCamera" CameraName="newCamera" />
<rule ruleType="SetCamera" CameraName="newCamera"
  ShotPlan="SceneAll" CameraShot="Fix"
  UpdownAngle="lookdown.middle"
  LeftrightAngle="nearside.front" Multiple="medium.middle"
  Rhythm="normal.middle" startframe="1" endframe="60"
  startinall="1" endinall="60" />
<rule ruleType="SetCamera" CameraName="newCamera"
  ShotPlan="PeopleSingleMoving" CameraShot="FollowGroup"
  TargetModelID="addModelID7" UpdownAngle="forehand.high"
  LeftrightAngle="offside.rear" Multiple="close.far"
  Rhythm="normal.slow" startframe="61" endframe="180"
  startinall="61" endinall="180" />
```

图 9 摄像机定性规划信息

5 摄像机定量规划

5.1 定性到定量的转化

上文所述通过知识库和规则库的推理最终得到了摄像机定性规划信息,而这些定性的描述需要转化成准确的定量信息,为此,在定性层与定量层转化中我们使用了 XML 存储了一个数据对应表(图 10)。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
- <Camera>
- <Angle>
- <Updown>
  <lookdown high="70:90" middle="50:70" low="30:50" />
  <forehand high="10:30" middle="10:10" low="30:10" />
  <lookup high="90:70" middle="70:50" low="50:30" />
</Updown>
- <Leftright>
  <nearside rear="150:110" middle="110:70" front="70:30" />
  <forward left="30:10" middle="10:10" right="10:30" />
  <offside rear="110:150" middle="70:110" front="30:70" />
  <backside left="150:170" middle="170:190" right="190:210" />
</Leftright>
</Angle>
- <Multiple>
  <feature far="0.8:1" middle="0.6:0.8" near="0.4:0.6" />
  <close far="1.4:1.6" middle="1.2:1.4" near="1:1.2" />
  <medium far="2:2.2" middle="1.8:2" near="1.6:1.8" />
  <distant far="2.6:2.8" middle="2.4:2.6" near="2.2:2.4" />
</Multiple>
- <Rhythm>
  <high fast="30:32" middle="28:30" slow="26:28" />
  <normal fast="24:26" middle="22:24" slow="20:22" />
  <low fast="18:20" middle="16:18" slow="14:16" />
</Rhythm>
</Camera>
```

图 10 定性定量数据转换表

其中 Angle 节点下包含俯仰角度与旋转角度两个子节点,数据单位为度数,将定性描述的信息对应的刻画为度数的范围。Multiple 的值是一个距离的倍数,用来表示景别信息,最终根据 Multiple 的值与拍摄目标的包围盒大小结合摄像机的焦距与视角大小,即可

得到不同景别下摄像机与拍摄目标间的距离,再通过不同的视点位置实现不同景别下的拍摄。Rhythm 表示动画的播放的节奏,是通过渲染时动画帧数与时间不同的比例进行调节,正常速度下为 24 帧对应 1 秒,通过调节摄像机的这个比例就可以实现不同的动画节奏。

数据对应表中的定量数据目前采取范围内随机值选取的方式,通过转化表就可以把定性的信息转化为定量的信息,将定性输出转化为定量输出。

5.2 定量实现

定量计算部分,接收到定性规划转化而来的定量信息,其中包括拍摄目标,距离倍数,俯仰角度,旋转角度(初始和结束),起始帧,结束帧等,需要结合视觉中心(即拍摄目标的中心)和场景内模型信息等数据,进行定量计算。根据场景的空间大小计算出摄像机的最大运动范围,根据拍摄目标的包围盒大小以及摄像机的角度,景别等信息计算出摄像机的空间位置。通过区分拍摄目标与障碍物,进行摄像机视线与障碍物的碰撞检测^[9-11],进而实现对障碍物的规避,最终得到动画场景中每一帧的虚拟摄像机的参数数值。

由于本系统底层采用的是 Maya 动画软件,不能通过 XML 语言进行直接驱动,所以系统调用 Maya 的底层接口进行虚拟摄像机参数赋值,从而实现摄像机定性规划中描述的摄像机拍摄方案。

6 实验结果及分析

由于二维背景的舞台场景中舞台背景是表现场景主题的主要方式,而舞台背景仅仅是一块固定大小的屏幕,因此只有特定角度和距离的摄像机可以得到预期效果,因此此类场景不添加摄像机。

摄像机规划主要针对三维空间场景,添加一个表现场景内容的摄像机。为此,我们统计了 2015 年三月份到五月份成功完成系统流程的短信 287 条,其中有 86 条短信是针对二维背景场景的,未进行添加摄像机规划;有 107 条是针对已有室内室外场景添加摄像机规划的,有 94 条针对完全自动生成场景添加摄像机规划。

在 201 条添加摄像机规划的短信中,成功按照摄像机规划拍摄的有 172 条。如图 11 所示,其中已有场景中添加成功 94 条,完全自动生成场景中添加成功 78 条。造成摄像机规划实现失败的原因主要有三种:1.由于摄像机规划的主体模型没有加入到动画场景中导致

的。2.摄像机拍摄背色主体模型的名字跟 Maya 文件里模型节点名字不一致。3.模型在 OWL 的名称或是数据不正确,计算过程中出现了错误。

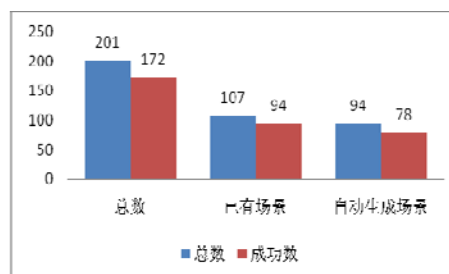


图 11 摄像机规划具体数目和成功数目

对于成功进行摄像机规划实现的短信,其中拍摄目标与拍摄手法符合短信意图的短信数目占总数目的比例仅仅约为 61%,较之无摄像机规划的短信符合率有较大提升,但与预期效果仍有差距。造成这方面失败的原因主要有两种:1、短信文本分析时的语意缺失和语意错误致使摄像机规划失败;2、系统知识库不够完善,主题模板不能匹配所有的短信内容。

通过对以上信息的分析与总结,我们清晰的了解到摄像机规划目前存在的问题和不足,并使我们充分认识到本体库和实例库完整性的必要,我们对这些容易出问题的地方又进行了细致的规划和设计,并将在下一版中进行改进。以下是对摄像机实验的结果展示和分析。

以已有场景 room.ma 添加摄像机规划为例,已有场景本身存在特定角度的摄像机,如图 12 所示,该摄像机不会因添加进去模型而发生变化,不能拍摄到场景中关于情节的有效模型;而图 13 中所示自动添加的摄像机,通过摄像机规划产生,将情节规划添加进去的模型包含在镜头内,更符合短信内容的表达。



图 12 原有摄像机效果图



图13 摄像机规划摄像机效果图

而以完全自动生成场景为例,图14是短信“爬山”生成的动画中的一个,在完全空的地面上添加了 hills 模型表示爬山的主题,摄像机规划则根据该模型对于主题良好的表现力度,将该模型作为拍摄目标。

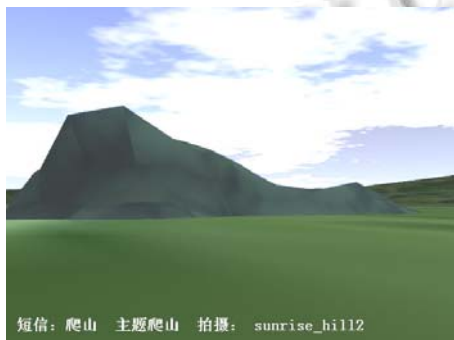


图14 完全自动生成场景摄像机规划效果

7 结语

本文以动画自动生成技术为背景,介绍了手机短信3D动画自动生成系统中摄像机规划的作用和意义,重点研究了基于本体库推理的摄像机定性规划及基于数值计算的摄像机定量规划,设计并实现摄像机系统模块后嵌入到手机短信3D动画自动生成系统中。

但是本文的研究仍处于初级阶段,对于知识库的构建需要不断的完善,相关的规则需要继续丰富,并且应该提高使用本体语言自身的推理逻辑的效率。对于定量数据计算方面,现在的计算仅仅是实现了简单的拍摄手法,以及常用的拍摄组合,对于丰富多彩的

动画内容不能完善的表达,需要学习更多的电影拍摄技巧,运用到系统中,提高对于情节主题的表达能力。另外,需要对遮挡检测和遮挡处理进行深入的研究,提高系统实现的效率和准确率。

参考文献

- 1 Lu R, Zhang S. Automatic Generation of Computer Animation. New York/London: Springer, 2002.
- 2 Christie M, Machap R, Norm J, et al. Virtual camera planning: A survey. Proc. Smart Graphics, 2005:40-52.
- 3 Blinn J. Where am I? What am I looking at? IEEE Computer Graphics and Applications, July 1988.
- 4 Phillips CB, Badler NI, Granieri J. Automatic viewing control for 3d direct manipulation. Proc. of the 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics. New York, NY, USA. ACM Press. 1992.
- 5 Seligmann DD, Feiner S. Automated generation of intent based 3D illustrations. Computer Graphics, 1991: 123-132.
- 6 陆汝钫,张松懋.从故事到动画片——全过程计算机辅助动画片自动生成.自动化学报,2002,28(15):321-348.
- 7 王曦.动画自动生成系统中摄像机规划的研究[学位论文].北京:北京工业大学,2007.
- 8 王巍峰.古建动画自动生成中分镜头系统的设计与实现[学位论文].北京:北京工业大学,2010.
- 9 Yeh I, Lin CH, Chien HJ, et al. Efficient camera path planning algorithm for human motion overview. Computer Animation and Virtual Worlds, 2011, 22(2-3): 239-250.
- 10 Henrich D, Gecks T. Multi-camera collision detection between known and unknown objects. IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras. IEEE. 2008. 1-10.
- 11 Bin F, ZL W, Xiwei G. Four-dimensional space and time hierarchical collision detection method based on AABB bounding box. Computer Measurement & Control, 2014.