

手机短信 3D 动画中光照规划的自动生成^①

黄 蕾, 王晓飞

(北京工业大学 信息学部, 北京 100124)

摘 要: 手机短信 3D 动画自动生成系统是根据发送方短信的内容, 经过信息抽取、语义分析等一系列步骤, 最终生成一段与短信内容匹配的三维动画并发送给接收方. 动画中光照不仅能照明整个场景, 还能起到烘托主题、表现氛围等作用. 本文重点研究面向手机短信 3D 动画自动生成系统中光照的自动生成, 主要从定性规划和定量计算两方面着手. 定性规划的主要任务是通过本体库刻画与光照相关的主题、模板, 利用规则库将主题、模板、场景、光照属性等以规则的方式关联起来. 定量计算的主要工作是结合具体场景, 将定性规划的信息转化为具体数据, 然后调用 Maya API, 将定性规划的结果在 Maya 场景中实现.

关键词: 三维动画; 定量计算; 定性规划; 光照效果

引用格式: 黄蕾, 王晓飞. 手机短信 3D 动画中光照规划的自动生成. 计算机系统应用, 2017, 26(10): 102-109. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/5981.html>

Light Planning in Automatic Generation of 3D Animation for Mobile Phone Short Message

HUANG Lei, WANG Xiao-Fei

(Information Science Division, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In accordance with the sender's message, through a series of steps such as information extraction and semantic analysis, the SMS automatic 3D animation generating system can generate a 3D animation and eventually send it back to the sender. The animation light cannot only light the whole scene, but can also foil themes, atmosphere, etc. This paper mainly focuses on automatic generation of light in SMS automatic 3D animation generating system, including qualitative planning and quantitative calculation. The qualitative planning describes themes and templates which are about light by ontology. The rule base is used to combine the subject, templates, scene, and illumination properties by rules. The quantitative calculation is combined with the specific scene, the qualitative planning information into specific data, and then calls the Maya API, and the results of qualitative planning in the Maya scene.

Key words: 3D animation; quantitative calculation; qualitative planning; lighting effects

1 引言

手机短信作为现代通讯方式, 以其便捷、及时、实惠等特点成为当代人日常交流工具. 但短信内容的枯燥、乏味, 也是人们选择其他通讯工具的主要原因. 为了弥补短信内容的枯燥、乏味, 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]应用到手机短信中, 提出并研发了面向手机短信 3D 动画自动生

成系统. 该系统将图形学知识与人工智能技术相结合, 把短信文本转化为一段与短信内容匹配的三维动画, 并发送给接收方. 同时, 4G 及无线网络通信技术的发展也为该应用的实现提供了良好的先决条件.

在影视、动画作品中, 光照效果的好坏直接关系到作品的成败, 不论是角色、场景还是道具都需要进行合理的光照设计. 因此, 光照效果的塑造是影视、动

^① 收稿时间: 2016-12-22; 采用时间: 2017-02-13

画作品制作的重要环节。在影视、动画作品的用光中,光的语言有两种形态:直接呈现的语言和暗示性语言。直接呈现的语言是指在作品中通过光照再现出被摄对象的真实形态,画面的意义是直接由被摄对象表达出来的。暗示性语言,属于一种光线气氛,是通过光线效果制造出表象的意味^[2]。

初期,手机短信 3D 动画自动生成系统中并不存在光照规划,仅在已有的场景中设置几盏固定的灯光,而且这些灯光的颜色和亮度都不会改变,这样容易造成光照效果在场景中一成不变,并且不能保证光照效果与短信表现的内容相匹配。同时,随着完全自动生成场景的实现,系统中也需要一个完整的光照规划与之配合。为此,本文提出在手机短信 3D 动画自动生成系统中增加光照规划,使添加光照规划后的动画视频满足以下效果:一、塑造时空间感,光照在动画场景中不仅起到照明的作用,还可以通过光照描述时间、展现静态空间的立体感等^[3,4];二、通过光照奠定动画场景的基调,表现动画的气氛和氛围,突出短信的主题。

本文完成主要的工作是首次在 3D 动画自动生成系统实现全过程光照自动生成。具体内容包括:将语义网技术应用于手机 3D 动画自动生成系统的光照规划部分,构建光照本体库和规则库,并通过情节推理对动画的光照进行规划。

2 相关工作

在生活、电影、艺术品的布光中,通常采用美国设计大师查德·凯利(Richard Kelly)提出的三点照明法^[5],该方法提到的照明有: Ambient Light(环境照明)、Focal Glow Light(焦点照明)、Scene Lighting(情景照明)。环境照明的作用是照亮整个场景,焦点照明的作用是塑造形象,情景照明的作用是表现气氛、氛围等。这种方法可以将人物或模型的立体感、纵深感等基本造型呈现在镜头中,是一种保证被摄物体基本造型的程式化照明方法。

在三维动画布光中,根据人工干预的工作量,将光照规划分为三类:非自动规划、半自动规划、自动规划。非自动光照规划是人为手工调节或设置场景中的灯光。通常,动画设计师借鉴三点照明法的思想对场景布光,通过主光描绘物体的轮廓,辅光照亮主光没有照亮的部分,轮廓光勾画物体的外轮廓,背景光烘托整个

环境的气氛和基调^[6]。半自动光照规划是借助动画软件,预先设置若干种光照布局,根据场景或情景表现的需要,来选择所需要的光照布局。例如 2010 年德国乌尔姆大学的 Holger Dammertz^[7]等人建立了一种基于认知的全局照明系统,包括一个主光源和多个辅助光源。这个灯光系统可以通过对局部和整体形状的认知来表达视觉信息。陈鹏^[8]提出一种针对三维光影效果进行快速控制的方法,依据三维场景中光源的特点,构建灯光阵列,预设置若干种不同时间段的场景效果,然后人工选择适合的光照效果。自动光照规划,一般运用于自动生成系统中,依据场景中灯光的特性,结合剧本知识,自动生成与剧本匹配的光照效果。赵焯^[9]提出在手机 3D 动画自动生成系统中增加通用灯光布局和专用灯光布局,通用灯光布局表示一个灯光布局可以运用于多个动画场景,而专用灯光布局只适合一个特定的动画场景。刘畅^[10]提出在手机 3D 动画自动生成系统中增加灯光背景组合规划,将自动生成灯光与场景的背景关联起来。

3 系统介绍

3.1 系统流程

手机短信 3D 动画自动生成系统是以中文短信作为输入,使用机器学习算法的思想和方法对短信内容预处理,包括信息抽取、情感分析、命名实体识别等步骤。本系统利用哈尔滨工业大学自然语言处理系统对短信进行标注,再经过命名实体识别^[11]和否定分析器^[12],提取出短信中的主题、模板等信息,然后将这些信息作为各个子系统的输入,进入下一步处理步骤。其中,子系统主要包括情节规划子系统、变形规划子系统、动作规划子系统等,它们分别实现动画中的情节、模型的变形,人物的动作等功能。这些子系统并不是简单的耦合,而是有一定的关联。例如,情节规划的结果包含喝水的信息,那么动作规划根据情节规划结果生成喝水的动作。每个子系统通常是由定性规划和定量计算两部分构成的。定性规划实现的是依据信息抽取的结果,对情节、人物动作、摄像机、光照等进行初步规划,生成定性描述语言;定量计算是根据场景、模型等,将定性规划的结果转化为具体的数值,通过调用 Maya API 生成相应的动画文件。最后,系统将动画文件经过渲染与合成处理,生成可以播放的动画

视频,把动画视频的网址、短信内容发送到接收方。
图1为系统流程图。

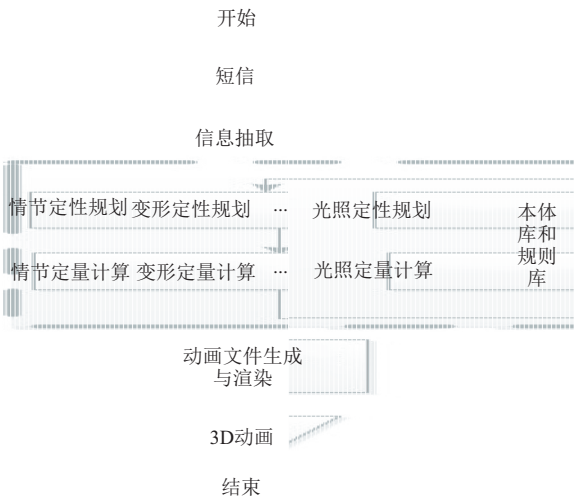


图1 手机短信3D动画自动生成系统流程图

本文研究的光照规划主要包括光照定性规划和光照定量计算两部分,具体内容包括:

(1) 光照定性规划是整个光照规划的核心部分,最

终呈现的光照效果与定性规划结果密切相关。它依据信息抽取结果为输入,首先根据光照本体库、光照规则库,生成初步光照指令,然后结合场景中影响光照的其他定性规划结果(例如,雾雨雪等),修正初步光照指令,最终将修正后的光照指令以XML形式输出。主要工作包括建立光照本体库、建立光照规则库、将光照本体库与系统本体库关联等。

(2) 光照定量计算是光照规划最后阶段,主要任务是将定性规划结果在动画场景中实现。具体工作包括:场景中灯光位置的计算、灯光颜色计算、灯光亮度计算等。

3.2 Maya 软件内置灯光

手机短信3D动画自动生成系统底层通过三维软件 Maya 实现的,为此有必要了解一下 Maya 中光源系统。Maya 光源系统中内置有六种基本灯光: Ambient Light、Directional Light、Point Light、Spot Light、Area Light 和 Volume Light。各种灯光除了具有亮度、颜色基本属性^[13]外,还具有一些其他特性,具体属性如表1所示。

表1 Maya 光源系统中基本属性部分对比

Type (类型)	Color (颜色)	Intensity (亮度)	Shadow (阴影)	Cone Angle (锥角)	Effect (特效)	Penumbra Angle (半影角)
Ambient Light	√	√	×	×	×	×
Point Light	√	√	√	×	√	×
Volume Light	√	√	√	×	√	×
Spot Light	√	√	√	√	√	√
Direction Light	√	√	√	×	×	×
Area Light	√	√	√	×	√	×

本文主要通过灯光的颜色、亮度、特效、阴影来表现短信的环境、气氛。灯光颜色是依据色彩理论知识,根据颜色的冷暖色调,设置相应的属性值。本文中,颜色的色调分为暖色调、冷色调和中性色调。其中红、黄、橙为暖色调,青、蓝为冷色调,灰色、白色为中性色调。灯光亮度是灯光在场景中的照射效果,分为亮光、正常光和暗光。特效是依据灯光是否可以产生特殊的效果划分的,例如点光源可以模拟太阳光光辉、光雾的效果。阴影说明灯光照射到模型的时候是否灯光亮度是灯光在场景中的照射效果,分为亮光、正常光和暗光。

4 光照定性规划

光照定性规划的实现,主要依靠内容丰富的系统

本体库,结合光照知识库进行逻辑推理。其中,系统本体库经课题组成员的逐步完善,已经实现了基本的架构,并且成功的运用到系统中,实现了情节规划这一重要模块。下面简单介绍一下已有的本体库,然后对光照知进行设计进行介绍。

4.1 系统本体库

本体 (Ontology)^[14]是共享概念模型形式化的规范说明,是对一个特定领域中重要概念的共享的形式化描述。其概念包括概念 (Conceptualization)、明确 (Explicit)、形式化 (Formal)、共享 (Share) 四个方面。它是由 AI 中语义网络演化的一种概念化、结构化表示方法,被广泛应用到知识工程、软件复用、信息检索和 Web 上异构信息处理等领域。

Protégé^[15]是由斯坦福大学开发的一个开源本体编辑器. 它提供了本体概念类、关系、属性和实例的构建, 并且屏蔽了具体的本体描述语言, 用户只需在概念层次上进行领域本体模型的构建. 它界面操作简单, 构建的本体以树形结构显示. 基于以上特点, 本系统构建本体库的工具采用 Protégé.

整个系统知识库包括本体库和规则库. 本体库由各种动画相关的类及类的属性组成的, 主要包括 Topic (动画主题类, 如图 2 所示)、Template(动画模板类, 如图 3 所示)、Animation Scene(动画场景类)、Animation Model(动画模型类) 等. Topic 和 Template 是整个系统定性部分的中心, 主题类分为节日类、情感类、动作类等, 常用于描述短信中的时间、地点、节日等, 模板类是主题类的补充, 分为季节类、情绪类、食物类等. 图 2-3 为部分主题类与模板类截图, 其中每个大类下面还有具体的小类.



图 2 部分主题类截图



图 3 部分模板类截图

4.2 光照本体库建立

为了构建光照本体库, 需要对 Maya 软件中光源系统进行抽象, 建立灯光类作为父类, 及建立灯光类型(如图 4 所示)、灯光色调(如图 5 所示)、灯光亮度(如图 6 所示) 等子类. 其中灯光类型类包括 Maya 光源系统中六种基本灯光类型; 灯光色调类分为静态的和动

态的, 静态色调类包括冷色调、暖色调和中性色调, 动态色调类由两种静态色调类构成, 描述灯光色调的变化; 同理, 灯光亮度类也包括静态亮度类和动态亮度类.



图 4 灯光类型示意图



图 5 灯光色调类示意图



图 6 灯光亮度类示意图

4.3 光照规则库的设计

为了增强知识表示能力和推理能力, 人们提出了一种新的用语义方式呈现规则的语言——SWRL(Semantic

Web Rule Language)^[16]. SWRL 规则部分的概念是由 Rule ML 演变而来, 目前 SWRL 已经成为 W3C 的规范之一.

本文使用 SWRL RULS 建立添加光照效果的规则. 这些规则为定性部分的推导提供了支撑.

下面举例光照规则说明:

$AngryTopic(?t) \wedge AnimationScene(?a) \wedge coldHue(?m) \wedge lightSuitableForTopic(?m, ?t) \rightarrow addLightToMa(?m, ?a)$

该规则表示: 情节规划给出一个动画场景 (AnimationScene), 从短信中抽出一个生气的主题 (AngryTopic), 并且有一个光照效果 (coldHue) 能够表现这个主题, 则将此光照效果添加到场景中. 根据上述规则, 获得适合表达短信主题的光照实例, 读取该光照的颜色值, 存入定性信息中.

4.4 光照定性输出描述

光照定性输出描述以情节规划结果作为输入, 经

过光照定性规划, 最终生成光照定性规划描述. 照定性规划结果, 下面给出一条具体示例:

```
<rule ruleType="addLightToMa"
autoGeneration="yes" type="ambientLight"
haveShade="no" targetMode="all" haveEffect="no"
relativeLocation="roomOut" lightColor="white"
intensity="normal" isDynamic="yes"
changeFrame="160" changeColor="yellow"
changeIntensity="strong" moveDirection="up"/>
```

上述示例表明, 该灯光是在室外自动生成的动态环境光, 没有阴影和特效, 初始颜色为白色, 亮度为一般亮度, 颜色和亮度在 150 帧处开始变化, 变化后的颜色和亮度分别为黄色和强光. 该灯光的变化可以表现动画中自然环境由寒冷变温暖或者气氛变得温馨的效果. 根据上述设计的定性规划, 我们列举如下两个示例, 如表 2 所示.

表 2 短信“天阴了, 马上就要下雨了, 我们赶紧回家吧”的定性规划描述

短信内容	天阴了, 马上就要下雨了, 我们赶紧回家吧
情节规划输出	<pre><topic name="出行" key="回家"> <root name="地点" flag="" value="社会地点:家:家" color="" negFlag="0" negCont="" neg=""> <root name="天气" flag="" value="雨:雨:下雨" color="" negFlag="0" negCont="" neg=""> <root name="动作" flag="" value="形容动作:忙:赶紧 日常动作:出行:回家" color="" negFlag="0" negCont="" neg=""> <<root name="人物" flag="" value="复数人物:第一人称复数:我们" color="" negFlag="0" negCont="" neg=""> </topic></pre>
主题	出行
模板	回, 下雨, 我们
光照规划定性结果	<pre><rule ruleType="addLightToMa" autoGeneration="yes" type="ambientLight" haveShade="no" targetMode="all" haveEffect="no" relativeLocation="roomOut" lightColor="white" intensity="normal" isDynamic="yes" changeFrame="150" changeColor="" changeIntensity="feeble" moveDirection=""> <rule ruleType="addLightToMa" autoGeneration="yes" type="pointLight" haveShade="yes" targetMode="all" haveEffect="yes" relativeLocation="roomOut" lightColor="white" intensity="normal" isDynamic="yes" changeFrame="150" changeColor="" changeIntensity="feeble" moveDirection=""></pre>
说明	根据情节规划结果, 与光照有关的主题或模板为下雨, 所以, 生成的环境光和点光源是动态的, 亮度由正常变暗, 颜色为中性色调.

5 灯光位置计算

定量计算是根据具体场景, 将定性生成的属性值转化为具体数值. 其中, 计算的数据包括灯光颜色、灯光亮度、场景中灯光的位置等. 灯光的颜色是通过色彩理论知识计算所得. 灯光亮度是通过大量实验, 找到比较合理的范围, 既能有效区分亮度的级别, 又能减少渲染时间. 灯光位置的计算, 需要结合场景的类型, 设计不同的计算策略. 对于室内场景中灯光位置的计算,

需要对室内场景的边界位置提前做标注并且确保最终生成的灯光不在模型内部; 室外场景中灯光位置的计算需要考虑场景中模型 y 轴的最大值和天空球的高度.

在影视、艺术品的布光中, 关于灯光位置的论述, 最常用的是三点照明法. 三点照明法实际上指的是光从三个不同的角度对物体进行照明, 这三个灯光分别是: 主光、辅助光和轮廓光. 主光为物体提供主要照明, 光照强度最为强烈, 其位置一般与摄像机和物体所在

直线成 45 度角. 辅助光主要对场景中的物体进行辅助照明, 用来补充主光没有涉及到的区域, 其位置一般与主光垂直. 轮廓光一般放置在与主光源相对的位置, 主要为了突出物体的轮廓, 从而将场景中主体从背景中分离出来, 增加主体的深度感、立体感, 如图 7 所示.



图 7 三点照明示例

依据三点照明法的思路, 结合 Maya 场景中光照效果和手机短信 3D 动画自动生成系统中渲染模块的承受力, 本文采用的是三点照明法中的主光和轮廓光. 主光的主要作用是照明场景, 轮廓光的主要作用是突出场景中主体. 结合场景类型、场景边界、摄像机位置、模型位置等, 我们设计如下位置规划算法.

算法1. 位置规划算法LPA(Location Planing Algorithm)

输入: 场景名字M.ma, 灯光名字lightName

输出: lightName的三维坐标(x, y, z)

LPA(Ma, lighName)

Begin

(1) $x=y=z=0$;

(2) $\max X=\max Y=\max Z=0$;

(3) If Ma为室内场景 //室内场景

(4) $\max X, \max Y, \max Z$ 的值为房屋边界最大值

(4) Else //室外场景

(6) $\max X, \max Y, \max Z$ 的值为室外场景地面最大值

(7) 获取摄像机初始位置的三维坐标(a1, b1, c1)

(8) 获取摄像机所有拍摄目标的中心位置的坐标(a2, b2, c2)

(9) 取一点A(x, y, z), 与(a1, b1, c1)和(a2, b2, c2)两点所在直线成45度角, 距(a2, b2, c2)长度为

$$\sqrt{(a2-a1)*(a2-a1)+(b2-b1)*(b2-b1)+(c2-c1)*(c2-c1)}$$

(10) while(x>maxX||y>maxY||z>maxZ) //灯光坐标不在场景内, 需要移动

(11) $x=x-2, y=y-2, z=z-2$

(12) If lightName is ambientLight //轮廓光, 与主光关于(a, b2, c2)对称

(13) (x, y, z)最新值为(x, y, z)关于(a2, b2, c2)对称的位置

(14) 输出lightName的三维坐标(x, y, z)

(15) Else //主光, 直接输出即可

(16) 输出lightName的三维坐标(x, y, z)

End

根据上述算法描述, 首先根据场景类型不同计算场景的边界, 然后根据三点照明法的思路计算灯光位置, 如果灯光位置在边界外, 需要移动灯光位置, 保证生成的灯光在场景中, 最后判断灯光类型, 如果灯光是轮廓光, 需要保证灯光位置在物体背面, 如果是主光, 需要保证灯光位置在物体正面.

图 8 是根据表 2 的定性规划结果, 经过位置规划算法, 以及灯光亮度计算、灯光颜色计算等, 最终通过渲染与合成等步骤, 生成动画的截图.

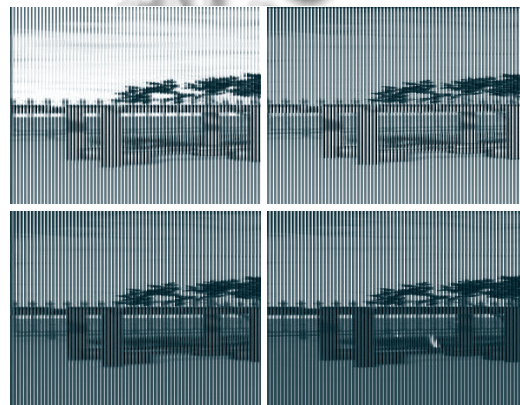


图 8 根据表 2 生成动画后部分截图

6 实验及结果分析

实验包括光照规划评估实验与光照规划多样性实验两部分, 其中光照规划评估实验的目的包括两方面, 一方面评估光照效果是否符合当前动画场景, 另一方面评估是否可以通过光照效果表达短信主题. 多样性实验的目的是验证是否可以有多种光照效果表达同一条短信内容.

6.1 光照规划评估实验及分析

根据实验目的, 本人统计了课题组 2016 年 5 月到 11 月之间测试的短信, 共计 320 条, 测试人员为课题组人员, 短信内容为开放的文本, 内容长度一般在 20 字之内. 其中添加失败的有 17 条短信, 造成原因有: 人为启动程序不当、渲染服务异常. 其余 303 条短信全部生成动画并且实现自动添加光照效果. 由于实验结果是以动画的形式展现, 为了进一步分析添加动画后的效果, 本文采用调查问卷的方式评估光照效果. 从成功添加灯光效果的 303 条短信中随机抽取 120 条, 设计两个评价指标, 分别是“我认为光照效果符合动画场景”、“我认为可以通过光照效果表达短信主题”, 所有

指标均采用十分制, 评价分值越高, 说明光照效果越好. 本次问卷共发放 120 张, 填写调查问卷的人群为随机抽取人员, 都是非课题组成员, 收回 120 张, 并对其统计. 统计结果如图 9 所示.

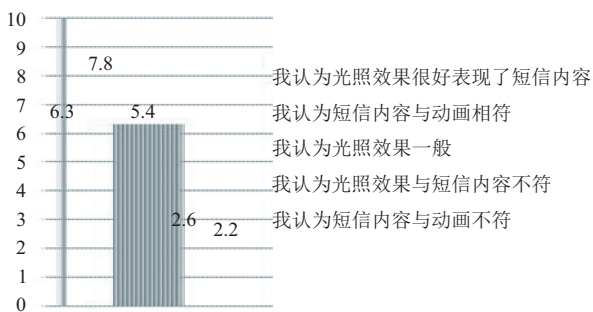


图 9 光照规划可行性实验统计结果图

根据图 9 得分统计, “我认为光照效果符合动画场景”的加权平均分为 7.8, “我认为光照效果可以表达短信主题”的加权平均分为 5.4. 通过上述数据说明, 在系统中添加光照规划是比较被认可的, 达到了本文设计的初步要求.

在“我认为光照效果符合动画场景”的评价中, 部分分值低于 4 分, 主要原因有雪地场景反光、部分模型材质的反光. “我认为光照效果可以表达短信主题”评价得分较低的原因: (1) 与观看者主观因素有关, 针对同一个动画视频, 不同的观看者可能对动画中的光照效果有着不同的理解; (2) 同一个动画视频, 在不同分辨率的显示器上播放, 差异也很大. 为此, 在后续的光照规划改进过程中主要注意两方面工作: (1) 材质对光照的影响; (2) 更多的学习在影视、动画中布光技巧, 提高通过光照效果表达短信主题的能力.

6.2 光照规划多样性实验及结果分析

光照规划多样性不仅体现在相同的主题或模板, 会有不同的光照效果; 也体现在光照定性规划相同的情况下, 定量计算中光照亮度及颜色也会有差别. 这就使得光照规划在符合情节表达的基础上拥有了更多的变化, 丰富了动画的视觉效果, 这也是光照规划另一个较大的优点. 为此, 本次试验选取了 50 条短信, 每条短信分别进行 10 次光照规划, 统计每一条短信会有多少种不同的光照效果, 得到统计结果如图 10 所示.

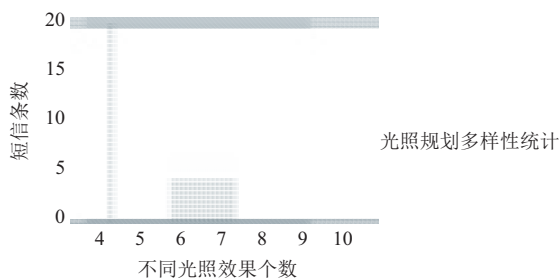


图 10 光照规划多样性实验统计结果图

图 10 中, x 轴一条短信测试 10 次, 出现不同光照效果的个数. 从表中可知, 出现 6 个不同光照效果的短信最多, 约占总短信数 32%; 大于 6 个光照效果的短信约占有 36 条, 占总短信数的 72%. 总体来看, 短信多样性取得较好效果.

图 11 是根据短信“时间过得好快, 好着急”进行多样性实验, 取其中 4 种不同光照效果的截图.

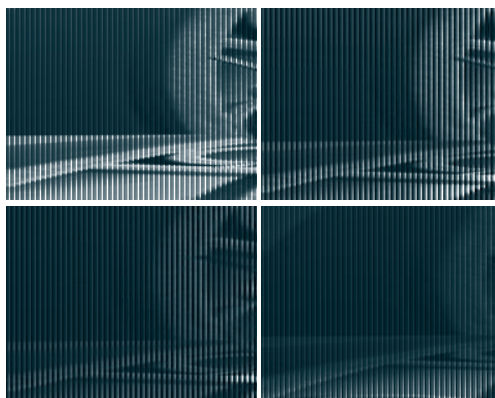


图 11 光照规划多种效果示意图

7 结语

本文研究的主要内容是首次在 3D 动画自动生成系统中添加光照的自动生成. 将语义网技术、Maya 中光源应用到手机 3D 动画自动生成系统中, 实现光照的自动生成, 是对全过程计算机辅助动画自动生成技术的又一次应用和实现. 光照效果的自动生成主要实现的功能有: 通过光照表现动画的时间感和空间感; 通过光照表现动画中的气氛和氛围. 具体工作包括定性规划和定量计算两部分. 其中定性规划描述灯光属性与短信主题、短信模板之间的关系, 定量计算结合具体场景, 将定性规划结果转化为具体数值, 从而实现光照的自动生成.

目前, 光照规划自动生成处于测试与改进阶段. 测试期间, 为避免较长时间不能渲染出动画, 对后续短信

测试产生影响,为此,系统设置从输入短信到渲染合成动画的时间最大值为2小时。经过大量测试后,也发现一些潜在的问题和不足。主要表现在以下两方面:(1)场景中会有一些对光比较敏感的材质^[17,18],影响灯光最终呈现的效果;(2)由于短信文本是开放的,信息抽取结果不可能100%准确,最终导致光照效果可能与短信表现的氛围不符。

针对以上的不足,在光照规划后续的版本中,需要提高信息抽取的准确率,使灯光能准确表达短信的情感。同时,考虑材质对灯光的影响。

参考文献

- 1 陆汝铃,张松懋.从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):321-348.
- 2 周渝果.三维动画灯光的设计与构思.艺术科技,2015,(10):75. [doi: 10.3969/j.issn.1004-9436.2015.10.064]
- 3 金析.光影对动画角色情感的表达.大众文艺,2015,(8):67-68.
- 4 中岛龙兴.照明灯光设计.马卫星,译.北京:北京理工大学出版社,2003.
- 5 程娟,钱晋,钱珂.灯光系统在三维场景中的应用策略.景德镇高专学报,2009,(2):48-49.
- 6 毕露予.三维动画中灯光设计的表现风格.大舞台,2011,(12):137. [doi: 10.3969/j.issn.1003-1200.2011.12.108]
- 7 Horridge M, Knoblauch H, Rector A, *et al.* A practical guide to building OWL ontologies using the Protégé's-OWL plugin and CO-ODE tools: edition 1.0. Manchester: The University of Manchester, 2004.
- 8 陈鹏.三维场景光影效果控制与渲染的研究与实现[硕士学位论文].上海:上海交通大学,2011.
- 9 赵晔.手机3D动画自动生成系统中色彩和光照规划的设计和实现[硕士学位论文].北京:北京工业大学,2012:39-42.
- 10 刘畅.手机3D动画自动生成系统中镜头规划与灯光背景规划[硕士学位论文].北京:北京工业大学,2014.
- 11 裴艳霞.面向手机3D动画自动生成的中文命名实体识别的研究[硕士学位论文].北京:北京工业大学,2011:1-74.
- 12 孙荣荣.面向手机3D动画的信息抽取系统的设计与实现[硕士学位论文].北京:北京工业大学,2011:1-78.
- 13 邓永坚,叶志峰.Maya光与材质的视觉艺术.3版.北京:人民邮电出版社,2010:66-78.
- 14 Guarino N. Formal ontology in information systems. Proc. of FOIS 98. Amsterdam, Netherlands. 1998. 3-17.
- 15 <http://protege.stanford.edu>.
- 16 Uschold M, Gruninger M. Ontologies: Principles, methods and applications. The Knowledge Engineering Review, 1996, 11(2): 93-136. [doi: 10.1017/S0269888900007797]
- 17 刘文菊.Maya材质与灯光技术精粹.北京:清华大学出版社,2011.
- 18 胡铮.三维动画材质灯光设计与制作.北京:机械工业出版社,2010.