

双光源环境下非真实感绘制色调获取方法研究

王相海^{1,2} 秦晓彬¹ 辛玲³

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116029)¹

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)² (大连市委党校 大连 116013)³

摘要 非真实感绘制场景中客体明暗色调的合理性和协调性直接影响到最后生成画面的效果。对双光源环境下非真实感绘制场景中客体色调的获取方法进行研究,提出一种双光源下基于“小球法”的色调信息提取方法,该方法假设场景中的客体表面均匀覆盖了一层大小相同的小球,相邻的两个小球间保持近似相切状态,通过计算每一个小球在双光源状态下被其它小球遮挡的程度来确定该小球中心位置的明暗信息,以及每一个小球在双光源环境下所在位置的近似镜面反射光亮度。在绘制阶段,可利用这些色调信息控制在相应位置绘制“笔触”的色调,从而保证所生成的非真实感画面场景整体色调的合理性。该方法可应用于双光源下各种非真实感绘制明暗信息的获取,并且具有结构简单、计算速度快和可方便实现对场景中局部信息的调整等特点。实验结果验证了提出的方法的有效性。

关键词 非真实感,双光源,遮挡信息,笔触

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Method of Catching NPR Hue in Double Light Source Condition

WANG Xiang-hai^{1,2} Qin Xiao-bin¹ Xin Ling³

(College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)¹

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)²

(Dalian Municipal Communist Party School, Dalian 116013, China)³

Abstract In NPR, a reasonable light and shade and coordination directly affect the effect of the last created menu. This paper discussed the methods of catching the tone of the object in Non-photorealistic rendering scene in double light source condition, and presented a method which can obtain hue information of the scene and objects based on small ball, this method supposes the surface of objects in scene is symmetrically covered with a layer of the same size balls, and two adjacent balls maintain a state of approximate tangent, by computing the ball's sheltered degree by other balls in double light source condition and the approximate mirror reflection information to confirm the hue information of the small ball in it's position. These hue informations can be used to control brushstroke's hue at the corresponding position in the process of painting, thereby ensures the rationality of the whole hue in the last created menu. This method can be applied to a variety of double light source non-photorealistic rendering for obtaining light and shade information, and has simple structure, fast computation speed and facilitate the realization the adjustment of local information in scene. Simulation results show it is effective.

Keywords Non-photorealistic, Double light source, Hue information, Brushstroke

1 引言

非真实感绘制技术作为一种对传统绘画艺术的计算机模拟从 20 世纪 90 年代就受到关注并成为计算机图形学的一个研究热点^[1,2]。目前常见的绘制技术包括颜色传输方法、纹理合成方法和设置画笔模型等^[3]。无论哪一类技术,获取绘画场景中客体表面的明暗信息至关重要,它直接影响到绘画场景色调的和谐及合理性。实际上,画家绘画是一种在二维平面上以手工方式临摹自然客体及场景的艺术,绘画作品将

依靠明暗和形象结构表现物象的凹凸,形成立体的幻象,这样,明暗色调在表现物象的立体感、空间感等方面具有重要的作用。近年来,基于模拟画家的智能绘制模型得到了一定的发展,比如文献[3]提出了一种非真实感绘制的多智能方法,该方法首先通过分析画家的创作特点,把绘制过程分解为多个阶段,把每个阶段分配给一类绘制智能体来完成,各类绘制智能体作为独立的行为者,能够通过自身的感知能力获取环境局部激励信息,自适应地规划行为,完成各自的绘制任务。在这种智能绘制模式中,若把画家对整个场景以及场景中客

到稿日期:2009-11-06 返修日期:2010-01-25 本文受辽宁省自然科学基金项目(20072156),辽宁百千万人才工程资助项目(2008921036),南京邮电学院图像处理与图像通信江苏省重点实验室开放基金(ZK207008)资助。

王相海 男,博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为 CG、CAGD、多媒体信息处理, E-mail: xhwang@lnnu.edu.cn; 秦晓彬 男,硕士生,主要研究方向为计算机图形学; 辛玲 女,硕士,主要研究方向为非真实感绘制技术及图像处理。

体与客体间的明暗调子的“知识”予以保存建立知识库,同时建立相应的推理机制通常是一件非常困难的事情。事实上根据非真实感绘制作品的特点,对场景中的明暗色调只要有一个整体、合理的把握,而无需像真实感照片那样精确地获取每一个像素的明暗色调。多年来,我们对模拟传统绘画的图像生成技术进行研究^[2,4-8],提出了相应的绘制方法。本文在前期工作的基础上,对双光源环境下非真实感绘制场景中明暗信息的模拟获取方法进行了研究,在离散点造型基础上,提出一种基于小球“提取器”的明暗色调信息提取方法,该方法可适应双光源环境下各种类型非真实感绘制对场景中明暗信息的需求,其结构简单,计算速度快,同时保证了场景色调的合理性,并可方便地实现对场景中局部信息的调整等。

本文第2节对场景中客体表面均匀离散点划分的预处理进行了说明;在此基础上第3节对双光源环境下以小球为“提取器”的客体表面各均匀分点处的明暗信息提取方法进行了研究,给出相应的提取方法;第4节对双光源环境下基于客体表面均匀分点的镜面反射信息的提取方法进行了讨论;第5节将所提出的方针色调信息提取方法与非真实感“笔触”绘制模式相结合进行了仿真试验。

2 客体表面均匀离散点划分

所谓对场景中客体表面进行均匀离散点划分是指按照一个等距离 d 提取客体表面的三维点集,即除了边界处的点外,所提取的三维点集的每个点与其前、后、上、下4个相邻点的距离近似等于常数 d 。常数 d 的选择一般为后面明暗信息“提取器”即小球的直径,其大小将影响到提取场景明暗信息的精准度,直径越小,提取的明暗信息的准确性越高,但计算量会增大。而在实际的非真实感绘制中,该小球直径无需过小的取值。

设场景中客体表面的方程为参数形式: $f(u, v)$ ($u, v \in [0, 1]$), 对该表面离散均匀分点的方法将采用我们在前期工作中提出的“双向均匀分点”方法,即对每一个固定的参数 $u \in [0, 1]$, 对 $f(u, v)$ 沿着另一参数进行等距离 d 均匀分点,然后以该分点为参考点对曲面 u 向进行等距离 d 分点,此时所分得的点为最后所获取的三维点集(以下简称为“分点”),具体过程参见文献[7]。

3 双光源环境客体表面明暗信息提取

在双光源下场景中客体表面的明暗色调是由于场景中客体与客体间,以及同一客体的一部分对另一部分遮挡所形成的。传统的光线追踪、辐射度等方法可以比较精确地计算画面中每一个像素的明暗信息,但这些方法在非真实感绘制中则显得过于精细,同时会带来巨大的计算负担。我们所提出的基于小球“提取器”的明暗信息提取方法是指在场景中所有客体表面的分点处均匀地布满大小相同的小球,在确定两个点光源的情况下,通过计算每个小球被场景中其他小球的遮挡程度并将其归一化为 $[0, 1]$ 间的量化数值,作为场景中该小球所在位置的明暗信息。

3.1 双光源环境客体表面分点的分层及其归类处理

仿照我们在文献[8]中对于单光源情况下的做法,在观察坐标系下,将场景中所有客体表面的分点按照 z 分量的大小进行分层,使得每一层上任意两个分点的 z 分量之间的距离

小于事先给定的常数 ϵ (可规定该 ϵ 小于客体表面分点距离 d 的一半),参见图1,其中每一个长方体表示一层,长方体内的黑点表示分在同一层中的分点。

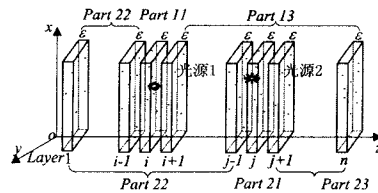


图1 场景中客体表面“分点”的分层及归类示意图

对于光源 P_i ($i=1, 2$), 记其观察坐标系下的 z 分量为 $z(P_i)$, 将前面划分的客体表面分点的分层分为3部分 $Part_{i,1}$, $Part_{i,2}$ 和 $Part_{i,3}$ ($i=1, 2$), 其含义分别为: $Part_{i,1}$ 表示所有分点的 z 坐标小于 $z(P_i)$ 的分点所在的分层集合; $Part_{i,2}$ 表示所有分点的 z 坐标在 ϵ 范围内近似等于 $z(P_i)$ 的分点所在的分层集合; $Part_{i,3}$ 则表示所有分点的 z 坐标大于 $z(P_i)$ 的分点所在的分层集合, 其中 $i=1, 2$ (参见图1)。

对于每一个光源 P_i ($i=1, 2$) 所对应的 $Part_{i,1}$, $Part_{i,2}$ 和 $Part_{i,3}$ ($i=1, 2$), 其分点处小球的遮挡只会发生在各自的内部, 即每部分分点处小球的遮挡都不受其他部分的影响, 只可能受该部分中该分点与 P_i 之间的分点的遮挡。这样每一光源可对3部分分别进行处理, 判断距离 P_i 近的分点处的小球是否对距离 P_i 远的分点处的小球发生遮挡。

3.2 双光源下两个小球发生遮挡的判断及计算

双光源下小球间遮挡信息确定不同于单光源下的求法, 它将会产生较为复杂的双向遮挡, 即在光源1下, 球1遮挡球2, 而在光源2下球2也可能遮挡球1, 即在双光源下, 场景中客体表面的每个小球的遮挡信息可能会受到两个光源的影响(如图2所示)。

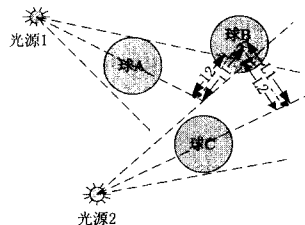


图2 双光源下客体表面小球遮挡关系示意图

假设要求出小球B的遮挡信息, 我们采用的方法的基本思想是首先判断球B在光源1和光源2下是否受到遮挡, 并计算球B在两个光源下的遮挡信息, 然后通过加权方式, 获得最终球B的遮挡信息。具体判断及计算方式如下:

(1) 独立光源下遮挡信息的确定^[7]

在光源1下, 假若球B被球A遮挡, 则球B必与光源1和球A产生的圆锥体相交, 通过计算包含在圆锥体内的球B部分在整个球B的比例, 来确定在光源1下球B被球A遮挡的程度。实现方式如下:

```

if ( $l_1 < d/2 + l_2$ )
then /* 发生遮挡 */
  if ( $l_1 \leq l_2 - d/2$ )
  then /* 全遮挡 */
    shel_hue1 = 1.0;
  else /* 部分遮挡 */
    shel_hue1 = (d/2 - (l_1 - l_2));

```

```

sele /* 不发生遮挡 */
shel_hue1=0.0;
同理可确定在光源 2 下球 B 被球 C 遮挡的程度:
if (L1 < d/2 + L2)
then /* 发生遮挡 */
if (L1 <= L2 - d/2)
then /* 全遮挡 */
shel_hue2=1.0;
else /* 部分遮挡 */
shel_hue2=(d/2 - (L1 - L2));
sele /* 不发生遮挡 */
shel_hue2=0.0;

```

其中, d 为小球的直径, $shel_hue1$, $shel_hue2$ 分别为对应光源 1 和光源 2 的遮挡程度, l_1, l_2, L_1, L_2 参见图 2。

(2) 遮挡信息的归一化处理

图 3 给出双光源下遮挡程度归一化模型。由于每个光源都会与物体表面的每个分点处的法向量产生一个入射角, 双光源会形成两个入射角, 我们根据这两个入射角的大小, 来确定由每个光源所产生的遮挡程度在最终遮挡信息中所占的比例, 具体归一化公式如下:

$$shel_hue = \frac{\beta \times shel_hue1}{\alpha + \beta} + \frac{\alpha \times shel_hue2}{\alpha + \beta}$$

式中, α 和 β 分别为光源 1 和光源 2 与分点处法向量的入射角, $shel_hue$ 为归一化后分点处最后的遮挡信息。分点处法向量可通过其相邻分点叉积近似获得, 具体见下面第 4 节。

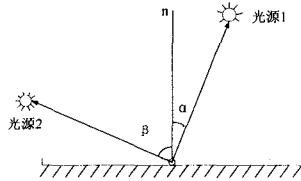


图 3 双光源下遮挡程度归一化模型示意图

4 双光源物体表面镜面反射信息提取

为了计算物体表面的光照信息, 需要确定物体表面各分点的法向量。为了减少计算量, 同时也考虑到非真实感绘制的特点, 我们利用物体表面的分点来近似确定表面的法向量, 即对物体表面的每一个分点, 通过计算其上、下两个相邻分点所形成的矢量与其左、右两个相邻分点所形成的矢量的叉积作为分点的近似法向量, 对于边界上的各分点的法向量可用其相邻分点的法向量来代替(如图 4 所示)。

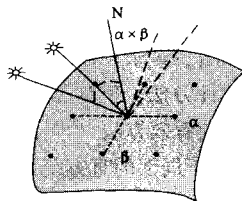


图 4 物体表面分点近似法向量示意图

在确定了每一分点处的法向量后, 对于每一个光源, 利用 Phong 模型来计算各分点处的镜面反射光亮度, 然后将两个光源在同一分点处所形成的镜面反射光亮度进行叠加。在确定了场景中每一分点的叠加光亮度后, 为了保证双光源环境

下每一分点处叠加光亮度的协调性, 同时也避免叠加光亮度出现越界现象, 对场景中各分点的叠加光亮度按照下式进行整体归一化处理:

$$I_{out} = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (1)$$

式中, I_{max} , I_{min} 为场景中叠加后光亮度的最大值和最小值, I_m 为当前待归一化的分点叠加光亮度, I_{out} 为对应归一化后的分点光亮度。

5 试验与讨论

5.1 实验结果

定义小球“提取器”的数据结构如下:

```

struct ball {
float x, y, z; // 球心坐标
float r, g, b; // 小球的色值
float nx, ny, nz; // 球心的法向量
float shel_hue1, shel_hue2; // 双光源的遮挡明暗信息
int flag; // 球心的边界标志
};

```

定义小平面片“笔触”的数据结构:

```

struct one_point {
float x, y, z; // 平面片四顶点坐标
};
struct square {
float x, y, z; // 平面片中心点坐标
float r, g, b; // 平面片的颜色信息
float nx, ny, nz; // 平面片中心法向量
struct one_point p1, p2, p3, p4; // 平面片四顶点
};

```

图 5—图 6 是按照本文提出的双光源下物体色调信息提取方法所进行的仿真试验结果, 其中图 5 是“笔触”采用小球的模拟绘制的效果; 图 6 是“笔触”采用小平面片的模拟效果, 其中在“笔触”的绘制过程中, 对小平面片进行了一定的随机扰动。

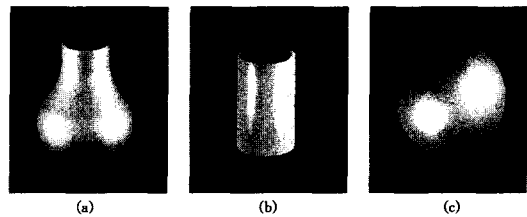


图 5 “笔触”为小球的非真实感模拟

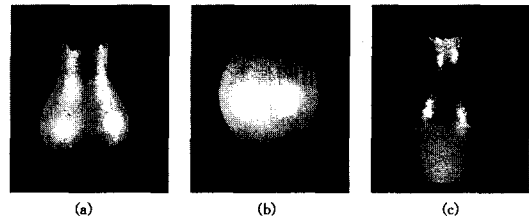


图 6 “笔触”为小面片的非真实感模拟

5.2 讨论

本文提出的色调信息提取方法可广泛应用于基于“笔触”的各类非真实感绘制中, 针对所要绘制的非真实感图像的特

(下转第 278 页)

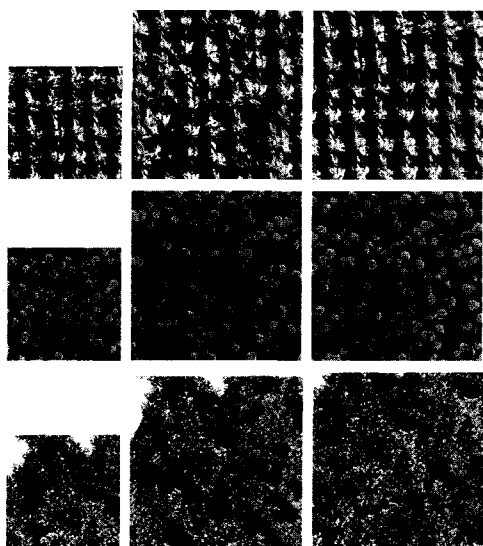


图5 分别使用 PSO 和 CPSO 合成的 256×256 图像结果比较

图 5 分别使用 PSO 和 CPSO 合成的 256×256 图像结果比较

图 5(a)为输入样图,图 5(b)是运用 PSO 算法的合成图像,由于 PSO 算法搜索空间有限,容易陷入局部最优,导致找不到全局最优的纹理匹配块,从图中就可以看出合成的纹理图像中存在着许多的重复和过度不连续的区域,而图 5(c)中使用的是 CPSO 算法,CPSO 算法能够使其在搜索空间上最大化,防止早熟,快速有效地搜索到全局最优匹配块,有效地避免了使用 PSO 算法合成时的缺陷,从图中可以很明显地看出用本文算法合成的纹理图像的质量优于使用 PSO 算法合成的纹理图像的质量。

结束语 本文提出的混沌粒子群优化的纹理合成算法是

一种有效的纹理合成算法,该算法能够有效地克服 PSO 容易早熟、陷入局部最优的缺点,从而快速有效地搜索到全局最优的匹配块,实现了较高质量的纹理合成结果。

参 考 文 献

- [1] Kwatra V, Essa I A, Bobick A F, et al. Texture optimization for example-based synthesis [J]. ACM Transaction on Graphics, 2005, 24(3): 795-802
- [2] 曹璐, 杨刚, 王忠芝, 等. 源自样图的树皮纹理合成技术研究[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(30): 194-197
- [3] Zhang Yan, Meng Yu L, Wen-hui, et al. A fast algorithm for image analogy using particle swarm optimization [C] // Proc. of the 3rd International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Shanghai, 2004: 26-29
- [4] 刘军民, 高岳林. 混沌粒子群优化算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(2): 322-325
- [5] Liang L, Liu C, Xu Y, et al. Real-time texture synthesis using patch-based sampling. Microsoft Research [R]. 2001. MSRTR. 2001: 40
- [6] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization [C] // IEEE Service Center. Proc IEEE Int'l Conf. on Neural Networks. Vol. IV, 1995
- [7] 张焱, 高兴宝. 一种改进的粒子群算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(26): 58-59, 93
- [8] 杨延西, 刘丁, 辛菁. 基于混沌粒子群优化的图像相关匹配算法研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(3): 529-533
- [9] 黄贤英, 张丽芳. 基于粒子群优化的模糊聚类算法[J]. 重庆工业大学学报: 自然科学版, 2008, 22(11): 120-123

(上接第 241 页)

点,选择相应的笔触绘制在场景中客体表面的分点处。由于在 3.1 节客体表面分点的分类中已经在观察坐标系中对各分点按照 z 分量由小到大进行了排序,这样分点处进行笔触绘制时可按照排好序的顺序进行笔触绘制,避免了额外的笔触消隐;同时在每一分点处绘制笔触时,除了笔触自身的漫反色信息外,还加上了前面确定的双光源下各分点的明暗信息和镜面反色信息,从而保证了绘制作品场景中整体色调的协调性和合理性。

结束语 本文对双光源环境下非真实感绘制的色调信息获取方法进行了研究,提出了一种基于“小球”的双光源色调信息提取方法,该方法假设场景中客体表面均匀覆盖了一层大小相同的小球,这些小球起到了“提取器”的作用,通过计算这些小球在双光源下被遮挡的明暗信息和近似的镜面反射信息等来确定小球所在分点位置的色调信息,在绘制过程中利用这些色调信息在相应位置上绘制“笔触”,从而保证在双光源环境下各种非真实感绘制作品的整体色调的合理性。此外,所提出的色调信息提取方法具有“提取器”结构简单、处理统一和方便局部信息调整等特点,可方便应用于各种非真实

感绘制模式中。

参 考 文 献

- [1] 苏延辉, 韦欢, 费广正, 等. 非真实感绘制技术研究[J]. 中国传媒大学学报: 自然科学版, 2006, 13(2): 15-21
- [2] 辛玲. 模拟绘画的非真实感绘制方法研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2008
- [3] 钱小燕, 肖亮, 吴慧中. 基于多分辨率的非真实感绘制[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(3): 348-351
- [4] Pang Y J. Combining computer graphics with Chinese traditional painting [J]. Computer & Graphics, 1987, 11(1): 63-68
- [5] Pang Y J, Zhong H X. Drawing Chinese traditional painting by computer [C] // Proc. IFIP WG5. 10 Working Conference on Modeling in Computer Graphics. Tokyo, Japan, 1991: 321-328
- [6] 王相海. “体元”纹理真实感图像生成研究[D]. 长春: 吉林大学, 1995
- [7] 王相海, 庞云阶. 模拟绘画的三维几何纹理生成研究[J]. 计算机学报, 2002, 25(9): 982-986
- [8] 辛玲, 王相海. 非真实感油画绘制的色调获取方法研究[J]. 计算机科学, 2008, 35(12): 216-219