

# 非真实感油画绘制中明暗色调获取方法研究<sup>\*</sup>

辛 玲<sup>1</sup> 王相海<sup>1,2</sup>

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116029)<sup>1)</sup>

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)<sup>2)</sup>

**摘 要** 作为与真实感图形学相对应的图形学分支,近年来非真实感图形学的发展受到人们的关注并已成为计算机图形学的研究热点之一。然而,非真实感绘制作为一个新的研究领域在很多方面还处于不断发展之中。在非真实感油画的绘制中,场景中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。对非真实感油画绘制中明暗色调的获取方法进行研究,提出一种基于小平面片的色调信息提取方法。该方法假设场景中客体表面均匀覆盖了一层大小相同的正方形“小平面”,这些小平面起到了“提取器”的作用。通过计算这些小平面被遮挡的明暗信息和近似的镜面反射信息等来确定小平面所在位置的色调信息,在绘制过程中利用这些色调信息在相应位置上绘制“笔触”,从而保证了所生成油画画面场景整体色调的合理性。所提出的方法结构简单、计算速度快,同时可方便实现对场景中局部信息的调整。实验结果验证了所提出方法的有效性。

**关键词** 非真实感,小平面片,色调信息,笔触

## Research of Catching Hue in Non-photorealistic Canvas Painting

XIN Ling<sup>1</sup> WANG Xiang-hai<sup>1,2</sup>

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

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)<sup>2)</sup>

**Abstract** As a branch of graphics corresponding to reality graphics, the development of non-photorealistic graphics is obtaining attention these years and has become a hotspot in the research. However, non-photorealistic painting as a new research field, is developing in many aspects. In the non-photorealistic canvas painting, the rationality and compatibility in scene directly affect the effect of the last created menu. Discussed the methods of catching hue in non-photorealistic canvas painting, and put forward a method of extracting hue information based on little patch. This method supposes the surface of objects in scene is symmetrically covered with a layer of the same size square little patches, these little patches act as an extractor, by computing the sheltered hue information and the approximate mirror reflection information, etc. of these little patches to confirm the hue information of the little patches in these position, using this hue information to paint brushstroke at the corresponding position in the process of painting, thereby ensures the rationality of the whole hue in created canvas scene. The method has advantages of simple structure and fast computation speed, and could simultaneously adjust local information in scene expediently. Simulation results show it is effective.

**Keywords** Non-photorealistic, Little patch, Hue information, Brushstroke

## 1 引言

非真实感绘制的目标是在形式上指定一种可展现绘制作品的方式,并随之编写生成非真实感绘画作品的计算机程序,这种目标可以定义为仿效人类手工创作图形能力的一种尝试<sup>[1]</sup>。该种绘画机制从 20 世纪 90 年代开始受到关注并成为计算机图形学的一个研究热点<sup>[2]</sup>,其中 Lansdown 等于 1995 年首次一般性地总结了非真实感绘制中的问题<sup>[3]</sup>,Eurographics'99 和 SIGGRAPH'98 均为非真实感绘制这一主题设置了专题。目前有 3 类方法可以应用于非真实感绘制<sup>[4]</sup>,分别是颜色传输方法、纹理合成方法和设置画笔模型,模拟画家的真实创作过程。

油画是一种最善于再现周围世界一切丰富视觉印象的艺

术,其绘制过程大致可以分为静物设置、构图取舍、组织色调、细部刻画及整体调整这 5 个部分,其中“组织色调”这一过程无需像摄取照片那样精确地获得每一像素的明暗色调,只求对整个场景以及场景中的客体与客体间的明暗色调给以总体的把握。在用计算机进行非真实感油画绘制中获得场景的基本明暗色调是必须要解决的问题,它直接影响到最后所生成场景的效果。如果把画家对明暗调子的“知识”存入计算机,固然是一条路子,但构建一个足够充分的知识库和相应的推理机制也是一件困难的事情。多年来,我们对基于传统绘画的图像生成技术进行了研究,提出了相应的模拟画家绘画的场景客体图像生成方法<sup>[5-8]</sup>。本文对非真实感油画绘制中场景色调的模拟获取方法进行了研究,提出了一种基于四边形小平面片的色调信息提取方法,同时对该信息在油画绘制

<sup>\*</sup> 本文受辽宁省高等学校优秀人才支持计划(RC-04-11),辽宁省自然科学基金项目(20072156),辽宁省教育厅科学技术研究项目(20060486)和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项目(ZK207006)资助。辛玲 硕士研究生,研究方向为计算机图形学;王相海 博士,教授,博士生导师,中国计算机学会高级会员,主要研究领域为计算机图形学、图像及多媒体信息处理。

中的应用过程进行了说明。所提出的方法计算简单,同时对所绘制油画中的客体信息的处理具有同一性,便于进行局部修改。

## 2 基于小平面的“色调信息”的提取

### 2.1 明暗信息的提取

在油画的绘制过程中,场景中的物象是依赖光线的照射,光线使形体呈现明暗调子的变化,使我们感觉到物象的体积。对物象明暗调子的熟练掌握是画家最基本的功底之一,同时是使整幅画面合理、协调的关键因素之一。以下我们就单一光源下场景中客体表面的明暗调子信息的提取过程进行讨论。

为了获取场景中客体表面的一部分被其余部分的遮挡所形成的“明暗信息”,我们假设场景中客体表面“均匀”地覆盖了一层大小相同的正方形“小平面”,该小平面起到了“提取器”的作用,即在确定点光源的情况下,通过计算一个小平面被场景中其它小平面的遮挡来确定该小平面所在位置的明暗信息。

#### (1) 场景中客体表面小平面中心点的分层

在观察坐标系下,将场景中客体表面小平面中心点按照  $z$  分量的大小进行分层  $Layer_1, Layer_2, \dots, Layer_n$  (参见图 1),使得对每一层  $Layer_i (1 \leq i \leq n)$ , 其上的任意两点  $P_1, P_2$  之间满足  $|z(P_1) - z(P_2)| \leq \epsilon$ , 其中  $z(\cdot)$  表示“ $\cdot$ ”的  $z$  分量,  $\epsilon$  是实现给定的小常数(下同)。

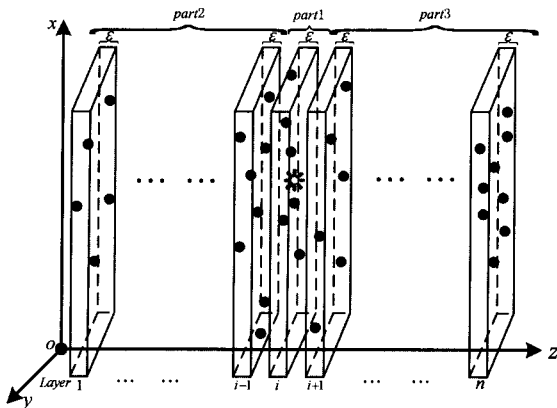


图1 小平面中心点分层和归类示意图

#### (2) 客体表面小平面中心点所在层的归类

将前面的  $Layer_1, Layer_2, \dots, Layer_n$  按如下原则归为三类(参见图 1):

$$Layer\_part1 = \{Layer_i \mid |z(Layer_i) - z(P)| \leq \epsilon, 1 \leq i \leq n\}$$

$$Layer\_part2 = \{Layer_i \mid z(Layer_i) < z(P) - \epsilon, 1 \leq i \leq n\}$$

$$Layer\_part3 = \{Layer_i \mid z(Layer_i) > z(P) + \epsilon, 1 \leq i \leq n\}$$

其中  $P$  表示观察坐标系下的光源点。

#### (3) 归类分层的处理方法

对于  $Layer\_part1$  中的点,其上的小平面只可能自身发生遮挡,而不可能对其它类中的小平面发生遮挡。考虑到实际应用中该部分点的个数较少,这样可以对其上的点按距  $P$  的距离由远至近进行排序并逐个判断距离光源远的点所在的小平面是否对距离光源远的点所在的平面发生遮挡;对于  $Layer\_part2$  和  $Layer\_part3$  中的点,可分别从距离光源最近的层开始,引出从光源开始发射到层上各小平面中心点的射线,

并计算该射线与前面各层的交点。由于采用的是较小的平面片,这样只需判断前面各层交点处附近区域内的小平面片是否发生遮挡即可,从而大大减少了小平面的判断个数。

#### (4) 两个小平面片发生遮挡的判断

设小平面片  $ABCD$  距离光源较近,小平面片  $A'B'C'D'$  距离光源较远,要判断小平面片  $ABCD$  是否遮挡  $A'B'C'D'$ , 只需判断平面片  $A'B'C'D'$  4 个顶点是否在光源与平面片  $ABCD$  所形成的棱锥中即可(参见图 2),再根据棱锥中包含  $A'B'C'D'$  顶点的个数来近似确定  $ABCD$  对  $A'B'C'D'$  的遮挡明暗信息。

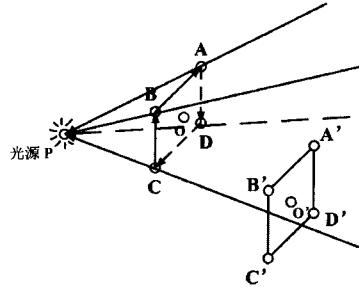


图2 由光源和小平面片所形成的光锥示意图

#### ① 点落到光锥内部的判断

由图 2 可以看出,由光源  $P$  和小平面片  $ABCD$  所形成的光锥的 4 个侧面  $PAB, PBC, PCD$  和  $PAD$  的法向量  $n_{PAB}, n_{PBC}, n_{PCD}$  和  $n_{PAD}$  分别为

$$n_{PAB} = (\overrightarrow{B-A}) \times (\overrightarrow{P-A})$$

$$n_{PBC} = (\overrightarrow{C-B}) \times (\overrightarrow{P-B})$$

$$n_{PCD} = (\overrightarrow{D-C}) \times (\overrightarrow{P-C})$$

$$n_{PAD} = (\overrightarrow{A-D}) \times (\overrightarrow{P-D})$$

设  $X$  为观察坐标系下的一点,判断  $X$  是否落在光锥内部,可以通过判断  $X$  是否落在光锥 4 个侧面的同一侧,根据右手法则,  $n_{PAB}, n_{PBC}, n_{PCD}$  和  $n_{PAD}$  均指向外侧。容易看出,  $X$  若落在光锥的内部,只需下列四个条件同时成立:

$$\begin{cases} n_{PAB} \cdot (\overrightarrow{X-P}) < 0 \\ n_{PBC} \cdot (\overrightarrow{X-P}) < 0 \\ n_{PCD} \cdot (\overrightarrow{X-P}) < 0 \\ n_{PAD} \cdot (\overrightarrow{X-P}) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

#### ② 遮挡明暗信息的确定

将平面  $A'B'C'D'$  四个顶点分别带入到式(1)中,如果都小于 0,则说明该小平面片完全落在光锥内;如果都大于 0,说明该平面片完全不在棱锥内;如果既存在小于 0,又存在大于 0 的情况,则说明该平面片部分在棱锥中。此时考虑到油画非真实感绘制的实际情况,我们可以根据落在光锥内点的顶点的个数来确定  $A'B'C'D'$  被  $ABCD$  遮挡的明暗信息  $Shelt\_Shade$ ,具体过程如下:

a) 如果  $A'B'C'D'$  的四个顶点均落在光锥内,即小平面片  $ABCD$  将  $A'B'C'D'$  完全遮挡,我们将  $Shelt\_Shade$  确定为 1.0;

b) 如果  $A'B'C'D'$  有 3 个顶点落在光锥内,将  $Shelt\_Shade$  确定为 0.75;

c) 如果  $A'B'C'D'$  有两个顶点落在光锥内,将  $Shelt\_Shade$  确定为 0.5;

d) 如果  $A'B'C'D'$  有一个顶点落在光锥内,将  $Shelt\_Shade$

Shade 确定为 0.25;

e)如果  $A'B'C'D'$  没有顶点落在光锥内,此时没有发生遮挡,则将  $Shelt\_Shade$  确定为 0.0。

一个小平面片在整个场景中被遮挡的程度为遮挡它的所有的小平面所提供的上述“遮挡明暗信息”的总和。

## 2.2 客体表面镜面反射信息的获取

对客体表面上每一小平面的中心点,通过计算其上、下两个相邻小平面中心点所形成的矢量与其左、右两个相邻小平面中心点所形成的矢量的叉积作为该小平面的近似法向量(边界上各小平面中心点的法向量可利用其相邻小平面的法向量来代替),然后利用 Phong 模型计算各小平面中心点的镜面反射光亮度,并将其作为该小平面的镜面反射光亮度。

## 3 非真实感油画绘制中色调信息的利用

为了获得各种油画的视觉效果,本文针对场景中客体的实际情况,采用了“笔触”的绘制模式,即在客体表面布满小平面的位置(参见前面第 2 节)绘制各种“笔触”。该“笔触”可以是一些规则的简单几何体,如小平面片(四边形或三角形)、小立方体、小球和圆柱体等等,也可以是一些较为复杂的几何形体,或几种简单规则几何体的组合。

### (1) “笔触”的绘制顺序

对前面第 2 节场景中客体表面布满的小正方形平面的中心位置在观察坐标系下按 z 坐标从小到大进行排序,在油画绘制过程中,“笔触”是按照已排好序的小正方形平面中心点的位置进行绘制的,这样便无需再考虑相应各“笔触”的消隐问题。

### (2) “笔触”绘制中色调信息的确定

在客体表面各“笔触”的绘制过程中,除了“笔触”自身的漫反射光亮度信息外,还应加上前面第 2 节在“笔触”绘制位置所提出的“遮挡明暗信息”和“镜面反射信息”,从而保证场景中各客体的总体明暗调子。

## 4 试验结果及讨论

### 4.1 试验结果

按照上述思想,我们进行了一系列仿真试验。又根据上述的方法,我们进行了一系列的试验,其中客体表面“均匀”分布的小正方形平面的中心的数据结构  $squqre\_center$  和小四边形平面片的数据结构  $little\_square$  分别为

```

squake_center {
    float x, y, z; /* 中心点坐标 */
    float light_hue; /* 镜面反射光亮度 */
    float light_shade_hue; /* 明暗信息 */
    int flag; /* 分点边界标志 */
};

little_square {
    float x[4], y[4], z[4]; /* 四个顶点坐标 */
    float nx, ny, nz; /* 法向量 */
    int shelf_num; /* 被遮挡的顶点个数 */
};

```

图 3—图 5 是按照本文提出的色调信息提取方法所进行的仿真试验结果,其中图 4a—b 是“笔触”采用小四边形平面片模拟“花瓶”的效果;图 5 是“笔触”采用四边形片片和三角形平面片模拟“树皮”的油画效果,其中在“笔触”的绘制过程中,对三角片的放置位置进行了一定随机扰动;图 5 是“笔触”采用三角片模拟“落叶”的效果。

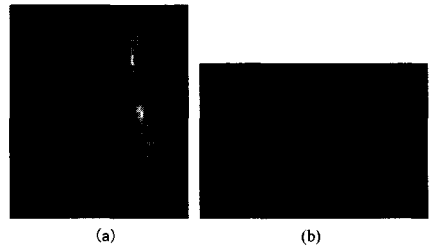


图 3 “笔触”采用四边形片的花瓶模拟

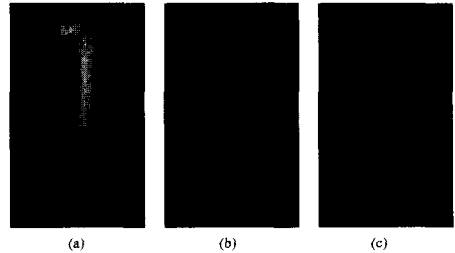


图 4 “笔触”采用四边形片和三角形片的树皮模拟

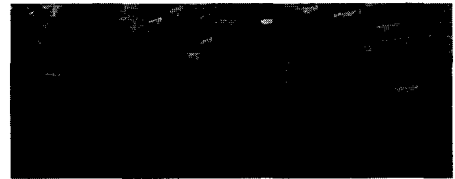


图 5 “笔触”采用三角形片的落叶模拟

### 4.2 讨论

本文所提出的色调提取方法以四边形小平面片作为“提取器”,获得其所在位置的明暗信息和镜面反射信息,为油画绘制中在该位置的“笔触”确定了合理的色调信息。该方法可以满足整个场景对总体色调的需求,同时具有以下特点:

(1)所提出的方法统一采用“小平面片”作为基本单位,结构简单,具有处理的统一性。

(2)在明暗信息的提取中,所涉及到的计算大都是简单的运算,具有较快的速度。此外,在确定客体表面的高光信息时,我们以“小平面片”为单位,利用了左右和上下邻点的叉积作为小平面所在位置的近似法向量,既满足了场景中色调的需求,又避免了繁琐的求导运算。

(3)由于客体表面的信息单位是独立的“小平面片”,这样当场景中客体进行局部调整时,只需对受其位置上小平面片影响的那些小平面的信息进行调整即可,即所提出的方法具有很好的局部色调修改特性。

**结束语** 本文对非真实感油画绘制中色调的模拟获取方法进行了研究,提出了一种基于小平面的色调信息提取方法。该方法假设场景中客体表面均匀覆盖了一层大小相同的正方形“小平面”,这些小平面起到了“提取器”的作用。通过计算这些小平面被遮挡的明暗信息和近似的镜面反射信息等来确定小平面所在位置的色调信息,在绘制过程中利用这些色调信息在相应位置上绘制“笔触”。实验结果表明,所提出的色调提取方法既可以保证所生成油画画面场景整体色调的合理性,又具有计算速度快、使用方便等特点,很容易融合到具体的油画绘制模式中。

## 参考文献

[1] Shtrothotte T, Schlechtweg S. Non - photorealistic computer

graphics modeling, rendering and animation. 叶修梓, 万华根, 张引, 译. 电子工业出版社, 2004

- [2] 苏延辉, 韦欢, 费广正, 等. 非真实感绘制技术研究. 中国传媒大学学报: 自然科学版, 2006, 13(2): 15-21
- [3] Lansdown J, Schofield S. Expressive rendering: a review of non-photorealistic techniques. IEEE Computer Graphics and Applications, 1995, 15(3): 29-37
- [4] 钱小燕, 肖亮, 吴慧中. 基于多分辨率的非真实感绘制. 南京理工大学学报, 2006, 30(3): 348-351
- [5] Pang Y J. Combining computer graphics with Chinese traditional

painting. Computer & Graphics, 1987, 11(1): 63-68

- [6] Pang Y J, Zhong H X. Drawing Chinese Traditional Painting by Computer // Proc. IFIP WG5. 10 Working Conference on Modeling in Computer Graphics. Tokyo, Japan, 1991: 321-328
- [7] Pang Y J, Zhong H X. Drawing Chinese traditional painting by computer // Proc. IFIP WG5. 10 Working Conference on Modeling in Computer Graphics. Tokyo, Japan, 1991: 321-328
- [8] 王相海, 庞云阶. 模拟绘画的三维几何纹理生成研究. 计算机学报, 2002, 25(9): 982-986

(上接第 208 页)

别进行了不同质量因子的压缩后, 再分别进行信息提取。图 6 给出了质量因子为 90, 75, 60, 50 压缩后的实验结果, 实验结果表明, 在图像质量已经严重失真的情况下, 仍然能提取出信息, 可见该算法具有较好的抗压缩的性能。

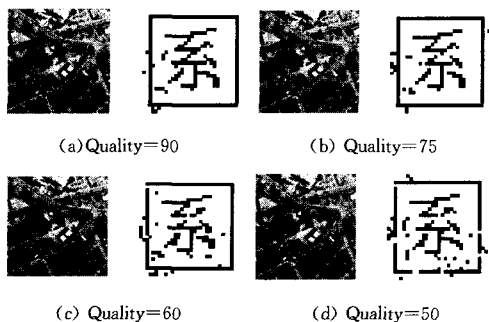


图 6 图像 JPEG 压缩攻击示例

#### (2) 中值滤波

中值滤波是把数字图像或数字序列中的一点的值用该点的一个窗口(window)中心的像素值替换。图 7 给出了中值滤波后的隐秘图像以及恢复的秘密图像。



图 7 5×5 中值滤波攻击示例

#### (4) 加噪攻击

图 8 是分别在含密图像中加入乘性噪声、高斯噪声, 然后提取秘密图像。可以看出, 在加入随机噪声后, 仍能很好地提取秘密信息。

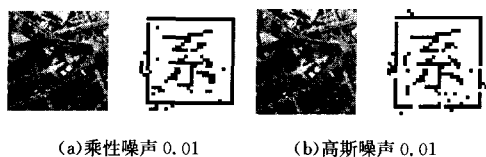


图 8 加噪攻击示例

**结束语** 基于直接位平面替换的 LSB 算法可有效实现

信息隐藏, 较传统 LSB 算法相比较, 具有以下特点:

(1) 隐蔽性强。由于考虑到了图像中相邻像素间灰度值的变化差异, 选择了像素间灰度值变化大的分块嵌入较多的信息, 而像素间灰度值变化小的分块嵌入较少的信息。隐藏图像与载体图像相比较, 像素间灰度值变化大的分块, 每字节的值最大变化 3, 该字节代表的像素最多只变化了  $3/256$ , 而像素间灰度值变化小的分块, 每字节的值最大变化 1, 该字节代表的像素最多只变化了  $1/256$ , 这样的变化不会引起视觉差异。

(2) 信息嵌入量高。在像素间灰度值变化大的分块中, 用秘密信息的 2 位来替换掉各个像素的最低 2 位, 大大提高了信息的嵌入量。

(3) 抗干扰性好, 对 JPEG 压缩、加噪、中值滤波等操作有良好的适应特性。

(4) 嵌入效率高。若秘密图像有  $N$  个字节, 对每个字节将有 7 次异或运算, 时间复杂度为  $O(7N)$ ; 而本文提出的改进算法进行信息的隐藏与提取, 秘密图像的每个字节将有 1 次异或运算, 时间复杂度为  $O(N)$ 。

#### 参考文献

- [1] Katzenbeisser S, Petitcolas F A P. Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking[M]. Artech House, Inc, 2004
- [2] Lu C S, Liao H Y. Multipurpose watermarking for image authentication and protection. IEEE Transaction on Image Processing, 2001, 10(10): 1579-1592
- [3] Queluz M P. Content-based integrity protection of digital images // Proceedings of SPIE; Security and Watermarking of Multimedia Contents I. 1999, 3657: 85-93
- [4] 徐献灵, 崔楠. 信息隐藏技术及其应用[J]. 信息安全, 2007, 3: 27-30
- [5] 高明, 陈丹, 王育民. 一种改进的空域 LSB 掩密算法[J]. 网络安全技术与应用, 2004, 8: 34-36
- [6] 郑婷婷, 叶哲江, 戚勇. DES 数据加密算法的研究及其 matlab 实现[J]. 信息通信, 2007, 5: 48-60
- [7] 徐江峰, 李昊, 杨有. 一种基于多变换的 LSB 隐写算法. 计算机科学, 2007, 34(10): 106-109