

计算机浮雕化处理在动漫图像特效中的应用^①

沈 涵

苏州信息职业技术学院 计算机科学与技术系, 江苏 苏州 215200

摘要: 为了满足动漫图像的特效制作效果需求, 提出了一种基于二维平面图像的计算机浮雕化处理算法. 整个算法分为 3 个关键步骤: ①依据积分不变量推导每个像素的景深信息, ②依据梯度压缩和最小二乘法完成景深信息重建, ③执行高斯双步迭代完成每一个浮雕细节特征的呈现. 以柯楠和花仙子两幅动漫图像为实验对象展开实验研究, 实验结果表明: 该文浮雕化处理算法可以获得逼真的浮雕效果, 并在细节特征处有清晰的呈现. 同时, 该文算法的执行速度也非常快.

关 键 词: 动漫图像; 浮雕化处理; 景深重建; 细节特征

中图分类号: TP317.4

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2017)07-0075-06

近年来, 动漫产业在我国获得了迅速发展. 巨大的动漫作品需求市场, 推动了动漫制作技术的日益进步^[1]. 为了使得动漫作品更具影响力和竞争力, 各种特效制作方法也被引入到动漫制作过程之中^[2-3]. 计算机浮雕效果, 使得人物、物体、场景具有朴素的立体感, 也是动漫特效展示的一种有效手段^[4]. 所谓计算机浮雕, 就是从一幅二维的计算机数字图像出发, 经过浮雕算法的特殊处理, 使其具有立体化的视觉展示效果, 形成凹凸有致的层次感, 从而达成更高的视觉冲击力和画面感染力. 洪亮^[5]指出, 从计算机浮雕算法的性质来看, 浮雕处理过程是一种典型的模糊锐化过程, 属于数学意义上的卷积运算. 唐向红等^[6]则将数学领域的偏差映射算法引入到计算机浮雕处理技术之中, 对原始图像施加变换后再以变换图像和原始图像执行偏差映射操作, 从而形成浮雕效果. 韩燕丽等^[7]通过研究发现, 最佳梯度匹配也可以实现图像浮雕的制作效果, 并在 SAR 图像的浮雕制作上获得了成功. 徐涛等^[8]认为, 数学形态学的方法对于图像浮雕的制作也是适用的, 尤其是腐蚀运算和膨胀运算使得原始图像可以按照某种结构呈现出浮雕效果. 孟悦等^[9]指出, 二维图像的浮雕效果可以通过边界区域的对比度强化来实现, 所以图像增强算法经过一定的处理也可以用于图像浮雕制作. 范靖宇^[10]认为, 各种边缘检测技术强化了边缘特征, 形成不同区域之间的层次感, 因此也可以作为浮雕特效的辅助算法使用. 本文在大量已有研究成果的基础上, 将积分不变量思想引入到动漫图像的浮雕制作之中, 配合理论意义上的三维景深场构建一种新的浮雕算法, 以期在动漫特效制作领域获得更好的应用.

1 基于景深场的浮雕算法

针对动漫图像的特点, 本文设计一种基于景深场的浮雕算法, 分为 3 个步骤: 计算景深场、景深场重构、浮雕效果呈现.

1.1 计算景深场

真实景物在形成二维平面图像之前, 都是具有三维信息的有形实体. 在一个真实景物对应的三维数据模

① 收稿日期: 2016-12-01

作者简介: 沈 涵(1983-), 女, 江苏苏州人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机动漫研究.

型中, 每一个顶点的体积具有对应的积分不变量, 这个积分不变量可以从这个顶点周围的邻域计算得出.

假设三维数据模型对应的一个曲面可以用 S 表示, 曲面 S 上的一个顶点可以用 v 来表示, 那么顶点 v 的三维邻域应该是一个以 v 为圆心、以 r 为半径的球体空间, 这个球体空间可以用 $C_r(v)$ 来表示. 那么积分不变量, 表示的就是 S 之外的三维空间和 $C_r(v)$ 形成交集之后的体积, 可以用下面的积分形式表达为

$$\mathcal{R}(v) = \int_{S_D \cap C_r(v)} dv \quad (1)$$

这里, S_D 表示了曲面 S 之外的三维空间, $\mathcal{R}$ 表示了积分不变量, 它一般通过 Fourier 变换中的三维形式获得. 具体过程是, 先对景物对应的三维数据模型执行其三维空间上的预处理, 即形成空间内的网格划分; 之后对 v 和 $C_r(v)$ 执行卷积处理, 以通过特征函数获得 $\mathcal{R}$. 整个计算过程的时间复杂度和三维空间上的剖分情况有关.

1.2 景深场重构

浮雕效果是一种立体感很强的效果, 这就涉及到如何从二维的图像信息获取三维的景深信息. 在本文中, 将图像数据对应的深度信息称之为景深场, 用 $d(x, y)$ 表示, 这也是一个以像素为单位的深度数据模型.

假设景深场的梯度离散化表达为 $k(x, y)$, 它和景深场的关系为 $k(x, y) = \nabla d(x, y)$. 为了减小景深场数据的存储空间, 可以先对景深梯度进行压缩, 压缩的前提是确保景深梯度的方向不改变, 那么压缩关系符合如下表达

$$k'(x, y) = \|k'(x, y)\| r(x, y) \quad (2)$$

公式中, $r(x, y)$ 代表压缩前后的方向特征, $k'(x, y)$ 代表景深梯度的压缩效果.

为了达成浮雕效果, 进一步执行反正切处理, 得

$$D(k(x, y)) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda} \arctan(\lambda k(x, y)) & k(x, y) < \epsilon \\ 0 & k(x, y) \geq \epsilon \end{cases} \quad (3)$$

公式中, λ 代表浮雕深浅程度的控制参数, ϵ 代表极限尺度意义上的阶梯形状的判断值.

执行了梯度压缩后, 再次恢复其景深场数据, 可以采用最小二乘法在梯度域上执行数据拟合, 以获得和梯度数据最为接近的景深信息.

$$\min \iint F(\nabla d'(x, y), k'(x, y)) dx dy \quad (4)$$

如果把浮雕效果等价于二位图像平面上的景深信息, 那么可以从上述几个方程拓展推理出景深信息的泊松方程, 具体为

$$\nabla^2 d'(x, y) = \text{div}(k'(x, y)) \quad (5)$$

在求解上述泊松等式的过程中, 本文对于等式的边界位置进行了设计, 包括浮雕景深数据场的边界.

1.3 浮雕效果呈现

为了二维图像上形成的浮雕效果更加逼真, 还需要对浮雕形貌的各个细节处做进一步处理, 以保证良好的视觉效果.

在本文的算法实现过程中, 浮雕数据的相关信息及对应的法向量, 都保存在单独开辟的存储单元之中, 便于反复使用.

对于浮雕细节的处理, 本文构建了基于双步迭代的处理算法, 下面对这 2 个步骤逐一详细地描述.

首先, 根据公式(1)中描述的积分不变量, 对每个细节处所对应的法向量执行有关调整. 其次, 从一个位置处执行扩散更新处理, 不断更新顶点所在的位置, 将每一个细节处都处理一遍.

当景深数据场对应的网络数据模型构建出来以后, 如果某一个细节特征已经比较清晰, 那么这种处理工作应该较小或者不需要进行处理; 如果某一个细节特征区域比较粗糙, 细化处理应该确保处理前后的法向量没有变化. 这里设定一个衡量法向量的调整公式, 具体为

$$n'_{J_i} = \text{normalize}(\Phi(R(J_i)))n_{J_i}^Q + (1 - \Phi(R(J_i)))n_{J_i}^H \quad (6)$$

公式中, n'_{J_i} 代表了浮雕细节的法向量, $n_{J_i}^Q$ 代表了景深场处理之前的法向量, $n_{J_i}^H$ 代表了景深场处理之后的法向量, J_i 代表了浮雕细节, $R(J_i)$ 代表了浮雕细节对应的积分不变量, Φ 代表了高斯权重计算函数.

一个浮雕细节所对应的积分不变量, 可以根据相邻 3 个顶点的积分不变量通过插值处理来获得, 高斯权重计算函数的具体表达为

$$\Phi(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

公式中, σ 用于表达高斯权重计算函数的一个调整参数, 其用途是控制高斯函数的敏感程度; 当 σ 不断向 0 的方向靠拢时, 高斯权重计算函数也越来越敏感, 能够恢复出来的细节特征也越来越多, 但是这时表现出来的一个缺点是可能会在真实细节中引入噪声; 如果 σ 不断向无穷大的方向靠拢, 高斯权重计算函数也就越来越迟钝, 能够恢复出来的细节特征就越来越少, 甚至不能恢复. 所以, σ 的取值要合理才能确保高斯权重计算函数的细节恢复效果.

通过上述迭代处理过程, 浮雕细节的法向量得到了恢复, 但还要对应调整浮雕细节中的顶点, 将它们调整到最佳位置, 这种调整表达为

$$E(v_i) = \sum_{J_i \in N_i^V} (v_i o_j n'_{J_i})^2 \quad (8)$$

公式中, J_i 代表了浮雕细节, o_j 代表这个细节的中心位置, 新顶点可以用下面的收敛方法来获得.

$$v'_i = v_i + \frac{\beta}{N_i^V} \sum_{J_i \in N_i^V} (v_i o_j n'_{J_i}) n'_{J_i} \quad (9)$$

2 动漫图像的浮雕化实验与分析

为了验证本文提出的计算机浮雕化处理方法在动漫图像处理上的有效性, 接下来展开浮雕化处理性能验证实验.

在实验中, 选取了一台笔记本电脑, 电脑的硬件配置为 CPU 双核、单核主频 3.0 GHz, 内存 8 GB, 独立显存 2 GB, 硬盘 1 TB. 电脑的软件配置为 Windows 7.0 操作系统, 算法的实现选择了 Matlab 语言编译平台.

浮雕化处理的性能验证实验, 选择了两幅二维平面的动漫图像. 第一幅动漫图像是著名动画片《名侦探柯楠》中的一幅图像, 图像大小为 230×300 像素; 第二幅动漫图像是著名动画片《花仙子》中的一幅图像, 图像大小为 400×300 像素. 第一幅图像的原始效果和浮雕化处理效果如图 1 所示.

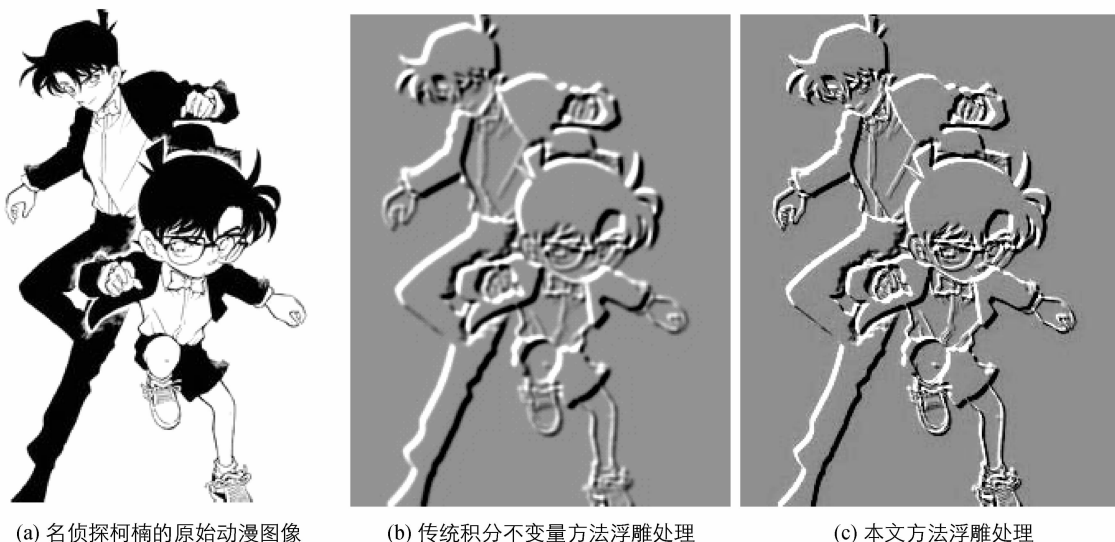


图 1 名侦探柯楠动漫图像的浮雕化处理实验结果

如图 1 所示,图 1(a)中显示的是名侦探柯楠的原始动漫图像,图 1(b)中显示的是传统积分不变量方法浮雕处理效果,图 1(c)中显示的是本文方法的处理效果.从图 1(a)中可以看出,名侦探柯楠的原始动漫图像是一幅黑白图像,场景是一个青年时代的柯楠形象和一个变小后柯楠形象的叠加效果.图像的主要细节在于眼睛、嘴巴、眼镜、手指、球鞋等部位.从图 1(c)中可以看出,按照本文提出的浮雕化处理算法,名侦探柯楠动漫图像已经呈现出清晰的浮雕效果,白色背景变为浮雕衬底,2 个人物特征都隆起呈现出浮雕特征,眼睛、嘴巴、眼镜、手指、球鞋等细节部位经过本文算法的处理,也非常清晰地以浮雕效果刻画出来.

对比本文方法和传统积分不变量方法的处理结果,显然本文方法效果更好.传统方法的边缘、细节处特征浮雕化不清晰,有钝化、模糊、消失的感觉,如眼睛、嘴巴等特征处;而本文浮雕化方法的效果则明显清晰.

如图 2 所示,图 2(a)中显示的是花仙子的原始动漫图像,图 2(b)中显示的是传统积分不变量方法的浮雕化处理效果,图 2(c)显示的是本文方法的浮雕化效果.从图 2(a)中可以看出,花仙子的原始动漫图像是一幅与图 1 分辨率不同的图像,场景是一个小女孩的上半身形象,图像背景相对比较杂乱,图像的主要细节在于眼睛、嘴巴、手指、花环等部位.从图 2(c)中可以看出,按照本文提出的浮雕化处理算法,花仙子动漫图像已经呈现出清晰的浮雕效果,杂乱背景呈现出浮雕墙壁的效果,并且背景处的细节特征也清晰地呈现出了浮雕效果,眼睛、嘴巴、手指、花环等部位也非常清晰地以浮雕效果刻画出来.



图 2 花仙子图像的浮雕化处理实验结果

对比本文方法和传统积分不变量方法的处理结果,显然本文方法效果更好.传统方法的边缘、细节处特征浮雕化不清晰,有钝化、模糊、消失的感觉,如头发、领结等特征处;而本文浮雕化方法的效果则明显清晰.

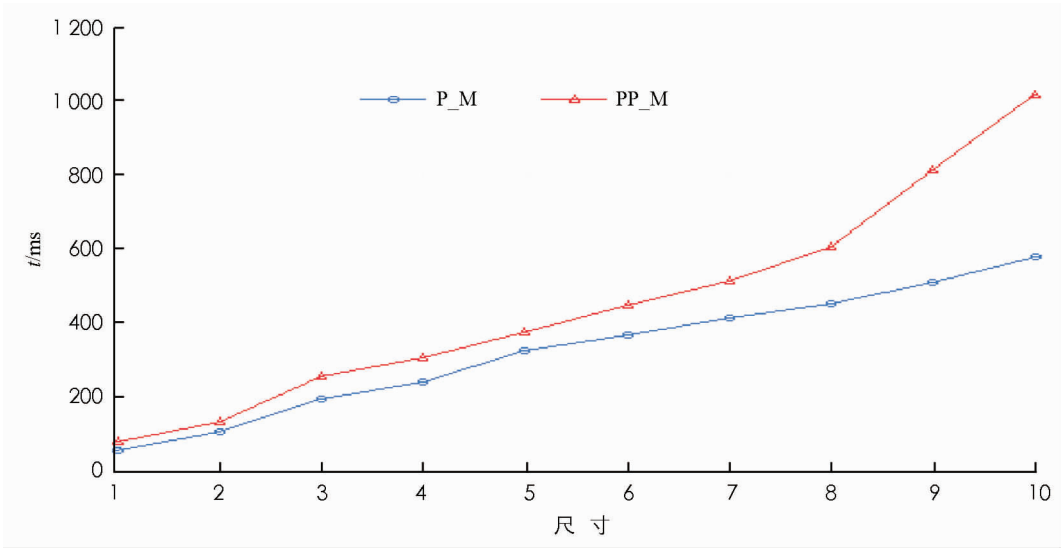
进一步检测本文浮雕化算法在执行时间上的情况,对应不同尺寸动漫图像执行浮雕化,效果如表 1 所示.

表 1 本文浮雕化处理方法的执行时间

序号	图像尺寸	像素总数	执行时间
1	100 pixel×100 pixel	10 000 pixel	53 ms
2	200 pixel×200 pixel	40 000 pixel	101 ms
3	300 pixel×300 pixel	90 000 pixel	191 ms
4	400 pixel×400 pixel	160 000 pixel	238 ms
5	500 pixel×500 pixel	250 000 pixel	321 ms
6	600 pixel×600 pixel	360 000 pixel	364 ms
7	700 pixel×700 pixel	490 000 pixel	412 ms
8	800 pixel×800 pixel	640 000 pixel	448 ms
9	900 pixel×900 pixel	810 000 pixel	506 ms
10	1 000 pixel×1 000 pixel	1 000 000 pixel	577 ms

从表 1 的处理结果来看，随着图像尺寸和图像像素总数增加，本文浮雕化处理算法的执行时间也随之增加。当图像增加到 100 万像素时，执行时间只有 577 ms，处理速度还是非常理想。

为了便于形成和本文算法效果的直观对比，选择与传统的基于积分不变量的浮雕算法作为参照算法，二者对于表 1 中各尺寸大小的图像执行浮雕化处理的时间，如图 3 所示。



1~10 分别代表表 1 中不同图像尺寸

图 3 2 种算法的执行时间对比

图 3 中，PP_M 代表传统的基于积分不变量的浮雕算法，P_M 代表本文提出的浮雕算法。横轴为图像尺寸，即表 1 中的 10 组序号图像尺寸，纵轴代表执行时间。

从 2 条曲线的对比结果可以看出，随着图像尺寸增大，2 种算法的执行时间都在增加，但本文算法的浮雕化处理时间增加幅度缓和，而传统的基于积分不变量的浮雕算法处理时间增加比较陡峭，尤其是在图像尺寸增加到一定程度时，其处理时间迅速上升。图 3 曲线的对比结果，再次证明了本文方法的有效性。

3 结 论

飞速发展的动漫产业推动了动漫制作技术的进步，笔者在此背景下开展了动漫图像浮雕化处理的特效技术研究。本文的算法从景深场计算开始，通过景深梯度压缩实现景深信息重建，进而执行双步迭代过程完成浮雕细节特征的呈现。针对两幅动漫图像展开实验研究，实验结果证实了本文浮雕化处理算法的有效性，在细节处也可以给出清晰的浮雕效果刻画。此外，本文算法的执行时间实验也表明，本文算法的执行速度比较理想。

参考文献：

[1] 王 晖，刘英骥. 动漫产业投资价值分析[J]. 首都经济贸易大学学报，2014，16(3)：57—62.

[2] KERBER J, TEVS A, BELYAEV A, et al. Feature Sensitive Bas Relief Generation [C]. New York: SMI; Proceedings of the IEEE International Conference on Shape Modeling and Applications, 2009.

[3] BALEN R V, KOELMA D, KATE T K T, et al. ScilImage: A Multi-Layered Environment for Use and Development of Image Processing Software [J]. Experimental Environments for Computer Vision & Image Processing, 2015，22(6)：107—126.

[4] 倪元敏，巫 西. 基于模糊形态学的图像边缘轮廓提取改进分割算法 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版)，2013，38(12)：95—100.

[5] 洪 亮. 浅谈浮雕图像底纹在包装防伪上的应用 [J]. 印刷世界，2010(7)：22—24.

[6] 唐向红，李宝君，郑 阳，等. 浮雕灰度图生成精度建模仿真研究 [J]. 计算机仿真，2015，32(9)：345—351.

[7] 韩燕丽, 杨慧炯. 基于图像空间的浮雕肖像生成方法研究 [J]. 软件工程师, 2015(10): 26—27.

[8] 徐 涛, 邢汉承, 骆 明. 用形态学边缘检测算子实现图像的浮雕显示 [J]. 数据采集与处理, 2003, 18(3): 287—292.

[9] 孟 悦, 周明全, 税午阳, 等. 基于单幅图像的三维自由度曲面浮雕生成 [J]. 系统仿真学报, 2015, 27(12): 3012—3017.

[10] 范靖宇. 基于纹理材质的三维特效合成研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.

On Application of Computer Relief Processing in Cartoon Image Special Effects

SHEN Han

Department of Computer Science and Technology, Suzhou Information Career Technical College, Suzhou Jiangsu 215200, China

Abstract: In order to satisfy the demand of the effect of animation and cartoon images, a computer relief processing algorithm has been presented in this paper based on two dimensional plane image. The algorithm is divided into three key steps. The first step is based on the integral invariant derivation of each pixel depth information, the second step is based on gradient compression and least square method to complete the reconstruction of depth information, and the third step is the implementation of Gauss double iteration every carving details show. In the Kenan and Hua Xianzi two picture animation image experiments like study, experimental results show that this algorithm can obtain relief of relief effect realistic, and clearly presented in details; at the same time, the algorithm execution speed is very fast.

Key words: cartoon image processing; relief; depth reconstruction; feature

责任编辑 夏 娟 崔玉洁