

# McCann99 算法的改进

顾耀林 袁雪庚

(江南大学信息工程学院, 无锡 214122)

**摘要** 分析了高动态范围图像(HDR)显示算法中的 McCann99 算法,并针对其在亮、暗区域处理的缺陷,提出了改进方案。即结合了新近的研究结果,更换 McCann99 中的初值,调整它的反射图像值等。实验结果表明,改进后的算法不但可以适应更高的动态范围图像的显示,而且有对比度可调的方便特性。

**关键词** 照度图像 反射图像 多分辨率图像 高动态范围图像 光晕

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)12-1523-06

## Improvement of McCann99 Algorithm

GU Yao-lin, YUAN Xue-geng

(College of Information Engineering, Southern Yangtze University, Wuxi 214122)

**Abstract** The analysis of McCann99 algorithm with regard to high dynamic image display is demonstrated here. The improved plot was proposed based on the weakness of McCann99 in dealing with very dark and light region of HDR images. Combining the new research result, the initial value and reflectance value were adjusted. In addition to the suitable visualization of HDR image, the improved algorithm also has the facility of contrast adjustment.

**Keywords** illumination image, reflectance image, multi-resolution image, HDR image, halo

## 1 引言

真实场景具有宽广的亮度范围,尤其是有灯光的场景或同时含有室内外的场景,它们的亮度变化范围更大。另外,在照相时,由于曝光程度的不同,也会产生高动态图像。还有,在计算机合成的场景中,由于光线跟踪技术的产生(Monte Carlo path tracing technique),高动态范围的图像也随之产生。

一般地,人眼视觉系统能够直接捕获的亮度范围在  $10^{-6} \sim 10^{+4}$  左右。但是,现在大多数的显示设备和打印设备最多(CRT, LCD, 打印机)只有  $10^0 \sim 10^2$  的显示范围。如果只是线性显示,那么在明暗区图像的细节将会丢失,为了将高动态范围的场景显示到低动态范围的设备中,映射技术随之产生。

在不断的研究中,人们提出了各种映射方法。

来完成自然场景的真实再现,达到以下目的:

(1) 可视化,你可以看到展示在图像上的东西,就像你在现实场景中一样。物体不会在过度曝光和欠曝光下被遮掩,细节特征也不会丢失。

(2) 看到图像和看到真实的场景会产生主观的一致性。显示图像的总特征应和现实场景基本相同。

现有的映射函数主要可以分为两类,一类是基于像素的整体调整映射,它的最终目的是得到一种映射曲线。其中以 Larson<sup>[1]</sup>的方法为代表。这种方法简单而有效,但是也容易引起局部的失真<sup>[2]</sup>。另一类是基于图像内容的调整映射。它的总体方法是将图像分层,在不同的层面上采用相应的压缩方法,而后将它们合成。如 Tumblin<sup>[3]</sup>将图像分成6层3对,有漫反射层、镜面反射层、透射层。每层又分为反射层和照度层; Pattanaik<sup>[4]</sup>将依据人眼视觉将图像分成 L-cone, M-cone, S-cone, rod 4层处理。后期

收稿日期:2005-01-17; 改回日期:2005-04-11

第一作者简介:顾耀林(1948~),男,教授,江南大学信息工程学院副院长。1982年毕业于上海交通大学。1994年~1995年在美国 Stony Brook 大学作访问学者。主要研究方向为计算机图形学和并行计算。E-mail: gy1627@sytu.edu.cn

人们将双边滤波技术,非线性滤波技术融入进来,以得到最佳照度层的同时减少光晕现象的产生<sup>[5,6]</sup>。

除了典型的映射技术外, Land<sup>[7]</sup> 等人在研究人眼视觉特点的基础上模拟了人眼视觉成像的过程,发明了 Retinex 算法,他们发现人眼成像一部分与视网膜(Retinal)有关,一部分与大脑的视觉皮层有关,因此将此算法命名为 Retinex。这种算法在处理高动态图像的过程中,也显示了优良的效果。

本文要介绍的是在经典的 Retinex<sup>[7]</sup> 思想指导下的 McCann99<sup>[8]</sup> 算法。我们对其中的参数做了具体的分析。发现本算法在速度上,初始值的选择上,以及在高的动态范围图像的处理上(尤其是暗区),有不足之处。针对此提出了改进的方法。基于新近的研究成果,将照度图像的压缩技术引入其中。并用不同的算子调整反射层,以提高对比度。实验结果表明,改进的算法提高了原算法的适应能力。

### 2 McCann99 算法分析与改进

Retinex 计算的目的是为了获得人眼对外界亮度的反应值。而非真正的亮度物理值。即是在不丢失图像信息的前提下充分利用人眼视觉的特性,将场景图像的高动态范围压缩到显示设备的显示范围内。这一思想的实施包括求比例、相乘、重置、平均 4 个步骤。在这种思想的指导下产生了许多算法<sup>[9]</sup>,而 McCann99 是其中的经典。

有关 McCann99 算法细节的描述请参见文献[9]。流程图如图 1,图 2 所示。其中,RR<sub>i</sub> 为不同层的图像;NP<sub>i</sub> 为经过 Retinex 处理后的结果图像;OP<sub>i</sub> 是将 NP<sub>i</sub> 向上 2 倍抽样的结果,以给下一层的 Retinex 处理。现将其核心思想作类比来阐述其精髓,显示一个高动态场景,就像是把人眼看到的景物画在画纸上一样(这一过程有些特殊)。在画纸上

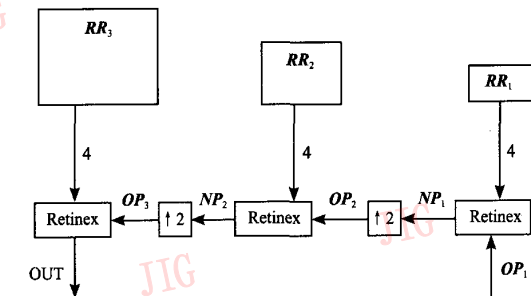


图 1 McCann99 流程图(以 3 层金字塔图像为例)  
Fig. 1 McCann99 flow chart (take 3 layers as example)

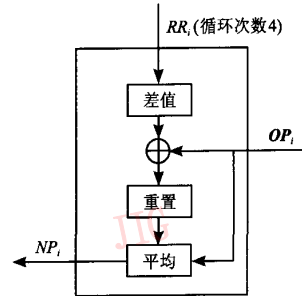


图 2 Retinex 处理流程图  
Fig. 2 Retinex algorithm flow chart

(设其是白纸),先刻画最粗略的场景变化,再刻画出次粗略的场景变化,这样不断的往复,就可以得到最终的图像了。在这个过程中(注意:McCann99 算法的图像是在自然对数域内处理的),画纸相当于图 2 中的初始值 OP<sub>1</sub>(在 McCann99 中,OP<sub>1</sub> 为图像的最大值矩阵),粗略的场景变化相当于图 1 中金字塔各层图像内的相邻像素点的差值,每一次的刻画即是将差值矩阵叠加到原画板上的过程,那么很明确,这个差值有正负之分,而正的差值刻在画纸上是没有意义的,因为这已经超过了画纸的显示范围。故此将叠加后的值重新设置为原图纸的颜色。而负的差值就在画纸上留下了印象。所谓不断的往复是指在不同金字塔图像层的循环叠加过程。

实验的结果证明该算法的处理效果良好。但是,该算法也存在一定的问题值得深入地讨论。

#### 2.1 原值 OP<sub>1</sub> 的选择

就其直观的效果来说,McCann99 算法对一般的高动态图像处理得很好,但是对高动态范围图像中亮、暗区域的处理不是很理想。那么是什么原因呢?本文认为问题之一在 OP 初值的选择上,此算法的 OP 初值是对应于顶层的原图像最大值的矩阵,那么在后期的差值相加过程中,正差值这一信息被人地丢失了,而对于暗区域中的负差值来说,刻画固然是有的,但是它是在最大值的基础上进行的,要想达到真实场景的亮度也要经过多次的刻画,这无疑影响了算法速度的提高。结合文献[10]的照度压缩思想,将初值 OP<sub>1</sub> 设成是顶层图像的压缩值。具体的压缩办法是:

$$D(x) = \beta \frac{\log(\alpha x + 1)}{\log(\alpha + 1)} \tag{1}$$

其中,α 是曲线弯度控制参数,一般选取为 1, 10, 1 000 等,β 是压缩范围控制参数。图 3 是该函数的

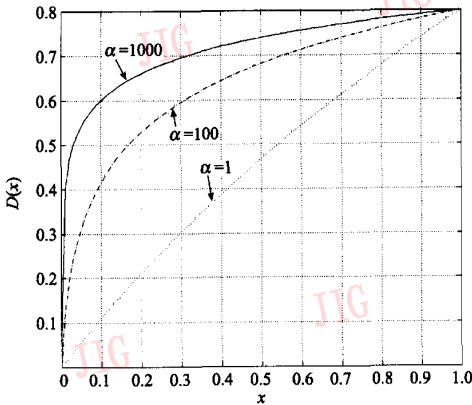


图 3 压缩曲线图

Fig. 3 Compression curve for initial layer

归一化表现形式,横坐标是  $x$  的变化范围,纵坐标是  $D(x)$  的变化范围,图中的曲线是在  $\alpha$  为 1, 10, 100 时  $D(x)$  的表示。

从图 3 中可以看出映射的最大值并非是 1, 这样的压缩可以减少正差值在相加后由于超过最大值丢失的机会,从而保留了正差值的信息。另外从图 3 中还可以看出不同的  $\alpha$  值可以控制图像的总体亮、暗程度。

### 2.2 差值处理

#### 2.2.1 加权值处理

在 McCann99 算法中,不同的金字塔图像层的

变化是被等同对待的,即是在求金字塔图像层内的差值时,没有考虑加权的问题。然而在对图像的向下抽样过程中,不同层的图像像素点之间的实际空间距离各自不同,那么就应用加权值来反映这种不同。加权值表示为

$$d_i = n_{\text{Layer}} - i_{\text{Layer}} + 1 \quad (2)$$

$d_i$  是加权值,  $n_{\text{Layer}}$  是金字塔图像的层数,  $i_{\text{Layer}}$  是对应的第  $i$  层,  $i=0$  表示顶层。这样作可以达到有层次的处理,同时由于高层金字塔图像层的差值被赋予大的加权值,那么它所代表的远相关细节被控制在一定的范围内而不容易快速的被“重置”掉。

#### 2.2.2 差值调整

在真实场景中,既含有细微的纹理变化,又含有大的边缘变化,根据人眼视觉对亮度的感应是其相对值,而非绝对值,因此有必要通过提升小变化,压缩大变化来调整高动态范围图像的整体动态格局,从而使亮、暗区域的细节更加可视化。如图 4 所示,选择了 3 种调整函数<sup>[11]</sup> 其中,  $T, T_1, T_2$  是门限值,  $T$  控制了要调整细节的范围,如果  $T_1$  很小,说明要调整的细节范围很小,反之亦然;  $T_1, T_2$  是控制动态范围的,在二值之间的像素点得到了适当的压缩。通过实验,得出以第 3 种函数更为适合动态范围图像的变化调整。

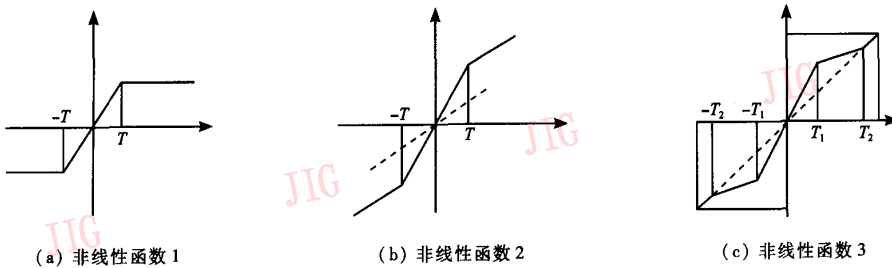


图 4 差值调整函数

Fig. 4 Difference value adjustment function

### 2.3 循环次数的分析

在 McCann99 中,给出了每一层的循环次数为 4,认为是实用数据,在文献[12]中给出了 33 为理论的最佳数值,当然这些循环次数对于各层金字塔图像均是一致的。增加高层循环次数可以更好地刻画远相关细节,而增加底层循环次数可以更好地刻画近相关细节,但是如果过度地增加底层循环次数

会产生 halo 现象。由此提出了下面的循环策略

$$n_{\text{iterations}_i} = n_{\text{Layers}} - i_{\text{Layer}} + 1 \quad (3)$$

其中,  $n_{\text{iterations}_i}$  代表第  $i$  层的循环次数,  $n_{\text{Layers}}$  是金字塔图像的层数。这种方法可以有效地抑制 halo 现象的产生。

### 2.4 颜色校正处理

经过上面的处理,发现图像色彩较暗,这样的现

象在 MSR (multi-scale retinex) 的处理中也遇到过。为了提高彩色图像的饱和度,恢复图像的色彩,采用下面的校色公式<sup>[8]</sup>:

$$C_{out} = \left( \frac{C_{in}}{L_{in}} \right)^s \cdot L_{out} \quad (4)$$

其中,  $C_{out}$  是指 R, G, B 色彩通道,  $L_{in}$  代表算法处理前图像的亮度值,  $L_{out}$  代表算法处理后图像的亮度值。  $s$  是控制图像颜色饱和度的参数。这里选择  $s = 0.7$  时,效果较好。改进后的 Retinex 处理流程图,如图 5 所示。

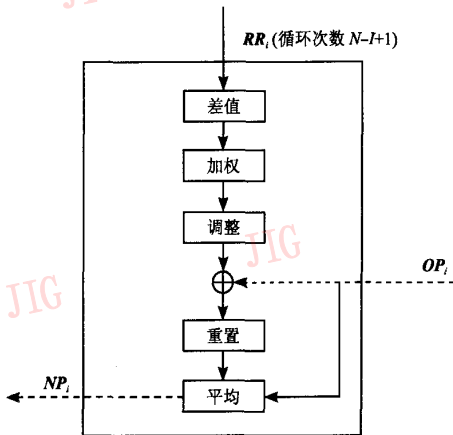


图 5 改进的 Retinex 流程图

Fig. 5 Flow chart of improved Retinex algorithm

### 3 实验与分析

编程环境为赛扬 2.0GHz, 内存 256M, Matlab 6.5。

#### 3.1 原值 OP 的选择

图像在不同的  $\alpha$  下的图像比较显示如图 6 所示。从图 6(b) 中可以看出 McCann99 算法对动态范围图像暗区域的显示能力有限。并且容易产生如门把手的 halo 现象。从图 6(c)、(d) 的比较来看,当  $\alpha$  增大,图像整体的对比度在下降。这与图 3 的曲线相对应。

#### 3.2 加权值

是否加权值情况下的比较结果如图 7 所示。从图 7(b)、(c) 的比较中可以看出,加权后,图像更加有层次性,如图像右上角的显示效果。

#### 3.3 差值调整

图 8 是不同的调整函数下的比较结果,其中,  $G$  是增益值。发现图 8(c) 的对比度最强烈,但是效果并没有图 8(d)、图 8(e) 能满足视觉要求。

#### 3.4 循环次数与 halo 的抑制

将改进算法中的循环次数与 McCann99 中的 4 次和 33 次的效果做了比较,结果如图 9 所示。

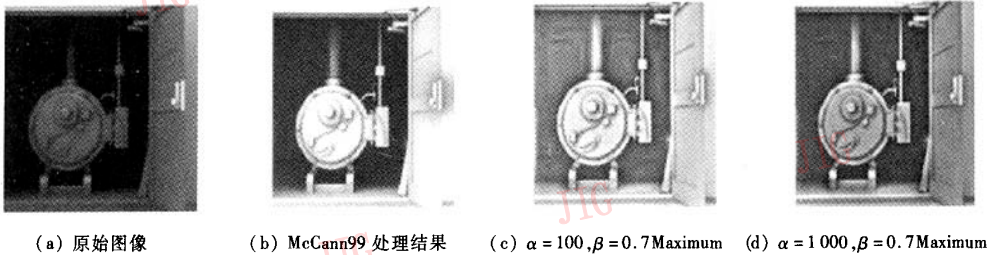


图 6 选择不同  $\alpha$  的效果图比较

Fig. 6 Comparison with different  $\alpha$

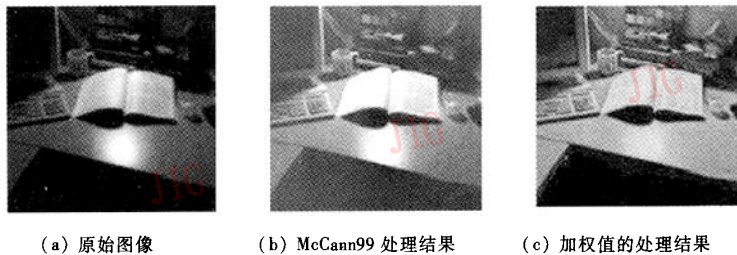


图 7 是否加权的效果图比较

Fig. 7 Effect comparison between weighted and un-weighted algorithms

本文的循环次数可以在一定程度上抑制光晕现象。很明显,从图 9 中可以看出本文的循环次数选

择能在一定的程度上抑制 halo 现象。表 1 给出了计算的时间比较。

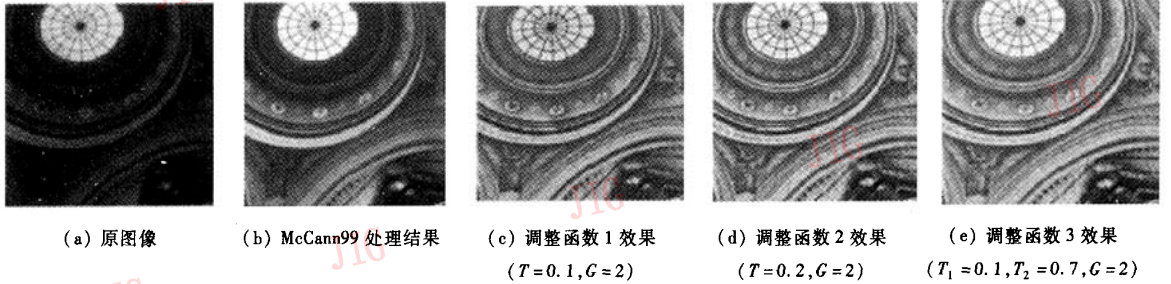


图 8 不同差值调整下的图像效果比较

Fig. 8 Comparison with different adjustment function

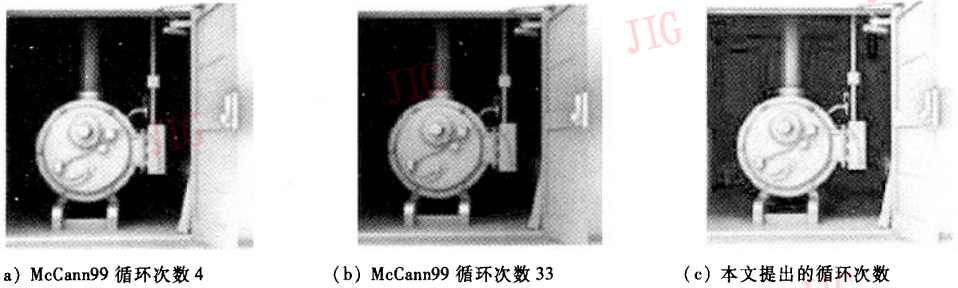


图 9 循环次数与 halo 现象

Fig. 9 Comparison with different cycling numbers for dealing with halo

表 1 不同循环次数的时间对比

Tab. 1 Time consuming comparison with different cycling numbers

单位:s

Image	McCann99(4 次)	McCann99(33 次)	McCann99(改进算法)
图像大小(128 × 128)	2.9850	6.0470	2.8750

### 3.5 全局效果

图 10 给出了与其他算法的比较效果。

从图中可以看出,对于此图像中暗区域的显示

效果得到明显地改善(请对比不同效果图的右上角和左边中部的区域),同时图像的对比度也有提高(请对比上部的圆形天窗和中下部的门)。

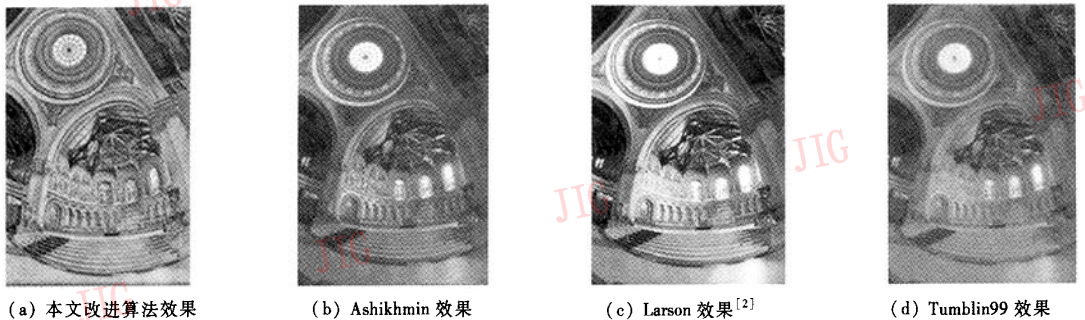


图 10 不同算法效果比较

Fig. 10 Whole effect comparison with different algorithms

## 4 结 论

本文从画图的角度重新解释了 McCann99 算法的思想,并且对其参数选择进行了分析和调整。在初值的选择上,压缩了高斯金字塔顶层图像的显示范围,并以此作为改进的算法初值。在对差值调整的过程中,引用了 3 种非线性调整的方法,同时进行了测试。分析 McCann99 算法的过程中,发现了两个重要问题,其一是如果图像的动态范围很高,该算法对暗区的处理效果不佳,对此引入了压缩初值的方法提高动态的显示。其二是对有些图像的处理依然存在 halo 现象,这与图像层内循环次数有关。故试图用线性递减的循环次数以减轻 halo 现象。由实验可以看到其优越性。

McCann99 算法的分层模式与小波处理十分相近,将来的研究任务是将这种算法嵌入到小波的压缩处理中,这样可以使动态范围图像的压缩与显示结合起来,同时为高动态视频的处理打下基础。

### 参考文献 (References)

- 1 Rushmeier H, Larson G W, Piatko C. A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1997, 3(4): 291 ~ 306.
- 2 DiCarlo J M, Wandell B A. Rendering high dynamic range images [A]. In: Proceedings of SPIE: Image Sensors [C], San Diego, California, USA, 2000, 3965: 392 ~ 401.
- 3 Tumblin J, Hodgins J K, Guenter B K. Two methods for display of high contrast images [J]. ACM Transactions on Graphics, 1999, 18(1): 56 ~ 94.
- 4 Pattanaik S N, Ferwerda J A, Fairchild M D, et al. A multi-scale model of adaptation and spatial vision for realistic image display [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'98 [C], Orlando, 1998: 287 ~ 298.
- 5 Durand F, Dorsey J. Fast bilateral filtering for the display of high dynamic range images [J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 257 ~ 266.
- 6 Tumblin J, Turk G. LCIS: A boundary hierarchy for detail preserving contrast reduction [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH'99 [C], LOS Angeles, CA, USA, 1999: 83 ~ 90.
- 7 Land Edwin, McCann John. Lightness and retinex theory [J]. Journal of the Optical Society of America, 1971, 61(1): 1 ~ 11.
- 8 Funt B V, Ciurea F, McCann J J. Retinex in Matlab [A]. In: Proceedings of IS&T/SID Eighth Color Imaging Conference [C], Scottsdale, USA, 2000: 112 ~ 121.
- 9 Ogata M, Tsuchiya T, Kubozono T, et al. Dynamic range compression based on illumination compensation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 47(4): 548 ~ 558.
- 10 Carrato S. A pseudo-retinex approach for the visualization of high dynamic range images [A]. In: Proceedings of the 5th COST 276 Workshop [C], Prague, Czechoslovakia, 2003: 1 ~ 6.
- 11 Brown. An adaptive strategy for wavelet based image enhancement [A]. In: Proceedings of IMVIP 2000-Irish Machine Vision and Image Processing Conference [C], Belfast, Northern Ireland, 2000: 67 ~ 81.
- 12 Funt B, Ciurea F. Control parameters for Retinex [A]. In: Proceedings of the 9th Congress of the International Color Association [C], Rochester, NY, USA, 2001: 287 ~ 290.