

中图分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)12-2124-09

论文索引信息: 汪荣贵, 周良, 张新龙, 傅剑峰. 基于 Retinex 的 JPEG 图像增强新方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(12): 2124-2132

基于 Retinex 的 JPEG 图像增强新方法

汪荣贵, 周良, 张新龙, 傅剑峰

(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009)

摘要: 针对现有 JPEG 图像压缩与增强的过程分离, 且图像增强后容易产生块状效应的局限性, 提出一种新的 JPEG 图像增强算法, 该算法嵌入 JPEG 图像压缩框架之中, 在量化步骤之前增强图像以充分利用图像原始信息。增强过程以 Retinex 理论为基础, 将 DCT 系数分为照度分量 (DC 系数) 和反射分量 (AC 系数), 对 DC 系数进行动态范围调整, 并利用 DC 系数的增强因子对 AC 系数做细节增强。最后, 对调整后的 DCT 系数做平滑处理来抑制块效应。实验结果表明, 与传统的其他算法相比, 该算法能更好的增强细节信息和保持色彩信息, 并能保持与标准 JPEG 同等的图像压缩比。

关键词: JPEG 压缩; 图像增强; Retinex; DCT 变换

Novel JPEG image enhancement method based on Retinex theory

Wang Ronggui, Zhou Liang, Zhang Xinlong, Fu Jianfeng

(School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009 China)

Abstract: A new JPEG image enhancement method based on Retinex theory is proposed to improve the existing enhancement methods. The existing methods cannot enhance images effectively because after JPEG compression images will lose some information. The proposed algorithm enhances images before quantization in the JPEG compression process to use full primal information of images. The discrete cosine transform (DCT) coefficients are divided into the incident component (DC coefficients) and the reflection component (AC coefficients) based on the Retinex theory; the DC coefficients are adjusted in the image dynamic range, and the AC coefficients are adjusted to enhance the details with the enhancement factors of the DC coefficients. The block artifacts will be suppressed by smoothing the DCT coefficients. Compared to other enhancement algorithms, results show the new approach's efficiency in details enhancement and color preserving, while keeping the same compression ratio as the normal JPEG compression.

Keywords: JPEG compression; image enhancement; Retinex; discrete cosine transform

0 引言

JPEG (joint photographic experts group, 联合图像专家组) 是国际标准化组织 (ISO) 和国际电信联盟 (ITU) 在 1991 年制定的第一套静态图像压缩标

准^[1]。它是基于离散余弦变换 (DCT) 的方法, 在中高码率 (码率大于 0.25 比特/像素) 对于连续色调的静态灰度或彩色图像取得了较好的压缩性能。目前, JPEG 标准以其较好的压缩效率和较低的数据损失在多媒体通信技术中得到了广泛应用, 已成为国际通用标准。然而, 对于采集到的一些特殊图像, 如

收稿日期: 2011-01-14; 修回日期: 2011-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61075032); 安徽省自然科学基金项目 (090412059)。

第一作者简介: 汪荣贵 (1966—), 男, 博士, 教授, 硕士生导师。主要研究方向为智能视频处理与分析、车载视觉增强系统、多媒体技术研究。E-mail: zh12707@126.com。

高动态范围图像、低照度图像等,一般需要增强后才能更好地识别,而 JPEG 压缩是有损压缩,量化过程中将丢失部分信息,对压缩后的图像再增强时图像的细节不能得到有效的增强,因此,需要探究一些在压缩的同时对图像进行增强处理的方法,即在量化前先对图像进行增强处理,充分利用图像的原始信息,以在图像的细节增强和色彩保持方面达到更好的效果。压缩域增强的方法在近几年成为图像增强领域的热点。Tang 等人提出一种基于 JPEG 域的图像增强方法^[2],他以 8×8 块为单位,将 DCT 系数分成 15 个子带,除直流分量外,对其他子块的对比系数做统一处理。Iqbal 等人提出一种压缩图像在 DCT 域的对比度增强方法^[3],他将 DCT 块根据其空间频率特性分成 3 个部分,水平高频部分、垂直高频部分和混合高频部分。然后用不同的方法对其进行调整。Lee 针对图像亮度值显著变化的区域内容易产生块状效应的特点,提出一种通过平滑 DC 系数以抑制块状效应的方法^[4]。Mukherjee 提出一种 DCT 域图像增强算法,该算法在图像 YCbCr 空间对 DCT 系数进行处理,在图像色彩保持方面取得不错的效果^[5]。上海交通大学许海峰提出基于 DCT 域的感知图像增强算法^[6],将图像块分为平坦区、弱纹理平坦区、纹理区和边沿区,对不同的图像块采用不同的增强方法调整 DCT 系数。现有的这些方法都是对压缩后的图像进行增强,没有充分利用图像的原始信息,因而难以在图像的细节增强和色彩保持方面获得良好的效果。

Retinex 方法是图像增强的一种新方法^[7-9]。其理论基础是色彩的恒常性^[10],即人眼能够在复杂的光照条件下正确地记录物体的真实颜色。色彩恒常性基本的实现机理是,人眼对物体色彩的感知取决于物体表面的反射分量特性,受照度分量的影响较小。因此,Retinex 算法把待增强图像看成是由反射分量和照度分量这两部分组成,通过像素之间的亮度比较计算出照度分量,由此进一步计算出反射分量,还原物体的本来面貌,实现对退化图像的增强。

结合 Retinex 理论提出一种新的在 JPEG 压缩过程中的 DCT 域图像增强方法。该方法在量化前先对图像进行增强处理,充分利用图像的原始信息,可以在图像的细节增强和色彩保持方面达到良好的效果,并能保持与标准 JPEG 同等的图像压缩比。该方法将离散余弦变换(DCT)系数分为照度分量(DC 系数)和反射分量(AC 系数)两部分,并根据

DC 系数的分布自适应的将图像分为较暗区域和较亮区域,并对两个区域分别采用不同的映射函数来调整其 DC 系数,再利用 DC 系数增强因子对 AC 系数进行调整,增强图像的对比度和突出细节,实现对图像的有效增强。

1 Retinex 理论

Retinex 方法是由 Land 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种色彩恒常性感知计算理论和方法,即人对物体色彩的感知取决于物体表面的反射光特性,与入射光无关。到 20 世纪 90 年代,Jobson 等人将 Retinex 技术成功地用于图像增强^[10]。Retinex 基本思想是,将原图像 $S(x, y)$ 看成是由照射光图像 $L(x, y)$ 和物体反射属性 $R(x, y)$ 组成的,可表示为

$$S(x, y) = L(x, y) \times R(x, y) \quad (1)$$

式中, $L(x, y)$ 直接决定了一幅图像中像素能达到的动态范围, $R(x, y)$ 决定了图像的内在性质,因此,Retinex 理论就是在原始图像 S 中估计出光照 $\tilde{L}(x, y)$,从而由下式计算得到反射估计 $\tilde{R}(x, y)$,消除光照不均的影响,以改善图像的视觉效果。

$$\tilde{R}(x, y) = \frac{S(x, y)}{\tilde{L}(x, y)} \quad (2)$$

增强算法基于 Retinex 理论,对照度分量和反射分量分别进行处理,并将这两部分处理结果进行合成得到最终的增强图像。即对照度分量进行动态范围调整得到 $L_{out}(x, y)$,以改善图像的整体亮度效果。同时,对反射分量进行细节增强得到 $R_{out}(x, y)$,以增加图像的清晰度。然后由 $L_{out}(x, y)$ 和 $R_{out}(x, y)$ 得到增强后的图像

$$S_{out}(x, y) = L_{out}(x, y) \times R_{out}(x, y) \quad (3)$$

算法的基本流程如图 1 所示。

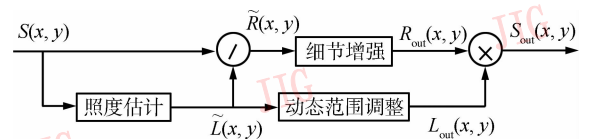


图 1 算法流程

Fig. 1 Algorithm processing

2 本文算法

2.1 JPEG 图像增强流程

提出的 JPEG 图像增强新方法是拟将增强过程

嵌入 JPEG 压缩流程当中,过程为:首先将原始图像经过 DCT 变换转换至频域,得到图像的 DCT 系数;然后对 DCT 系数进行调整达到增强图像的目的,充分利用图像的原始信息量;接着按照

JPEG 的原始流程对增强后的图像进行量化、编码等操作;最终得到增强后的高质量 JPEG 图像,方便进行网络传输等后续操作,图 2 为算法的总体流程图。

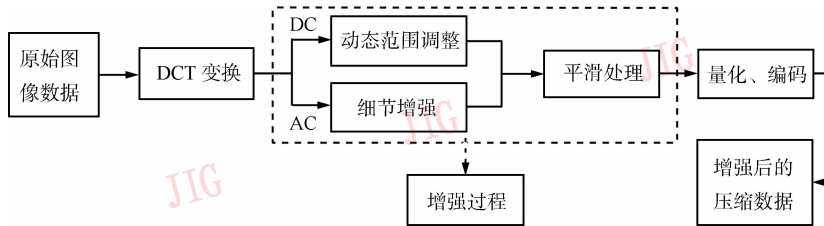


图 2 算法总体流程图

Fig. 2 The proposed method processing

下面具体介绍 DCT 变换后的增强过程。

假设原图像为 $I_{orig}(x, y)$, 为了减少计算量和更好地保持图像的色彩信息, 首先将图像从 RGB 空间转换到 YCbCr 空间。YCbCr 空间广泛用于数字图像和视频当中, 其中, Y 表示亮度信息, Cb、Cr 表示色度信息。假设 YCbCr 空间和 RGB 空间图像每个色彩分量均为 8 位存储, 则两空间的关系如下:

$$Y = 0.502G + 0.098B + 0.256R$$

$$Cb = -0.290G + 0.438B - 0.148R + 128$$

$$Cr = -0.366G - 0.071B + 0.438R + 128$$

由于 YCbCr 空间与 RGB 空间不呈线性关系, 从算法实现角度考虑, 定义一种 YCb'Cr' 空间, 其中 $Cb' = Cb - 128, Cr' = Cr - 128$, 与 RGB 空间呈线性关系。然后对 Y、Cb、Cr 分量分别按 8×8 子块做 DCT 变换。

基于 Retinex 理论, 将 DCT 系数分为照度分量 (DC 系数) 和反射分量 (AC 系数) 两种, 要对照度分量的估计值做动态调整, 也就是调整各子块的 DC 系数, DC 系数的值反映了当前子块的平均亮度分布, 通过映射亮度值到预期的范围来达到动态范围压缩的目的。在给定的范围内, 映射函数应当是单调的。假设当前图像的最大亮度为 I_{max} , Y 分量的第 i 个子块的 DCT 系数为 $Y_i(k, l), 0 \leq k, l \leq 7$, 则 $Y_i(0, 0)$ 即为各子块的 DC 系数, I_{max} 可由 $\text{MAX}(Y_i(k, l))$ 表示。假设函数 $y = \{f(x), 0 \leq x, y \leq 1\}$ 为定义在区间 $[0, 1]$ 内的单调递增函数, 则 Y 分量的 DC 系数调整函数为

$$\tilde{Y}_i(0, 0) = I_{max} f\left(\frac{Y_i(0, 0)}{I_{max}}\right) \quad (4)$$

式中, 函数 $f(x)$ 的选取有多种途径, 选择 Mukherjee 等人在文献 [5] 中提出 CES 算法时给出的一种函

数, 并做出改进。其函数为

$$f(x) = \begin{cases} n\left(1 - \left(1 - \frac{x}{m}\right)^{p_1}\right) & 0 \leq x \leq m \\ n + (1 - n)\left(\frac{x - m}{1 - m}\right)^{p_2} & m \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中, m 将图像分为较暗区域 $[0, m]$ 和较亮区域 $[m, 1]$, p_1, p_2 分别为较暗区域和较亮区域的调整系数。 $f(m) = n$ 。该文中选取 $m = n = 0.5$ 。

下面探讨式 (5) 中参数 m, n 的取值。如图 3、4 所示, 以图像 House, Room 为例, 右边为亮度分量的 DC 系数归一化后的直方图。

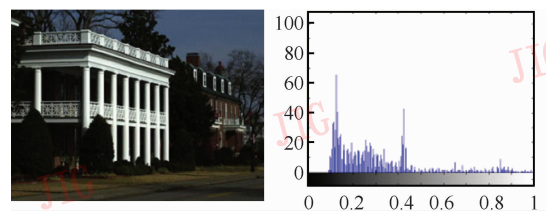


图 3 House 及其亮度分量 DC 归一化系数直方图
Fig. 3 DC coefficients' s Histogram for Y component of House image

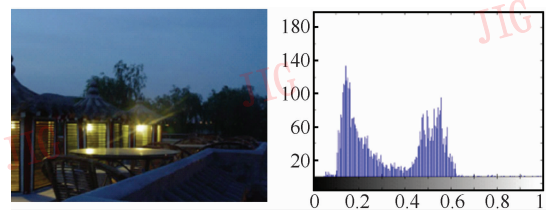


图 4 Room 及其亮度分量 DC 归一化系数直方图
Fig. 4 DC coefficients' s Histogram for Y component of Room image

由两幅图像的亮度 DC 归一化系数直方图可以看出, 简单的将归一化系数小于 0.5 的子块划分为较暗区域是不严谨的, 进而会影响两个区域的 DC

系数动态调整。经过实验表明, m 值的选取对调整后的图像效果有很大影响。因此, 本文根据图像 DC 系数归一化后的分布特点来确定将图像划分为较暗和较亮两个区域的阈值。

具体的划分方法为, 首先将各个子块的 DC 系数归一化: $\Phi_i = DC_i / I_{\max}$, 再将 Φ_i 划分为 10 个区间, $[0, 0.1], (0.1, 0.2], \dots, (0.9, 1]$, 并统计 Φ_i 在每个区间的个数 N_{Φ_i} , 最后求得阈值为

$$m = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \frac{N_{\Phi_i} \times i}{\sum_{i=1}^{10} N_{\Phi_i}} \quad (6)$$

如果 $\Phi_i < m$, 则该子块属于较暗区域, 反之则属于较亮区域。并将式(5)的映射函数调整为

$$\tilde{f}(x) = \begin{cases} (1 - m) \left(1 - \left(1 - \frac{x}{m} \right)^{p_1} \right) & 0 \leq x \leq m \\ 1 - m \left(1 - \left(\frac{x - m}{1 - m} \right)^{p_2} \right) & m \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

这样, 映射函数 $\tilde{f}(x)$ 中要调整的系数只有 p_1 和 p_2 两个, 可以在实验的过程中方便的调节该系数以达到一个比较好的效果。此时, 亮度分量的 DC 系数的动态范围调整为

$$\tilde{Y}_i(0, 0) = I_{\max} \tilde{f} \left(\frac{Y_i(0, 0)}{I_{\max}} \right) \quad (8)$$

定义各子块的增强因子 $\lambda_i = \tilde{Y}_i(0, 0) / Y_i(0, 0)$ 。亮度分量的 AC 系数的调整方法是将各子块的亮度增强因子 λ_i 乘以该子块的 AC 系数, 即

$$\tilde{Y}_i(k, l) = \lambda_i Y(k, l) \quad 1 \leq k + l \leq 14 \quad (9)$$

以往的算法往往只改变亮度分量 Y 而保持色度分量 Cb 和 Cr 不变, 虽然 $YCbCr$ 色彩空间中色度分量和亮度分量的关系不像 RGB 空间中 3 个分量那样联系紧密, 但是仅仅增加 Y 分量的值往往会引起色彩饱和度的降低。由 $YCbCr$ 空间到 RGB 空间的转换公式可知, 在 $G > R$ 和 $G > B$ 时增加 Y 而保持 Cr 和 Cb 不变, 会导致 R/G 和 B/G 的值变小, 降低色彩饱和度。因此, 本文算法同时处理了色度分量 Cr 和 Cb 以保持原始图像色彩。

色度分量的动态范围压缩, 即对 Cb, Cr 分量的 DCT 系数 $U_i(k, l), V_i(k, l)$ 的 DC 系数进行调整

$$\begin{cases} \tilde{U}_i(0, 0) = N \left(\lambda_i \left(\frac{U_i(0, 0)}{N} - 128 \right) + 128 \right) \\ \tilde{V}_i(0, 0) = N \left(\lambda_i \left(\frac{V_i(0, 0)}{N} - 128 \right) + 128 \right) \end{cases} \quad (10)$$

色度分量反射分量的细节增强方法同亮度分量的反射分量调整, 即

$$\begin{cases} \tilde{U}_i(k, l) = \lambda_i U_i(k, l) & 1 \leq k + l \leq 14 \\ \tilde{V}_i(k, l) = \lambda_i V_i(k, l) & 1 \leq k + l \leq 14 \end{cases} \quad (11)$$

式中, N 为子块的宽度, 本算法中 $N = 8$ 。

2.2 抑制块效应方法

由于 DCT 域图像增强算法是在非重叠的子块中进行, 对各子块进行 DCT 系数调整时, 容易造成相邻块之间出现块状效应。另外, 在量化过程中会损失一些图像细节, 也会导致重构图像块之间出现不连续的现象。因此, 去除块状效应也是一个很重要的环节。

提出一种对四相邻块内 DCT 系数做平滑处理的方法来抑制块效应, 即在 4 个 8×8 图像块中取中间相邻的 4 个 4×4 的子块组成一个新的 8×8 的图像块, 对新的图像块内的 DCT 系数做平滑处理, 然后使用新的矩阵模板来降低原图像块中的失真。具体实现方法是: 首先同时处理 4 个 8×8 图像块相邻处的块状效应, 图 5 显示各原始图像块和平滑块的关系。 $Block_1, Block_2, Block_3$ 和 $Block_4$ 表示原始 8×8 图像块, Sub_1, Sub_2, Sub_3 和 Sub_4 分别是它们的子块, 大小是 4×4 。平滑块由 Sub_1, Sub_2, Sub_3 和 Sub_4 构成。

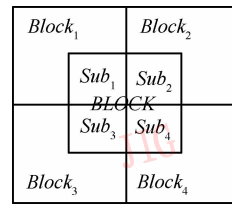


图 5 原始图像块和平滑块的关系图

Fig. 5 The relation of primal block and overlap

由文献[11]可知, 平滑块 $BLOCK$ 和原始图像块的 DCT 系数之间的关系为

$$\begin{aligned} BLOCK &= Block_1 U \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} \\ I_{4 \times 4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} & I_{4 \times 4} \end{bmatrix} U^T + \\ &Block_2 U \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} \\ I_{4 \times 4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} & I_{4 \times 4} \end{bmatrix} U^T + \\ &Block_3 U \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} \\ I_{4 \times 4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} & I_{4 \times 4} \end{bmatrix} U^T + \\ &Block_4 U \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} \\ I_{4 \times 4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{4 \times 4} & I_{4 \times 4} \end{bmatrix} U^T \end{aligned} \quad (12)$$

式中

$$U = \sqrt{\frac{2}{N}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \dots & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos \frac{\pi}{2N} & \cos \frac{3\pi}{2N} & \dots & \cos \frac{(2N-1)\pi}{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \cos \frac{(N-1)\pi}{2N} & \cos \frac{3(N-1)\pi}{2N} & \dots & \cos \frac{(2N-1)(N-1)\pi}{2N} \end{bmatrix}$$

$I_{4 \times 4}$ 为 4×4 单位矩阵, $0_{4 \times 4}$ 为 4×4 全零矩阵。

对平滑块 BLOCK 构造一个 2 维模板矩阵

$$BLOCK_m(i, j) = B_{m1}(i, j) \oplus B_{m2}(i, j) \oplus B_{m3}(i, j) \oplus B_{m4}(i, j) \quad (13)$$

式中

$$B_{ml}(i, j) = \begin{cases} 1 & 0 \leq i \leq h_l \text{ 且 } 0 \leq j \leq v_l \\ 0 & h_l < i \leq 7 \text{ 或 } v_l < j \leq 7 \end{cases} \quad (14)$$

$l = 1, 2, 3, 4$

h_l 和 v_l 是子块 Sub_l 的两倍最大水平、垂直非零系数下标。 i 和 j 是图像块里的元素坐标, \oplus 是“或”运算, \otimes 代表两个矩阵对应元素的积。平滑块 BLOCK 的平滑投影是

$$BLOCK(i, j) = BLOCK(i, j) \otimes BLOCK_m(i, j) \quad (15)$$

重叠区域经过两个方向的滤波后, DCT 系数分布发生了改变, 因此, 在原图像块中可能会有新的块状效应出现, 于是, 使用新的模板矩阵 $Block_{ml}$ 来降低原图像块中的失真

$$Block_{ml}(i, j) = \begin{cases} 1 & 0 \leq i \leq B_{lh} + 1 \text{ 且 } \\ & 0 \leq j \leq B_{lv} + 1 \\ 0 & B_{lh} + 1 < i \leq 7 \text{ 或 } \\ & B_{lv} + 1 < j \leq 7 \end{cases} \quad (16)$$

B_{lh} 和 B_{lv} 是第 l 个图像块 $Block_l$ 中水平/垂直方向最大非零系数的下标。原图像块的投影和平滑块的投影方法类似, 即

$$Block_l(i, j) = Block_l(i, j) \otimes Block_{ml}(i, j) \quad (17)$$

综上所述, JPEG 图像增强流程具体步骤为:

1) 将图像从 RGB 空间转到 YCbCr 空间。

2) 对亮度分量 Y 和色度分量 Cb、Cr 分别做 8×8 DCT 变换, 得到分块 DCT 系数 $Y_i(k, l)$, $U_i(k, l)$, $V_i(k, l)$ 。

3) 计算阈值 m , 将图像划分为较亮和较暗两个区域。

4) 调整 DCT 系数。由式(7)(8)对亮度分量的 DC 系数调整; 由式(10)对色度分量的 DC 系数调整; 由式(11)对 AC 系数进行调整。

5) 得到调整后的 Y、Cb、Cr 的 DCT 系数 $\tilde{Y}_i(k, l)$, $\tilde{U}_i(k, l)$, $\tilde{V}_i(k, l)$, 然后对该系数做平滑处理。

6) 按照 JPEG 的原始流程对增强处理后的 DCT 系数进行量化、编码等操作; 最终得到增强后的 JPEG 图像。

由上述步骤可以看出, 增强算法嵌入在 JPEG 图像压缩过程中的 DCT 变换之后, 增强后按照原顺序依次进行量化、编码等操作, 先后顺序不变, 保持了 JPEG 标准压缩过程的一致性; DCT 系数经过增强后, 数值变化范围与原系数范围相同, 不会影响后续操作, 与 JPEG 标准完全兼容。

3 实验与分析

3.1 与其他算法比较

将本文算法与 MSR 算法、Tang 算法^[2] 的处理效果相比较, 并给出图像亮度(Y)分量的直方图, 如图6—9所示。MSR 算法和 Tang 算法都是在图像压缩后再做增强处理。

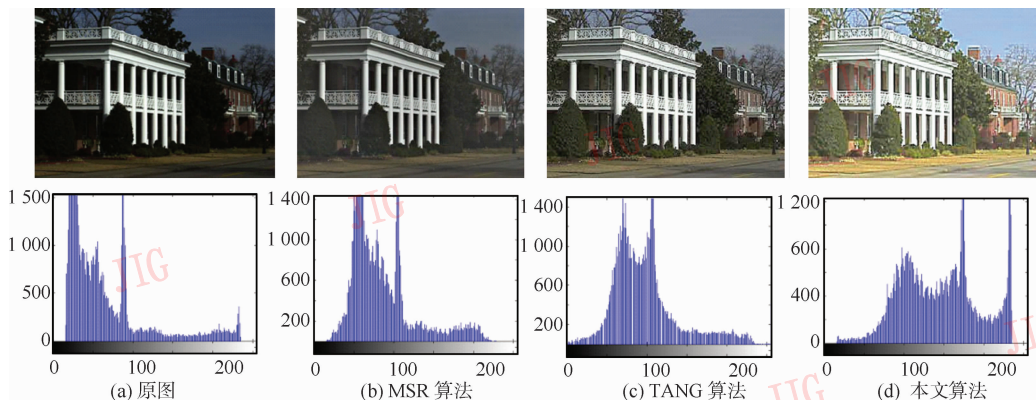


图 6 House 处理结果及 Y 分量的直方图

Fig. 6 Comparison of processing results for House image

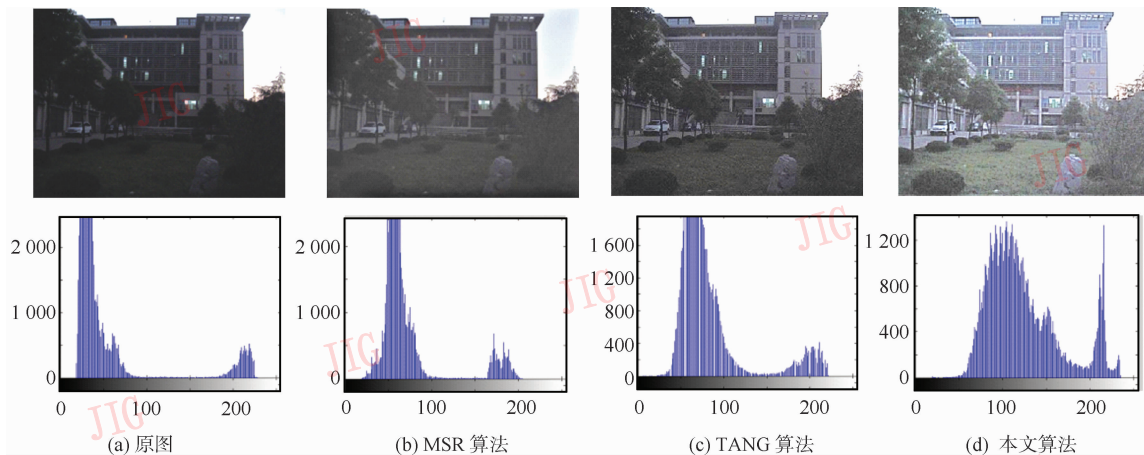


图 7 Campus 处理结果及 Y 分量的直方图

Fig. 7 Comparison of processing results for Campus image

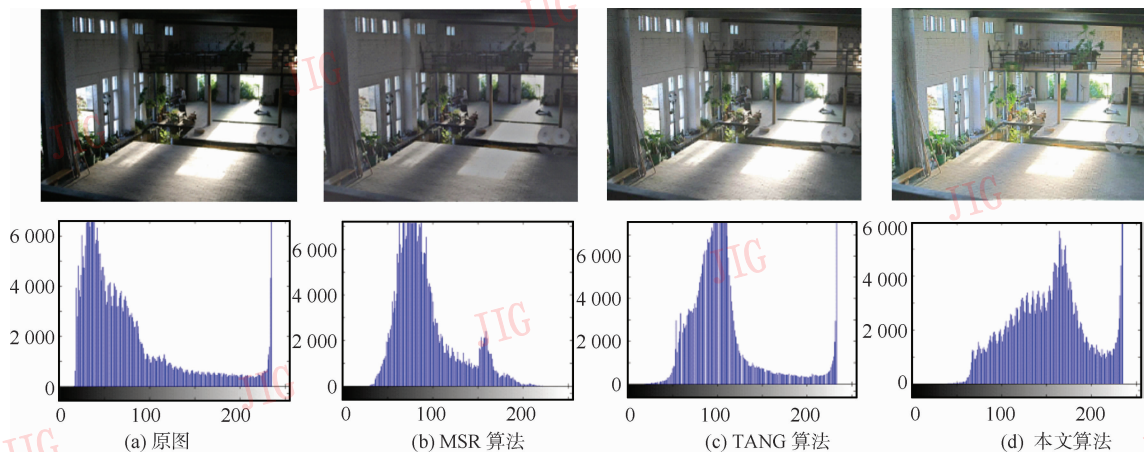


图 8 Indoor 处理结果及 Y 分量的直方图

Fig. 8 Comparison of processing results for Indoor image

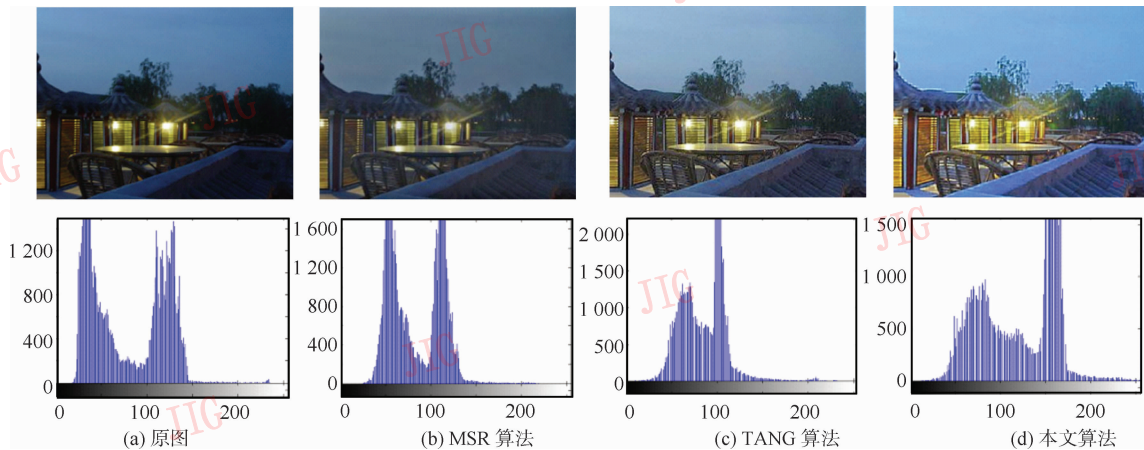


图 9 Room 处理结果及 Y 分量的直方图

Fig. 9 Comparison of processing results for Room image

以上各算法参数的选取为:MSR 算法中低、中、高 3 个尺度分别选取 15、80、200;Tang 算法中 $\lambda = 1.4$;本文算法中, $p_1 = 2.0, p_2 = 1.5$ 。从图 6—图 9 的实验结果可以看到,MSR 的处理结果在色彩上相对灰暗。Tang 算法由于是对所有子带用相同的系数进行增强,因而图像的细节不能得到很好的增强,另外,他是对 RGB 通道分别进行处理,所以图像色彩没有得到很好的保持。本文算法一方面自适应的将图像分为明暗两个区域,能更好的对不同区域进行增强,使得图像的亮度得到了较好的增强;另一方面将图像转到 YCbCr 空间进行处理,并且在量化前对 DCT 系数进行调整,充分利用了原图像的信息,因而图像在细节和色彩保持方面得到了一个比较好的效果。虽然增强后图像较原图像之间存在着差异,但对图像亮度和细节的增强,是为了便于人和机器对图像进行分析理解,因而在一定程度上加强图像的某些特征是可行的。

由于原图像较大,对块状效应的抑制效果缩放后不能很清楚地观察到,因此截取图 6—9 的部分内容如图 10 所示。



图 10 局部块状效应示意图

Fig. 10 The show of block artifacts

由图 10 可以看出,经增强过程中的平滑处理之后,避免了增强后的图像出现块状效应。表 1—4 给出了上面各图处理结果的亮度均值,标准差和熵。均值反映了图像的平均亮度,标准差反映了图像的对比度,熵反映了图像所包含的信息量。

表 1 House 的信息量

Tab. 1 The image data of House

	均值	标准差	熵
原图	65.973 0	42.162 6	6.996 6
MSR 算法	85.530 6	40.253 7	7.109 7
Tang 算法	110.093 4	38.752 9	7.330 1
本文算法	146.424 6	48.485 7	7.538 2

表 2 Campus 的信息量

Tab. 2 The image data of Campus

	均值	标准差	熵
原图	54.857 3	45.257 9	6.108 8
MSR 算法	72.269 0	39.837 9	6.188 6
Tang 算法	107.125 4	42.322 8	6.767 2
本文算法	124.270 1	46.336 5	7.352 7

表 3 Indoor 的信息量

Tab. 3 The image data of Indoor

	均值	标准差	熵
原图	80.920 0	50.251 0	7.276 2
MSR 算法	92.092 5	33.325 8	7.021 6
Tang 算法	108.574 4	42.261 3	7.120 2
本文算法	145.610 4	51.382 1	7.581 9

表 4 Room 的信息量

Tab. 4 The image data of Room

	均值	标准差	熵
原图	78.916 0	42.214 5	6.964 7
MSR 算法	85.272 4	30.172 0	6.618 1
Tang 算法	91.786 3	22.614 2	6.627 2
本文算法	122.366 3	42.853 2	7.231 6

由表 1—4 可以看出,通过本文算法处理后的图像,其亮度、对比度和所包含的信息量也相对较好。另外,再对图像的色彩质量做一个客观评价。Munteanu 和 Rosa 在提出参数为 $A = 1.5, B = 1$ 的 Beta 分布和 $[0, 1]$ 区间上的均匀分布分别是 Y 和 Cb、Cr 通道上的理想分布,Y 通道的分布尽可能在 $[0, 1]$ 区间上接近 1 的区域内,可使得图像亮度更佳,Cb 和 Cr 通道的分布尽可能地接近于均匀分布,可以使得图像包含更多的色彩内容^[12]。文中提出的一种图像色彩质量的评价标准。该标准的计算方法如下:

首先,将 YCbCr 各通道数值归一化至 $[0, 1]$ 区间。然后分别计算 Y 通道值的分布到参数为 $A = 1.5, B = 1$ 的 Beta 分布的 Kullback-Leibler (K-L) 距离^[13],记为 ΔY ;Cb 和 Cr 通道值的分布到 $[0, 1]$ 区间上的均匀分布的 K-L 距离,分别记为 ΔCb 和 ΔCr ,最后求得亮度和色彩的适应性数值

$$fitness = \frac{1}{\Delta Y \times \Delta Cb \times \Delta Cr + 1} \quad (18)$$

K-L 距离定义了两种分布的接近程度,设两种

不同的分布 $p(k)$ 和 $q(k)$, 两者的 K-L 距离定义为

$$\Delta(p, q) = \sum_k p(k) \ln \frac{p(k)}{q(k)} \quad (19)$$

若 q 的分布越接近于均匀分布 p , Kullback-Leibler 距离越小, 则图像的亮度及色彩分布越好。表 5 是以上各实验图片的 *fitness* 质量评价。

表 5 各组实验 *fitness* 值评价

Tab. 5 *fitness* measure of three kinds of images

图	原图	MSR 算法	Tang 算法	本文算法
House	9.7051×10^3	6.2345×10^3	2.0697×10^4	5.2222×10^4
Campus	1.6148×10^3	1.0315×10^3	1.1323×10^3	9.8057×10^3
Indoor	7.3091×10^3	3.8700×10^3	1.1686×10^4	3.8377×10^4
Room	5.6249×10^4	1.7786×10^4	3.6277×10^4	1.1673×10^5

由表 5 可以看出, MSR 算法和 TANG 算法直接对图像 RGB 通道进行处理, 图像的色彩与原图像相比有一定的降低, 而本文算法的色彩较原图有一定的增强。由于本文算法是将图片转换到 YCbCr 空间对亮度和色度都进行调整, 对色度的增强利用的是亮度的增强因子, 因而在色彩恒常方面有较好的效果, 色彩的增强效果较为明显, 从上面的图像也可以看出, 本文算法增强后图像的色彩保持的比较好。

3.2 本文算法对 JPEG 压缩比的影响

JPEG 图像增强方法是在标准 JPEG 压缩过程中加入了图像增强方法, 即在量化前先调整 DCT 系数, 然后再按 JPEG 标准压缩过程进行图像压缩, 下面选取 3 张未压缩图像进行实验分析 (图 11—图 13), 新的 JPEG 增强方法对图像压缩比的影响。



(a) 原未压缩图像 (b) 标准 JPEG 压缩后的图像



(c) 本文算法压缩后的图像

图 12 Hill 图像的 JPEG 压缩

Fig. 12 JPEG compression of Hill image



(a) 原未压缩图像 (b) 标准 JPEG 压缩后的图像



(c) 本文算法压缩后的图像

图 13 Emeishan 图像的 JPEG 压缩

Fig. 13 JPEG compression of Emeishan image

首先从视觉效果上看, 本文算法压缩增强后的图像在整体亮度和细节方面都有一定的增强, 而且色彩保持的比较好, 图像的视觉效果有明显的提高。下面从客观上分析一下新的 JPEG 增强方法对压缩比的影响。

压缩比 C 定义为

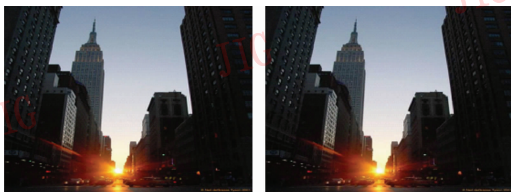
$$C = \frac{\text{原始数据的平均比特率}}{\text{压缩数据的平均比特率}}$$

经计算得上面 3 幅图像的压缩比如表 6 所示。

表 6 图像的压缩比对比数据

Tab. 6 The Comparison of compression ratio

JPEG 压缩	Street	Hill	Emeishan
标准	23.025 8:1	21.920 5:1	16.635 1:1
本文	21.656 7:1	20.235 7:1	16.135 8:1



(a) 原未压缩图像 (b) 标准 JPEG 压缩后的图像



(c) 本文算法压缩后的图像

图 11 Street 图像的 JPEG 压缩

Fig. 11 JPEG compression of Street image

由表 6 可以看出,本文算法压缩后的图像的压缩比较标准 JPEG 压缩要小一些,这是由于在 DCT 域增强时对 AC 系数做了一定的调整,在量化时采用的是 JPEG 压缩标准量化表,量化后为 0 的系数要少一些,因此,本文算法压缩后的图像数据量要稍大一些。但从表中可以发现,压缩比并未降低很多。下一步,我们将探究调整后的 DCT 系数和量化表之间的关系,利用 DCT 系数的信息来自适应的调整量化表,以期在保证图像增强质量的同时达到一个更好的压缩比。

4 总 论

针对现有 JPEG 图像压缩与增强的过程分离,且图像增强后容易产生块状效应的局限性,提出一种 JPEG 图像增强新算法,该增强算法嵌入 JPEG 图像于压缩框架之中,在量化步骤之前增强图像以充分利用图像原始信息。增强过程以 Retinex 理论为基础,将 DCT 系数分为照度分量(DC 系数)和反射分量(AC 系数),提出一种新的自适应划分图像为较亮和较暗两个区域的阈值方法,进而对两个区域采取的 DCT 系数采取不同的调整方法。与传统 Retinex 算法抛开入射光分量仅仅增强反射分量不同,本文算法同时处理了入射分量和反射分量,并充分考虑到图像的细节特征采用各分块的亮度增强因子对反射分量进行调整,在增强对比度的同时保持了原图像的色彩信息,增强后的图像色彩更自然。由于压缩域增强方法是在非重叠子块内运算,不可避免的出现块状效应。本文算法对调整后的 DCT 系数做平滑处理来抑制块状效应。实验结果表明,对不同退化程度的低照度图像,能够有效增强其对比度和纹理,在亮度、色彩、细节方面都能取得较好的视觉效果,并且对图像的压缩比影响不大。

在对 DCT 系数调整后,量化过程采用的是 JPEG 推荐的标准量化表,对调整后的 DCT 系数可能有些不适用,将对这一点做进一步研究,探索如何在量化过程中自适应的调整量化表来对图像做更好的压缩,在保证图像质量的同时提高压缩比。

参考文献 (References)

[1] Wallace G K. The JPEG still picture compression standard[J].

Commun. ACM, 1991, 34(4): 30-44.

- [2] Tang Jinshan, Eli Peli, Scott Acton. Image enhancement using a contrast measure in the compressed domain [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2003, 10(10): 289-292.
- [3] Iqbal K, Asmatullah Chaudhry, Asifullah Khan, et al. Multiscale contrast enhancement for compressed digital images with block artifacts consideration [J]. Innovations and Advanced Techniques in Computer and Information Sciences and Engineering, 2007, 10.1007/978: 267-272.
- [4] Lee S. An efficient content-based image enhancement in the compressed domain using retinex theory [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol, 2007, 17(22): 199-213.
- [5] Mukherjee J, Sanjit K Mitra. Enhancement of color images by scaling the DCT coefficients [J]. IEEE Trans. Image Process, 2008, 17(10): 1783-1794.
- [6] Xu Haifeng. Image postprocessing technologies in DCT domain [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. [许海峰. 基于 DCT 域的图像后处理技术 [D]. 上海: 上海交通大学, 2007.]
- [7] Wang Ronggui, Zhu Jing, Yang Wanting, et al. An improved local multi-scale Retinex algorithm based on illuminance image segmentation [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(5): 1181-1186. [汪荣贵, 朱静, 杨万挺, 等. 基于照度分割的局部多尺度 Retinex 算法 [J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1181-1186.]
- [8] Zhang Xinlong, Wang Ronggui, Zhang Xuan, et al. Foggy image enhancement based on regions of human visual [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2010, 24(8): 754-762. [张新龙, 汪荣贵, 张璇, 等. 基于视觉区域划分的雾天图像清晰化方法 [J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24(8): 754-762.]
- [9] Wang Ronggui, Yang Wanting, Fang Shuai, et al. An improved MSR algorithm based on wavelet domain information fusion [J]. Journal of Image and Graphics, 2010, 15(7): 1091-1098. [汪荣贵, 杨万挺, 方帅, 等. 基于小波域信息融合的 MSR 改进算法 [J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(7): 1091-1098.]
- [10] Jobson D, Woodell G. Properties and performance of a center/surround Retinex [J]. IEEE Trans. Image Process, 1997, 6(3): 451-462.
- [11] Davis B J, Nawab S H. The of transform coefficients for differing transforms and/or differing subblocks sizes [J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2004, 52(5): 1458-1461.
- [12] Munteanu C, Rosa A. Color image enhancement using evolutionary principles and the Retinex theory of color constancy [J]. Proceedings of the 2001 IEEE Signal Processing Society Workshop, 2001, 10.1109/NNSP.2001.943143: 393-402.
- [13] Gibbs A L, Su F E. On choosing and bounding probability metrics [J]. International Statistical Institute (ISI), 2002, 70(3): 419-435.