

采用像素配对的自适应对比增强灰度化法

宋凤菲, 陈锻生, 吴扬扬

(华侨大学 计算机科学与技术学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 对比了像素间高斯随机配对、伪随机数距离配对及不同固定距离配对对灰度化效果的影响,对 Grundland 脱色法进行改进,同时自适应地得到更适合给定彩色图像的对比度增强系数增强灰度图像. 实验表明:不同的像素配对方法适合不同主题特色的彩色图像,在改进的脱色法中采用自适应对比度增强系数,可使更多的图像种类获得更加突出的灰度化效果.

关键词: 彩色对比; 像素配对; 对比增强; 彩色图像灰度化

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

在彩色图像灰度化中,彩色图像通过不同的颜色对比形成轮廓反映客观存在的物体,而灰度图像因为灰度种类的局限性,有可能得到的图像将两种不同的相邻颜色映射为同一种灰度,失去彩色图像中原有的对比信息. 故学者们在考虑如何尽可能多地保原彩色图像的信息的同时,也希望得到能再现原彩色图像对比的看起来逼真的灰度图像. Grundland 脱色法^[1]利用高斯配对随机采样整张图像中彩色像素间的差异,因此得到的灰度图像层次比较丰富,但该方法更适用于相对比较窄的彩色色域图像. Smith 感性法^[2]在保留对比方面则通过采样像素与其邻域的彩色对比来局部地进行增强,这种方法有可能模糊彩色图像的对比. 同样从像素配对方面着手的还有 Kim, Gooch, Rasche 方法和第一次将流形学习应用于彩色图像灰度化的 ISOMAP 方法^[3-6]. Gooch 和 Rasche 方法因时间代价大限制了其应用发展. 故基于实用性考虑全局和局部对比的彩色图像灰度化方法^[7],结合这两种方法的采样配对思想,用二维泊松方程快速求解控制处理时间. 而实时对比保留脱色法^[8]更是将时间复杂度控制在 $o(1)$,直逼 MATLAB 中的 rgb2gray 的处理时间,但此方法只保留感性上重要的彩色. 本文对比了不同的像素配对方法对灰度化效果的影响,修改了 Grundland 脱色法中的像素配对方法,同时自适应地得到更适合每张彩色图像的对比度增强系数,从而改善了脱色法的灰度化效果.

1 改进的脱色法

1.1 Grundland 脱色法

Grundland 脱色法是 Çadik 选择性实验中整体表现最好的. 首先,将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 YPQ 颜色空间. 然后,将每个图像像素 X_i 与另一个从偏移向量中随机选择的像素 X'_i 进行配对,该偏移向量的水平和垂直位移都是由均值为 0,方差为 $(2/\pi)\sigma^2$ 的单变量高斯分布得到. 其中, σ 为像素间有关图像特征的典型尺寸,默认取 25(图 1(a), (e)). 接着计算配对像素间的 RGB 差值和 YPQ 差值,确定包括对比损失率、颜色对比和亮度值顺序信息的主要信息的颜色对比轴 $(\Delta p, \Delta q)$. 之后将颜色 (P_i, Q_i) 投射到主要颜色对比轴上,通过分位数去除图像极端值后与亮度通道 Y_i 结合,其中,通过对比度增强系数 λ 确定增强对比的多少. 最后通过饱和度校正以上结果的动态范围.

收稿日期: 2013-10-30

通信作者: 陈锻生(1959-),男,教授,主要从事计算机视觉、模式识别、多媒体技术的研究. E-mail: dschen@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61370006);福建省科技计划重大项目(2011H6016);福建省科技计划重点项目(2011H0028)

1.2 高斯随机配对方法的改进

分别取固定位移配对(包括 1, 行列的最大公因数, Grundland 脱色法中值, 行列中的小值和行列和的一半), 高斯随机配对和伪随机数距离配对(即通过固定种子的伪随机数函数随机地产生 1 到行和 1 到列距离的不重复距离, 根据这些随机距离与另一个像素配对)对彩色图像进行处理。

为了更好地对比这几种配对方法的配对范围, 控制像素点之间的间距使其不混淆每个像素点的配对, 取图像中间行和列中的任意 20 个像素点进行示例, 如图 1 所示。图 1 中: 灰色点为配对方法为黑色像素点选出的配对像素点。

从图 1 可以看出: 固定距离范围稳定, 高斯随机配对方法在固定范围内随机, 伪随机数距离配对分布的范围比较大, 可以获得比高斯随机配对范围更广的彩色对比信息。但是由于随机产生的距离都是正数, 导致图像配对的像素集中在需配对像素的下方或右方(图 1(b), (f))。因此, 为了保持配对的大范围随机性, 使选择配对的像素有可能出现在需配对像素的四周, 文中用高斯随机分布的符号对产生的伪随机数距离规范, 以获得彩色图像全局的对比信息(图 1(c), (g))。

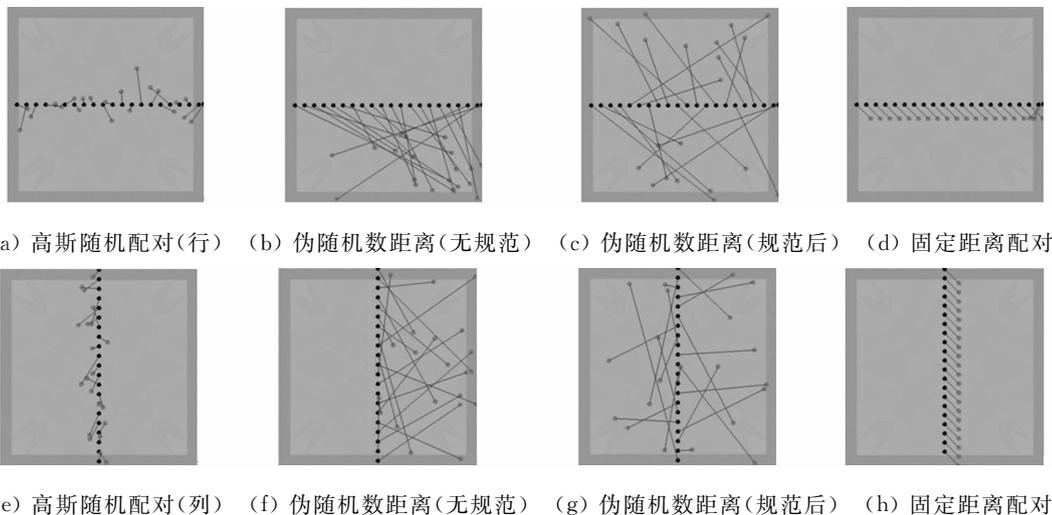


图 1 不同配对方法配对像素点示例

Fig. 1 Examples of pairing pixels of different pairing method

1.3 对比度增强系数 λ 的自适应确定

通过高斯随机配对采样到对比后, Grundland 脱色法将成分投射到对比轴上得到彩色对比信息, 经过动态范围等校正后, 将其引入到成分得到灰度图像, 即

$$\mathbf{G} = \mathbf{Y} + \lambda \mathbf{C}. \quad (1)$$

式(1)中: λ 取默认值 0.3 或 0.5。对于大部分图像, Grundland 脱色法的 λ 取默认值时, 可以得到对比效果比较好的灰度图像。但对于大部分图像, 只取 \mathbf{Y} 成分时已经能获得对比与准确性比较好的结果, 这时引入过多的对比信息可能导致图像的失真, 而当成分不足以体现对比时, 0.3 或 0.5 的增强度有时又稍显不足。因此, 固定的没有考虑图像本身特点的对比度增强系数限制了其灰度化的应用范围。

在处理多种类型的彩色图像时, 对于包含颜色数比较多的彩色图像, 因为需要更多的灰度值去体现对比, 对比度增强系数越大, 引入的成分对比信息就越多, 这有可能将 \mathbf{Y} 成分中较亮的值映射为白色或不利于区分灰度值比较接近的两种不同颜色, 而包含颜色数较少的彩色, 所需要用于表达的灰度值较少, 大的对比度增强系数能更强烈地反映原彩色图像的对比。

因此, 对于颜色数 T 多于总像素数 Z 一半的彩色图像, 将其对比度增强系数 λ 控制在 \mathbf{Y} 成分的平均值附近。对于颜色数 T 少于总像素数 Z 一半的彩色图像, 则采用根据 \mathbf{Y} 成分的最大值和最小值所计算获得的能更强烈地突出了不同颜色之间的对比值, 即

$$\lambda = \begin{cases} \text{mean}(\mathbf{Y}), & T/Z \geq 0.55, \\ \frac{e^{y_{\max}} - e^{y_{\min}}}{e^{y_{\max}} + e^{y_{\min}}}, & T/Z < 0.55. \end{cases} \quad (2)$$

2 实验与结果分析

采用 Çadik 实验^[9]中颜色数范围 782~113 800 种,涵盖不同主题、色调、内容的 25 张图像作为实验数据,采用 Matlab 及其图像处理工具箱作为编程工具. 为确保比较环境一致,在 Grundland 脱色法基础上,默认对比度增强参数衡量 3 种方法对 25 张彩色图像灰度化效果的影响.

实验表明:对于大部分图像,灰度化的效果只体现在整张图像亮度的微小变化,但是对于某些图像,配对距离的差异使得其效果截然不同(图 2). 因为 Grundland 脱色法是将采样到的 P (黄-蓝) Q (红-绿)成分对比信息经过处理后用对比度增强系数加权,然后加入到 Y 成分(图 2(b),(g),(l),(q)). 由图 2 可知:对于在小范围内有 PQ 对立成分出现时,固定距离小的配对采样能取得较好的结果(图 2(a),(f),(k),(p)). 而固定距离大的配对采样更适合对立成分分布较大的彩色图像(图 2(k)).

由于时间代价等关系,不可能针对每一幅彩色图像给出特定的配对距离,因此伪随机数距离配对和高斯随机配对的随机采样性更适合实际应用. 而伪随机数距离配对由于分布的范围更均匀,采用高斯分布的符号扩散其配对方向后,比高斯随机配对更能采样全局对比信息.

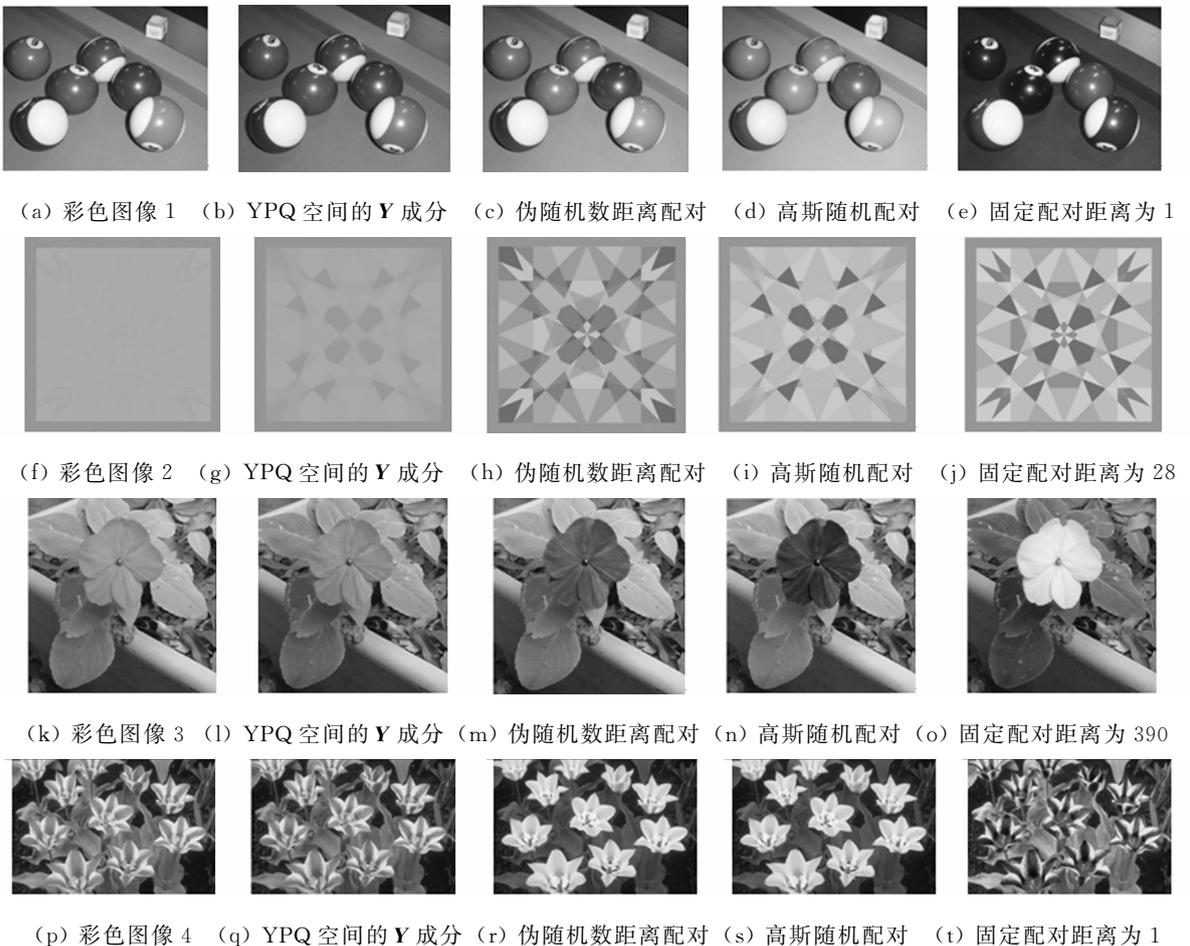


图 2 不同配对方法灰度化效果对比图

Fig. 2 Color to gray effect comparison between different pairing method

对于部分图像,固定的对比度增强系数并不能得到理想的效果. 而文中提出的对不同图像自适应地获得不同的对比度增强系数能获得较好的实验结果(图 3). 例如,图 3(u)中 $T/Z=0.796$,图 3(v)中的 Y 成分很好地反映了原彩色图像的对比. 但引入 $\lambda=0.5$ 时的 PQ 成分对比信息后,图 3(w)反而弱化了这种对比,而当采用自适应得到的 $\lambda=0.1637$ 时,效果明显更符合原彩色图像对比(图 3(x)). 类似的还有图 3(a)中 $T/Z=0.659$,自适应参数更好地体现了红、橙和青绿三种颜色的对比(图 3(b)). 对于图 3(f)中 $T/Z=0.029$,图 3(k)中 $T/Z=0.533$ 和图 3(p)中 $T/Z=0.013$,由于图 3(g),(l),(q)所示的 Y 成分不能很好地反映原彩色图像的对比,更大的自适应参数能获得更明显地对比(图 3(i),(n),(s)).

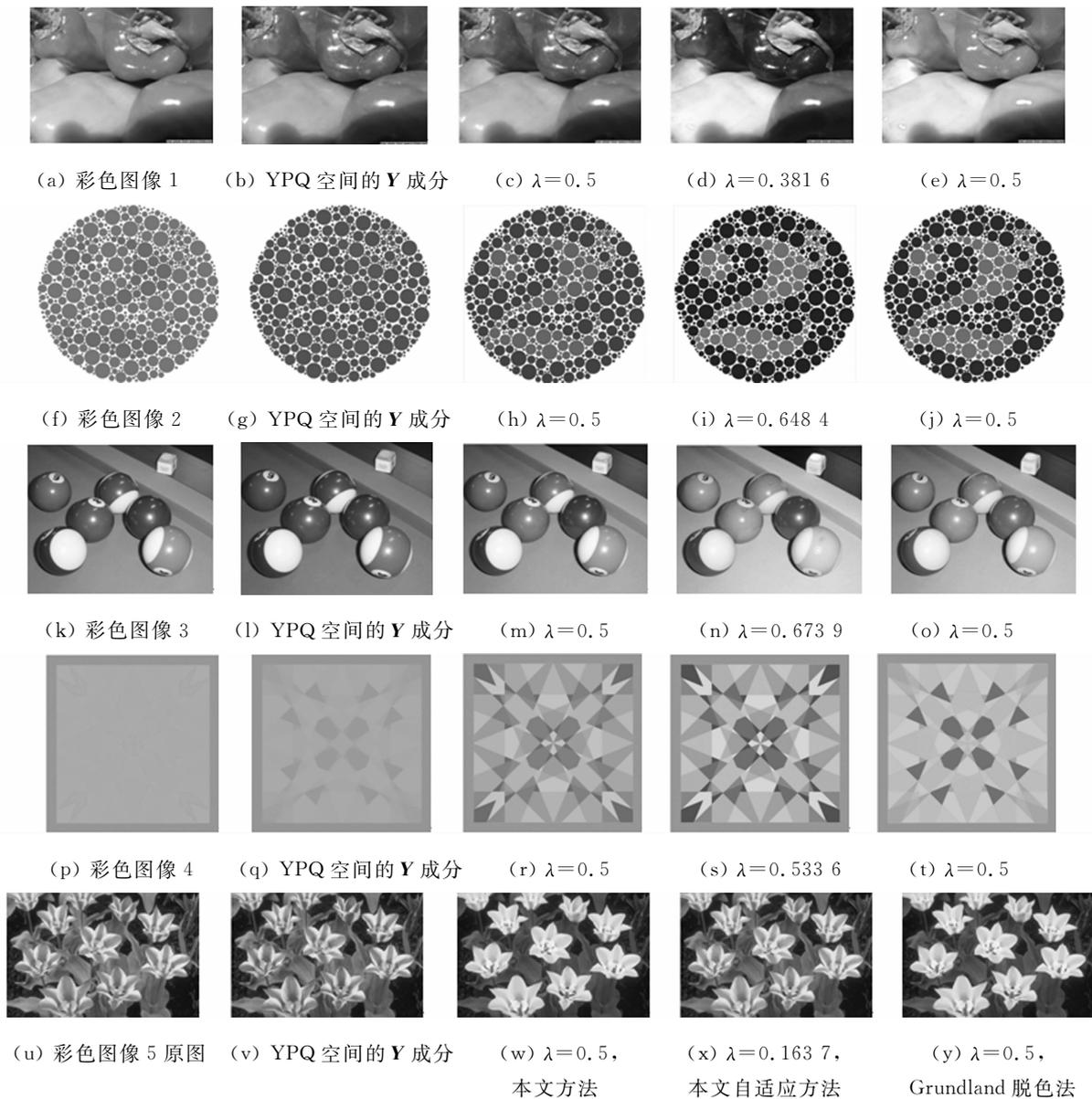


图 3 文中方法与 Grundland 脱色法灰度化效果对比图

Fig. 3 Comparison between Grundland's method and our method

实验表明:在 Grundland 脱色法的基础上,通过对伪随机数距离采样方法用高斯分布的符号进行规范,并自适应地求取对比度增强函数的改进的灰度化方法能稳定地采样到全局的对比信息,所处理的彩色图像范围更广,效果更突出(图 3(d),(i),(n),(s),(x)).考虑对比的灰度化方法中,需要迭代收敛的 Gooch 保留显著性优化算法,局部增强对比的 Smith 感性法,第一次将流行学习应用于彩色图像灰度化的 ISOMAP 法,对于 $100\text{ px}\times 100\text{ px}\sim 200\text{ px}\times 200\text{ px}$ (下述时间处理范围均指这区间)的图像处理时间分别为 $12.70\sim 204.0, 1.1\sim 2.7, 5\sim 30\text{ s}$,Grundland 脱色法基于实时的设计,仅需要 $0.003\sim 0.010\text{ s}$,在 Grundland 脱色法的基础上考虑自适应得到对比度增强系数的想法,所需时间仅为 $0.005\sim 0.014\text{ s}$,满足实时要求.

3 结束语

在当前灰度化效果较好的 Grundland 脱色法基础上,从像素之间的配对方面,利用伪随机数距离配对方法采样全局的彩色图像对比信息,使算法不再是仅适用于色域范围窄的彩色图像.对于对比强度的引入多少,则通过比固定对比度增强系数更灵活的自适应对比度增强系数,有效地改善了算法对比增强不够或者对比增强过大的问题,得到更鲜明地反映原彩色图像对比的灰度图像,而基本达到实时的处理

速度,使得本文方法还能应用于一些算法的预处理过程.

参考文献:

- [1] GRYBDKABD M, DODGSON N A. Decolorize: Fast, contrast enhancing, color to grayscale conversion[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(11): 2891-2896.
- [2] SMITH K, LANDES P E, THOLLOT J, et al. Apparent greyscale: A simple and fast conversion to perceptually accurate images and video[J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(2): 193-200.
- [3] STRICKLAND R N, KIM C S, MCDONNELL W F. Digital color image enhancement based on the saturation component[J]. Optical Engineering, 1986, 26(7): 609-616.
- [4] GOOCH A A, OLSEN S C, TUMBLIN J, et al. Color2gray: Saliency-preserving color removal[J]. ACM Transactions on Graphics, 2005, 24(3): 634-639.
- [5] RASCHE K, GEIST R, WESTALL J. Detail preserving reproduction of color images for monochromats and dichromats[J]. Computer Graphics and Applications, 2005, 25(3): 22-30.
- [6] CUI Ming, HU Jiu-xiang, RAZDAN A, et al. Color-to-gray conversion using ISOMAP[J]. The Visual Computer, 2010, 26(11): 1349-1360.
- [7] KUK J G, AHN J H, CHO N I. A color to grayscale conversion considering local and global contrast[C]//Computer Vision-ACCV 2010. Queerstown: Springer Berlin Heidelberg, 2011: 513-524.
- [8] LU Ce-wu, LI Xu, JIA Jia-jia. Real-time contrast preserving decolorization[C]//SIGGRAPH Asia 2012 Technical Briefs ACM. Singapore: [s. n.], 2012: 34.
- [9] ČADÍK M. Perceptual evaluation of color-to-grayscale image conversions[J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(7): 1745-1754.

A Color to Gray Conversion Based on Pixels Pairing and Adaptive Contrast Enhancement

SONG Feng-fei, CHEN Duan-sheng, WU Yang-yang

(College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Comparing the pixels pairing effect on the gray between Gaussian random pairing, pseudo random pairing and different fixed distance pairing, then modifies the decolorization method of Grundland in the stage of pixels pairing. Meanwhile it adaptively generates the contrast enhancement coefficient that is suitable for the color image. Experiments show that different pairing method is suitable for different kinds of color image, the modified decolorize method can handle more diversified kinds of image, what's more, the proposed new approach to generate adaptive contrast enhancement coefficient results in a more prominent decolorized image.

Keywords: color contrast; pixels pairing; contrast enhancement; color-to-gray

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 吴逢铁)