

基于不平度颜色混合的图像彩色化方法

李志永 滕升华 杜坤 邹谋炎

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

(中国科学院研究生院 北京 100039)

摘要: 黑白图像的彩色化是图像处理领域一个活跃的、有挑战性的研究课题。该文在总结图像彩色化方法的基础上,提出了一种新型的、基于不平度的颜色混合方法。实验表明,该方法能够大大简化对初始着色的要求,并且达到很好的彩色化效果。

关键词: 黑白图像; 彩色化; 不平度

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)03-0514-04

Colorization Based on Unevenness in Chrominance Blending

Li Zhi-yong Teng Sheng-hua Du Kun Zou Mou-yan

(Institute of Electronics, China Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

(Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Colorization of grayscale image is in general an active and challenging area of research in image processing. In this paper, current colorization algorithms are summarized. Then a colorization algorithm based on unevenness is proposed. According to the new algorithm, a better colorized result is got with less sensitivity to the initial color distribution.

Key words: Grayscale image; Colorization; Unevenness

1 引言

彩色化是一个给黑白图像、电影或电视节目加上颜色的处理过程。一般认为是由Wilson Markle 在1970年发明的,最初用于处理阿波罗登月计划获取的月球影像^[1]。黑白电影的彩色化在上世纪80年代曾经是一个热门话题。一些早期电影通过彩色化处理焕发了新的光彩。尽管人们对旧电影彩色化的艺术价值存在争议,但彩色化视频和图像能够增强人们的视觉效果却是不争的事实。当前的彩色化技术研究仍然是图像处理学界一个活跃的、有挑战性的课题,更多地应用于图像、视频编辑和图像通信,以及科学、工业和军事等多个领域^[2]。

彩色化原则上包括假彩色处理和伪彩色处理两类不同的概念。假彩色处理要求给黑白图像赋予自然的、接近于真实的色彩^[3]。而在医学、遥感等领域中常常使用不同的色彩表达对象的不同特性,尽管对象的特性本来可能不是彩色的。这称为伪彩色处理,目的是达到视觉增强的特别效果。可以理解,伪彩色处理通常能够从对象特性分析找到着色依据。与此对照,假彩色处理的目的是力求按照人对场景色彩的理解,再现影像场景的本来面目,而场景的彩色信息是已被丢失的、未知的。本文侧重关心假彩色处理问题。

图像彩色化从根本上来讲就是要对图像中的每个像素,用

多维颜色空间的一个矢量(如表示亮度、色度、饱和度的三维颜色空间)取代表示亮度的一维标量;这显然是一个“欠约束”问题,或者称“病态”问题。因此,图像彩色化没有所谓唯一正确的结果,而且目前缺乏评价彩色化结果的客观标准。要解决这个病态问题,需要利用某些先验知识、设定一些合理的约束。电影的彩色化处理,一般先由专门的画师对某些特定的帧图像进行手工着色;这种手工制作方式不仅对操作者自身水平要求较高,而且效率低下。近年来图像彩色化技术有了新的发展,出现了一些半自动的处理方法,大致可归结为两类,即基于颜色转移的彩色化和局部彩色化向全局扩展的方法。

图像彩色化的一大进步首先来源于Welsh 等人的工作^[4],通过将彩色参考图像上的颜色转移到被着色的黑白图像上,实现了一种半自动化的图像彩色化技术。具体做法是考查黑白图像上每个像素的一个邻域,在彩色参考图像上寻找一个与之在亮度上相匹配的区域,然后将找到的匹配区域中心的颜色值作为当前像素的彩色化结果。尽管文献^[4]给出了一些效果不错的彩色化实例,但是这类方法不能保证处理后的颜色在空间上的连续性,即本来相邻的、颜色相近的区域可能由于亮度差异而被分配了截然不同的颜色。同时,这种方法的彩色化结果强烈依赖于所采用的参考图像。

图像彩色化是一个病态问题,由于这种病态性,基于颜色转移的彩色化方法要借助于额外的彩色图像作为选色参

考。与之对应的另外一种考虑是, 先对图像的部分像素利用某种方法进行粗略的彩色化, 再结合图像的自身特征设法将局部的彩色化结果扩展到整幅图像。这就是所谓局部彩色化的全局扩展方法。

在文献中已经报道了两大类彩色扩展方法。一种是宏观分析法。假定图像的颜色值服从局部的Markov性, 即图像中一点的颜色仅与其邻近像素有关。基于此, 设定一些事先彩色化的“种子像素”, 把图像中所有像素与其邻近像素颜色差异的总和作为最小化目标, 将图像彩色化转换为一个最优化问题, 计算过程采用随机松弛优化算法。Horiuchi, Levin等人此方面做了很多工作^[5-9]。诚然, 也正如文献[5,6]中所见, 这种总体优化的方法可以在某种程度上解决图像彩色化问题, 但其处理效果差, 即使利用随机松弛法进行总体优化对于稍大的图像在处理中很容易造成计算机内存溢出。

第二种是微观分析法, 微观分析的核心假设是: 当没有剧烈灰度变化的时候相邻像素的颜色也不会有剧烈的变化。从每个初始着色点开始, 根据某种约束机制, 向其周围的像素进行颜色传递。Yatziv提出的颜色混合法是一种更实用的彩色化方法^[10]。该算法中为确定各混合色的权值而引入“短程线距离”作为颜色扩展的依据, 有较好的合理性。本文的实验发现, Yatziv方法对初始着色点的分布比较敏感。使用Yatziv的例子, 重复他的算法和初始着色分布, 能够重复他给出的结果。然而, 当初始着色点的分布位置有改变时, 常常出现不正确的着色结果。在深入分析Yatziv方法失效的原因后发现, 一种不同的颜色传递约束机制, 即基于不平度的颜色传递约束机制可以取得更好的着色效果, 可以使着色结果不敏感于初始着色点的分布。

本文第2节提出基于不平度的颜色传递原理和方法。第3节介绍算法实现和计算实例。第4节给出结论。

2 基于不平度的颜色混合原理

本文的方法依据Yatziv同样的假设: 当没有剧烈灰度变化的时候相邻像素的颜色也不会有剧烈的变化。初始情况下, 通过手工的方式给部分区域着色, 目标就是利用这些初始条件给未着色的像素赋予合理的颜色。根据假设可知, 未着色的像素的颜色应该与到该像素灰度变化最缓和的已着色像素的颜色一致。我们通过图1进行简单说明, A 和 B 是已经着色的像素, C 是待着色的像素。设 A 到 C 的路径集合为 X , B 到 C 的路径集合为 Y 。通过一定的定义, 把路径的灰度变化的程度进行量化描述。从集合 X 中挑选出一条路径, 使其满足该路径灰度变化最小, 同理从集合 Y 中也挑选出一条这样的路径。通过比较得出到达 C 像素灰度变化最小的路径, 从而 C 像素的颜色就取灰度变化最小的路径的另一端的像素的颜色。对所有未着色像素都进行上述过程, 则整幅图像的彩色化就完成了。

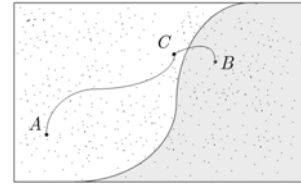


图1 着色原理示意图

上述方法的关键就是如何定量描述一个路径的灰度变化的程度, 为此本文提出了“不平度”的概念。对于两个像素之间的任意一条路径, 求出每两个相邻像素之间的灰度差, 然后找到其中最大的那一个, 来表示该路径的灰度变化的程度, 称之为该路径的不平度。连接两个像素的所有路径的不平度的最小值定义为这两个像素之间的不平度, 它表示的是两个像素之间的灰度变化的程度, 这正是假设中进行颜色传递的约束机制。下面用数学公式来给出他们的确切定义。

像素 s 与它的8邻域中的像素 t 之间的不平度 $d_p(s, t)$ 定义为

$$d_p(s, t) = \text{abs}(Y(s) - Y(t)) \quad (1)$$

Y 为像素灰度值。如果一个像素位于另外一个像素的8邻域中就称这两个像素连通。我们可以通过这种连通关系来定义曲线。对于用多个连通关系定义的曲线 $C = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$, 它的不平度的定义为

$$d_c(C) = \max\{d_p(p_1, p_2), d_p(p_2, p_3), \dots, d_p(p_i, p_{i+1}), \dots, d_p(p_{m-1}, p_m)\}, i = 1, \dots, m-1 \quad (2)$$

对于任意两个像素 s 和 t , 他们的不平度定义为

$$d(s, t) = \min(d_c(C(s, t))) \quad (3)$$

其中 $C(s, t)$ 是所有以 s 为起点 t 为终点的曲线。根据上面的这些公式, 可以得出像素 s 到已经着色区域 Ω 的不平度如式(4):

$$d_{\Omega}(s, \Omega) = \min(d_c(C(s, t))), \forall t \in \Omega \quad (4)$$

根据以上不平度的定义可以看出, 两像素点之间的不平度正是描述连接两像素的最平坦路径的坎坷度。这种坎坷度越大说明这两个像素之间颜色的一致性越小, 反之则两个像素之间的颜色一致性就越大, 因此就可以根据不平度来给未着色像素进行彩色化。为了使边界附近的彩色化更加理想, 本文采用了颜色混合的方法。所谓颜色混合就是对于未着色像素, 把到达该像素的不平度最小的3个着色区域的颜色辅以一个关于不平度的函数进行加权, 从而得到最终的颜色。对于加权函数的选取需要符合如下条件: (1) $\lim_{d \rightarrow 0} w(d) = \infty$; (2) $\lim_{d \rightarrow 1} w(d) = 0$ 。根据这两个条件, 本文选择了函数 $w(d) = -\ln(d)$ 。

下面阐述一下具体步骤, 当初始着色确定之后, 根据式(5)把颜色空间从RGB空间转换到YCrCb空间。YCbCr是国际电信联盟在ITU-R BT.601数字视频标准中开发的色彩空间, 其中 Y 代表颜色的亮度分量, Cb 和 Cr 表示两个色差

分量。之所以选择 YCbCr 空间是因为其只需计算 Cb, Cr 两个色差分量,亮度分量不作处理恰能保持图像在处理前后亮度一致。根据式(1)–式(4)求出每个像素到各个着色区域的不平度,在这些不平度中保留最小的3个 $d_{\Omega_1}, d_{\Omega_2}, d_{\Omega_3}$ 。根据式(6),式(7)确定出每个像素的颜色。

$$\left. \begin{aligned} Y &= 0.299R + 0.587G + 0.114B \\ Cb &= -0.172R - 0.339G + 0.511B + 128 \\ Cr &= 0.511R - 0.428G - 0.083B + 128 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$Cr(s) = \frac{\sum_{i=1}^3 w(d_{\Omega}(s, \Omega_{k_i})) Cr(k_i)}{\sum_{i=1}^3 w(d_{\Omega}(s, \Omega_{k_i}))} \quad (6)$$

$$Cb(s) = \frac{\sum_{i=1}^3 w(d_{\Omega}(s, \Omega_{k_i})) Cb(k_i)}{\sum_{i=1}^3 w(d_{\Omega}(s, \Omega_{k_i}))} \quad (7)$$

3 基于不平度的颜色混合的算法实现和实验结果

本文在算法实现方面借鉴了文献[11]中的迭代动态规划算法(interactive dynamic programming algorithm)。设定一个活性像素集合 APS(Active Pixel Set)表示要向外进行颜色扩展的像素集合,其初始元素即涂色区域 $\Omega_n(n=1,2,\dots,N)$ 的边界。ASP 中的像素 t 向其 8 邻域的像素扩展,把他的不平度与他们之间的灰度差比较之后传递给相邻像素,若与其相邻的像素 $p_i(i=1\sim 8)$ 所对应的最小的3个不平度发生了变化,就把 p_i 添加到 APS 中;当根据 t 处理完相邻像素的不平度之后,将 t 从 APS 中删除。此循环往复,直至 APS 为空。算法的流程图如图 2。

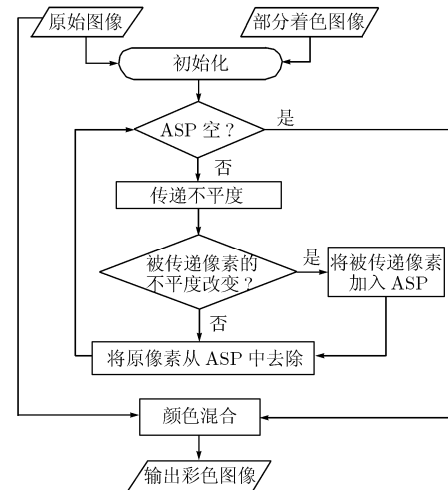


图 2 彩色化程序流程图

采用上述方法进行图像彩色化的例子如图 3、图 4 所示。图 (a)和(e)为原始图像,图(b)和(f)是两种不同的初始着色情况,图(c)和(g)为 Yatziv 方法处理的结果,利用本文方法的处理结果见图(d)和(h)。对比图 3、图 4 的(b)和(f)可以发现他们的初始着色仅仅在蓝色的方框中有一点差别,对于(b)Yatziv 方法的结果很正常,但是对于图(f)就会出现着色错误。使用本文采用的方法对于(b)和(f)都可以得到不错的结果。产生这样的结果主要是因为 Yatziv 方法中最核心的短线程的定义从根本上说是一种灰度差的积累,如果已着色像素距离待彩色化的像素太远就容易产生错误。本文不平度的定义则可以很好地弥补这一点,从而降低对初始着色的要求。图 5 为采用本文方法彩色化的其他例子。

4 结束语

本文总结了前人对彩色化问题的研究,提出了一种新的颜色扩展的约束条件。计算实例表明,本文方法可以取得良



图 3 彩色化实例及与 Yatziv 方法比较

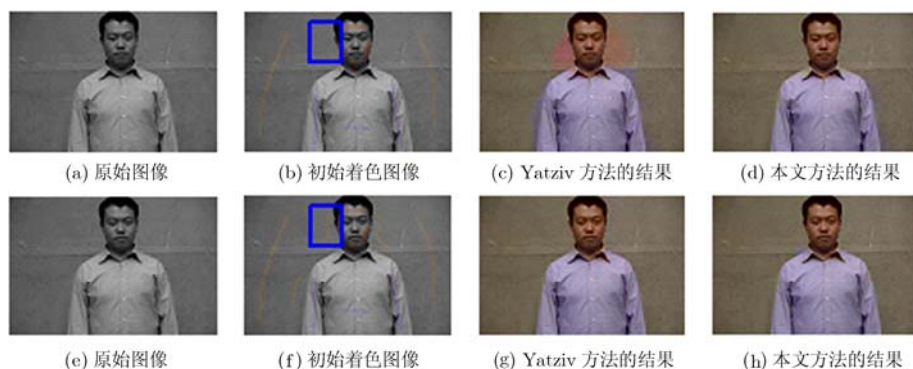


图4 彩色化实例及与 Yatziv 方法比较



图5 其他用本文彩色化的实例

好的彩色化效果, 能够降低对初始着色的要求。因此本文方法更适合作为影视彩色化的基础算法, 降低人工干预劳动, 提高彩色化生产效率。

参考文献

- [1] Burns G. Colorization [EB/OL]. <http://www.museum.tv/archives/etv/C/htmlC/colorization/colorization.htm>.
- [2] Sapiro G. Inpainting the colors [EB/OL]. <http://www.ima.umn.edu/reprints/may2004/1979.pdf>.
- [3] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001: 212-214.
- [4] Welsh T, Ashikhmin M, and Mueller K. Transferring color to grayscale images[C]. Proceedings of ACM SIGGRAPH, San Antonio, USA, 2002: 277-280.
- [5] Takahiko Horiuchi. Estimation of color for gray-level image by probabilistic relaxation. Proc. IEEE 16th International Conference on Pattern Recognition, Quebec, Canada. 2002, (3): 867-870.
- [6] Takahiko Horiuchi. Colorization algorithm using probabilistic relaxation. *Image and Vision Computing*, 2004, 22(3): 197-202.
- [7] Takahiko Horiuchi and Sayaka Hirano. Colorization algorithm for grayscale image by propagating seed pixels. Proc. International Conference on Image Processing, Barcelona, Spain. 2003: 457-460.
- [8] Tomohisa Takahama, Takahiko Horiuchi, and Hiroaki Kotera. Improvement on colorization accuracy by partitioning algorithm in CIELAB color space. The fifth Pacific-Rim Conference on Multimedia, Tokyo, Japan, 2004: 794-801.
- [9] Levin A, Lischinski D, and Weiss Y. Colorization using optimization. Proc. ACM SIGGRAPH, Los Angeles, USA, 2004: 689-693.
- [10] Yatziv L and Sapiro G. Fast image and video colorization using chrominance blending. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 15(5): 1120-1129.
- [11] Ming Yang. Still image colorization. Northwestern University Technical Report, <http://www.ece.northwestern.edu/~mya671/Colorization.htm>, 2005.3.

李志永: 男, 1980年生, 博士生, 研究方向为图像、视频处理技术。

滕升华: 男, 1977年生, 博士生, 研究方向为图像、视频处理技术。

杜坤: 男, 1982年生, 博士生, 研究方向为图像、视频处理技术。

邹谋炎: 男, 1941年生, 研究员, 博士生导师, 研究方向为信号处理、图像处理理论和算法、无线宽带通信技术。