

颜色风格自适应的图像克隆算法

程皓楠¹, 王 凯¹, 刘世光^{1,2}

(1. 天津大学计算机科学与技术学院, 天津 300350;
2. 天津市认知计算与应用重点实验室, 天津 300350)

摘 要: 图像克隆即将源图像中的克隆选区与目标图像无缝拼合, 生成一幅真实自然的合成图像。针对现有图像克隆技术中存在的染色问题, 提出了一种颜色风格自适应的图像克隆算法。首先, 算法通过颜色不变量模型(GN)对目标图像颜色风格进行预判断, 并得到光照判断参数。然后, 依据光照判断参数在色域空间中对克隆选区进行自适应的颜色匹配, 从而对克隆结果进行颜色控制。最后, 将颜色距离与空间距离作为限制条件, 对平移后的克隆选区边界进行优化, 实现合成图像背景的无缝融合。本算法可以自适应地对不同颜色风格图片进行颜色控制, 避免了以往算法手动调整参数的过程, 多种实验结果验证了本方法的有效性。

关 键 词: 图像克隆; 颜色控制; 自适应; GN 模型; 边界优化

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2017050700

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2017)05-0700-06

Adaptive Color-Style-Aware Image Cloning

CHENG Haonan¹, WANG Kai¹, LIU Shiguang^{1,2}

(1. School of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300350, China;
2. Tianjin Key Laboratory of Cognitive Computing and Application, Tianjin 300350, China)

Abstract: Image cloning is a process that makes the clone selection in the source image seamlessly merged with the target image, aiming to generate a new image which appears natural and realistic. While the traditional image cloning technology may introduce significant color changes in the inserted elements. To solve the problem, we propose an efficient color-adjustment algorithm. More specifically, firstly, our approach uses the grayworld normalization (GN) model to prejudge the color style of the target image and get the illumination judge parameter α . Then, we get the composite image with color control by a translational transform in the gamut space of the whole cloned region with different distances which are designed based on the illumination judge parameter α . Finally, we set the color distance and spatial distance as restrictions to optimize the boundaries of cloning constituency after translation and generate the seamless result image. The proposed algorithm can be adapt to images in different color styles with color control and avoid manual adjustment of the parameters in the conventional methods. Various experiments verify the effectiveness of our method.

Keywords: image cloning; color control; adaptive; GN model; boundary optimization

收稿日期: 2016-11-18; 定稿日期: 2017-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(61672375, 61170118)

第一作者: 程皓楠(1994-), 女, 河北沧州人, 博士研究生。主要研究方向为图像处理、图形学。E-mail: tjuchn@tju.edu.cn

通信作者: 刘世光(1980-), 男, 山东临沂人, 教授, 博士。主要研究方向为计算机图形学、图像/视频处理、可视化、虚拟现实等。
E-mail: lsg@tju.edu.cn

图像克隆旨在将源图像中的克隆选区添加到目标图像中, 生成一幅真实自然的合成图像。自泊松克隆算法^[1]提出后, 研究者对图像克隆在不同场景下的应用进行了大量的研究, 通过 α 通道^[2]、混合梯度域^[3]、块匹配^[4]等方法取得了良好的实验效果。

但是当目标图像与源图像的背景颜色均为白光下的固有颜色并且背景颜色差异较大时, 则往往会在克隆过程中产生染色问题。问题的产生是由于在采用传统克隆算法过程中, 为保证克隆选区边界无缝过渡, 导致克隆对象受目标图像影响较大从而使结果失真。因此在不同颜色风格下, 合成结果中目标图像颜色所占比重应有所区分。2009年, YANG等^[5]首次提出带有颜色控制的无缝克隆技术, 此后不断有相关工作对克隆算法中染色问题进行改进。HENZ等^[6]利用添加透明度权重的拉普拉斯过渡函数来调整源图像与目标图像在合成结果中所占颜色值比重。该方法降低了目标图像颜色对克隆结果的影响, 但对源图像颜色值保留过多。此外, 目前不同算法中颜色控制的相关参数仍需要借助人判断并进行手动调整。

针对上述问题, 本文采用颜色不变量模型(grayworld normalization, GN)对目标图像进行自动的颜色风格预判断, 依据预处理结果为克隆选区分配不同比重的源图像与目标图像颜色值, 从而达到自适应颜色调整。并通过自动提取颜色差阈值对合成图像边界进行优化, 取得了较为理想的实验结果, 实现了颜色风格自适应的图像克隆算法。本文的主要贡献如下:

(1) 提出了一种新的颜色风格自适应的图像克隆算法。该算法可以自动的对图像颜色风格进行判断, 有效解决了在不同光照环境下图像克隆过程中的染色问题。

(2) 提出了一种自适应颜色控制算法, 可以自动的获取光照判断参数, 提高了源图像与目标图像颜色值在合成结果中所占比重的准确性。

(3) 设计了一种新的双距离约束的边界优化算法。改善了颜色矫正后的克隆选区边界过渡效果, 使图像克隆结果更加真实自然。

1 相关工作

1.1 图像克隆算法

早期图像克隆算法为实现克隆选区自然过渡,

往往将颜色整体统一于目标图像背景色。因而早期基于多分辨率样条^[7]的克隆算法及后来基于梯度域插值^[1]和坐标插值^[8]的克隆算法, 均存在染色问题。后续不断有相关工作在两类克隆算法^[9]基础上对染色问题进行改进。

2009年, YANG等^[5]首次提出带有颜色控制的无缝克隆技术。后续文献^[10-12]也在克隆结果精度上进行了改进, 但需要人为判断以及手动调整参数。2015年, HENZ等^[6]将透明度与拉普拉斯过渡函数相结合, 然而该算法对算法输入要求较高, 并同样需要手动调整参数值。与该方法不同, 本文采用GN模型从而可以自动的对克隆选区进行颜色控制, 并通过边界优化来获得更为真实自然的边界过渡。而同年李贝等^[13]在MVC算法基础上添加了局部亲和力并得到颜色更具有鲁棒性的克隆结果。但此算法对于克隆选区原有颜色保留过多, 导致有色光下合成图像出现失真问题。为避免这一情况, 本文依据图像的颜色信息来确定光照判断参数 α , 为不同场景下的克隆选区自适应分配源图像与目标图像颜色权重信息, 从而实现源图像与目标图像颜色的合理分配。

1.2 颜色不变量模型

1999年, FINLAYSON等^[14]提出颜色不变模型GN模型, 通过建立光照变化的对角模型推导出GN图像是不依赖于光照颜色的图像。2005年, FINLAYSON等^[15]针对原GN模型中的不足, 提出了一种新的基于直方图均衡化的改进模型, 但是改进后的模型构造复杂度较高。此后, GN模型在标签检测^[16]以及人物识别^[17]中均有所应用。本文发现当目标图像环境光为有色光源时, 则克隆选区颜色更为偏向目标图像颜色值, 反之则偏向于其固有颜色, 即源图像颜色值。并将目标图像所对应的GN图像与原目标图像进行色差计算, 以得到光照判断参数, 从而自动地判断目标图像是否受有色光源影响。

2 颜色风格自适应的图像克隆

2.1 方法概述

图1展示了本文算法的完整流程。图1(a)为实验输入; 图1(b)为预处理阶段, 用户在源图像中确定克隆选区。并通过GN模型获得目标图像对应的GN图像; 图1(c)是对克隆选区进行自适应颜色控

制阶段。在获取感兴趣区(region of interest, ROI)并通过色差计算得到光照判断参数 α 后,对克隆选区在色域空间中进行非线性平移。将空间距离和颜色距离作为限制条件,对平移后的克隆选区进行边界优化,从而获得真实自然的克隆结果如图1(d)所示,实验表明本文算法可以有效改善克隆结果染

色现象。

2.2 颜色风格预判断

为了确定克隆选区中源图像与目标图像所占颜色比重,首先需要确定目标图像是否受有色光影响。为解决这一问题,需采用GN模型,从而自动地对克隆结果进行颜色控制。

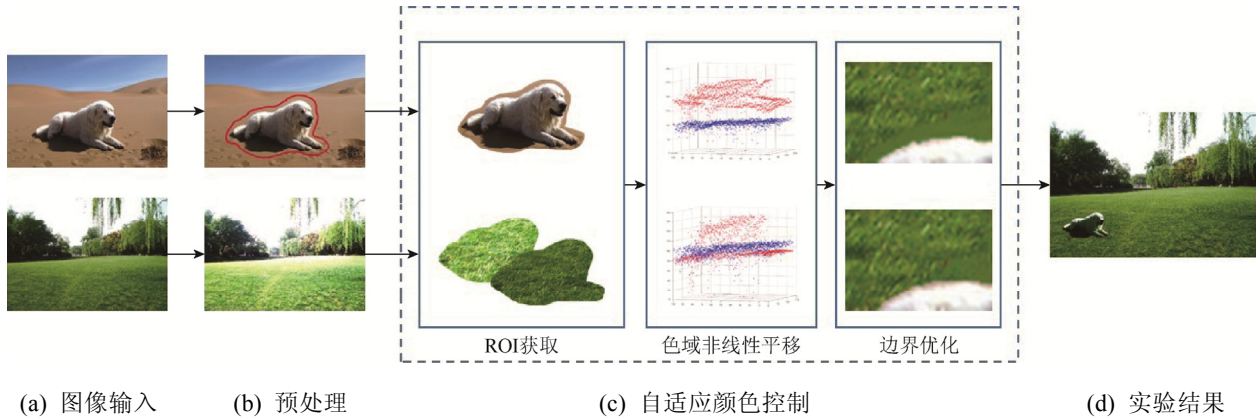


图1 颜色风格自适应克隆算法流程图

文献[14]提出的GN模型具体形式如下

$$R' = \frac{R}{R_{avg}}, G' = \frac{G}{G_{avg}}, B' = \frac{B}{B_{avg}} \quad (1)$$

其中, R_{avg} , G_{avg} , B_{avg} 分别表示图像中RGB 3个通道颜色的平均值。

为了识别目标图像颜色是否受有色光影响,将目标图像与去除光照影响后的GN图像进行色差计算,并将颜色差值作为判断依据,从而确定是否需要颜色控制。色差计算公式具体形式如下(以R通道为例)

$$\Delta R = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \Delta R(x_i)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

其中, $\Delta R(x_i)$ 为每一像素点色差值, n 为像素点数目。当RGB任意通道色差值小于色差识别阈值 Rec 时,则可将图像判断为不受彩色光照影响,实验中设置阈值 $Rec=70$ 。因此需引入光照判定参数 α 对目标图像的光照信息进行标记,当目标图像与GN图像任意颜色通道色差绝对值小于 Rec 时, α 的值标记为0,即不受有色光影响,反之则标记为1。

2.3 自适应颜色控制

在获得光照判定参数 α 后,需依据光照判定参数 α 自适应分配克隆选区中源图像与目标图像所占颜色值比重,从而获得与目标图像颜色风格一致的克隆结果。

当目标图像环境光为彩色光源时,克隆选区应保持同样的环境光颜色。因此目标图像颜色所占比重较大,即在色域空间中克隆选区与目标图像像素点应统一在小范围区域中。引入边界颜色均差值 \overline{Diff} 作为克隆选区在色域空间中的平移距离。对于克隆选区边界上任意像素点 p_i , 位移由式(3)决定。其中 $f_{color}^*(p_i)$ 为像素点对应目标图像中颜色值, $g_{color}(p_i)$ 为像素点对应源图像中颜色值, m 表示图像边界像素点数目。

$$\overline{Diff} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (f_{color}^*(p_i) - g_{color}(p_i)) \quad (3)$$

当目标图像环境光为白光时,克隆选区中前景物体应保持其原有颜色不变,但边界仍需与目标图像背景颜色一致来达到无缝过渡的效果。由于 \overline{Diff} 值对选区中全体像素点产生等量颜色变化。为了对克隆选区进行颜色控制,需要对其前景区域与背景区域的平移量进行区别。因此需在颜色均差值 \overline{Diff} 基础上,添加一个颜色控制变量 γ 对色域平移量进行区分。 γ 值由内部像素点与边界像素点的欧式距离和颜色距离所确定, γ 求取式为

$$\gamma = \overline{Diff} / \min_dis \quad (4)$$

其中, \min_dis 为距离约束参数,可将当前像素点与克隆选区边界的最短距离设为 \min_dis , 并通过

颜色距离对其进一步约束: 当克隆选区中像素点满足式(5)的颜色约束, 则将 \min_dis 改为 1。对于克隆选区中的任意像素点 x , 具体颜色距离约束判断式

$$f_{color}(x) / \overline{g_{color}(\partial P_g)} < color_threshold \quad (5)$$

其中, 颜色阈值 $color_threshold$ 仍采用式(3)计算所得颜色差值, $\overline{g_{color}(\partial P_g)}$ 表示源图像边界像素点

颜色平均值。因此最终的克隆选区像素点平移距离如式(6)

$$f_{color} = g_{color} + \alpha \overline{Diff} + (1 - \alpha)\gamma \quad (6)$$

通过对源图像块像素点所在色域进行非等距平移变换, 可以在不同颜色风格情况下取得较理想的自适应图像合成结果(图 2(b))。图 2(b)为经过自适应平移变换后的实验结果和细节放大图。

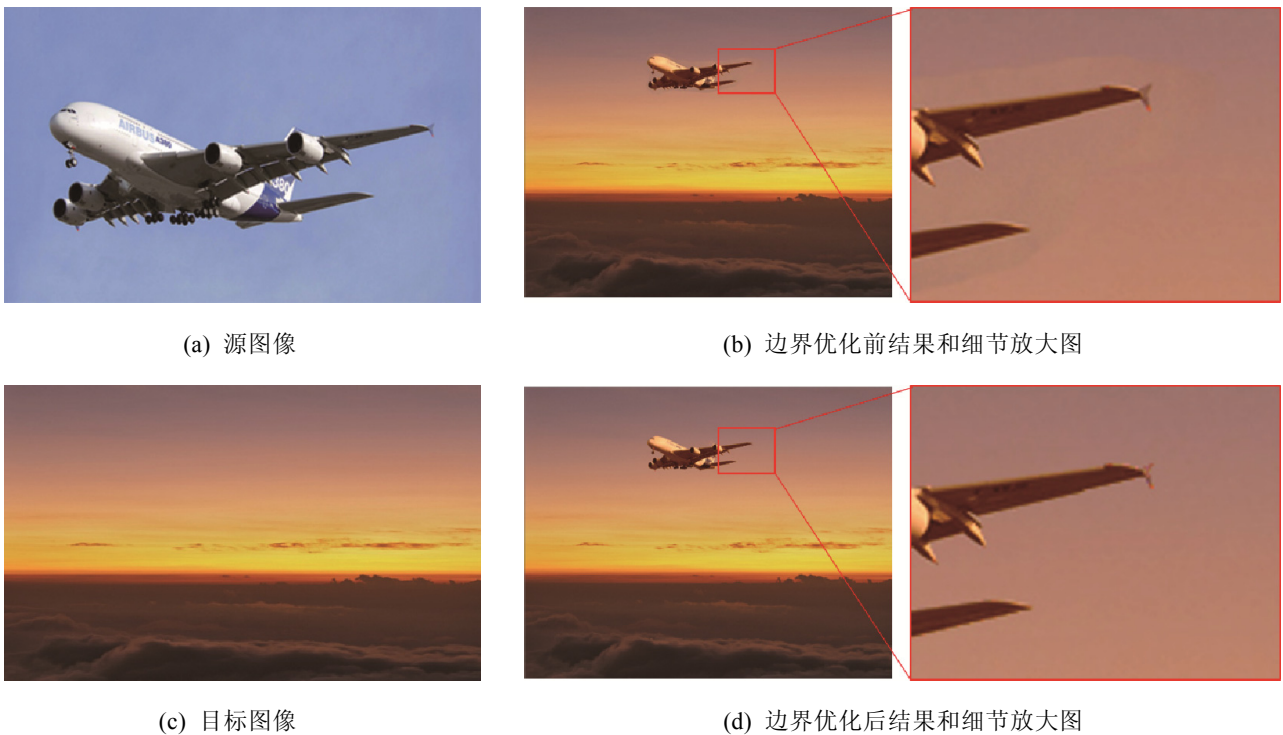


图 2 边界优化前后实验结果对比

2.4 克隆边界优化

当图像背景纹理差异较大时, 仅仅通过 2.3 节中的非等距平移变换, 往往仍存在合成图像边界过渡不自然的现象。为解决这一问题, 本文对选区边界进行优化。具体来说, 本文通过对颜色调整后的合成图像 f 与源图像 f^* 进行评估。对于合成图像中的任意像素点 x , 当与 f^* 边界像素点均值的差值小于颜色差值阈值 λ , 则 x 为被替换的噪点。 λ 由式(7)、(8)计算所得

$$\lambda_r = \sum_{i=1}^m g_{color}(x_i) - g_{color}(x_{i-1}) \quad (7)$$

$$\lambda = (\lambda_r + \lambda_g + \lambda_b) / 3 \quad (8)$$

通过对克隆选区背景噪点的替换, 可以得到更为自然无缝的边界过渡。

图 2(b)和(d)展示了边界优化前后的实验结果

对比。从细节放大图 2(d)中可以看出, 边界优化后的图像过渡更加自然。

3 实验结果与分析

本文实验环境为 64 位 Windows 平台, 采用 VS2013+OpenCV 编程实现, 所有实验在如下配置的计算机上进行: Inter® Core™ i7-4700MQ 处理器, NVIDIA GeForce GTX 765M 显卡, 16.0 GB 内存。

图 3 为本文算法与同类算法进行实验对比结果。由于泊松图像克隆算法(文献[1])与 MVC 图像克隆算法(文献[8])为了实现克隆选区边界无缝过渡, 将边界颜色值作为约束条件对克隆选区进行统一, 因此会在一些情况下造成克隆结果失真, 如图 4(d)和(e)第一行结果所示。而本文通过变量 γ

对克隆前景与背景进行色域非线性平移从而分别处理,有效解决了克隆结果中染色问题,如图4(g)第一行所示。

图3(f)和(g)结果展示了本文方法与文献[6]方法实验结果的对比。在算法输入方面,文献[6]算法需要边界蒙版以及透明度蒙版作为算法辅助输入,如图3(c)所示。由于本文通过双约束边界优化,因此不需要其他辅助输入即可获得边界自然的克隆结果。在算法运行过程中,相比于文献[6]

算法,本文方法通过GN模型所得光照判断参数 α 可以自动识别目标图像颜色风格并对克隆结果进行自适应的颜色控制。而文献[6]所得结果需要人为判断源图像与目标图像在克隆结果中所占比例,并手动调整颜色控制参数。此外在实验结果方面,从图3(f)和(g)第三、四行结果可以看出,文献[6]方法对源图像颜色保留过多,并且无法有效处理源图像颜色异常的情况。图4展示了本文方法对不同的源图像以及目标图像的合成实验结果。

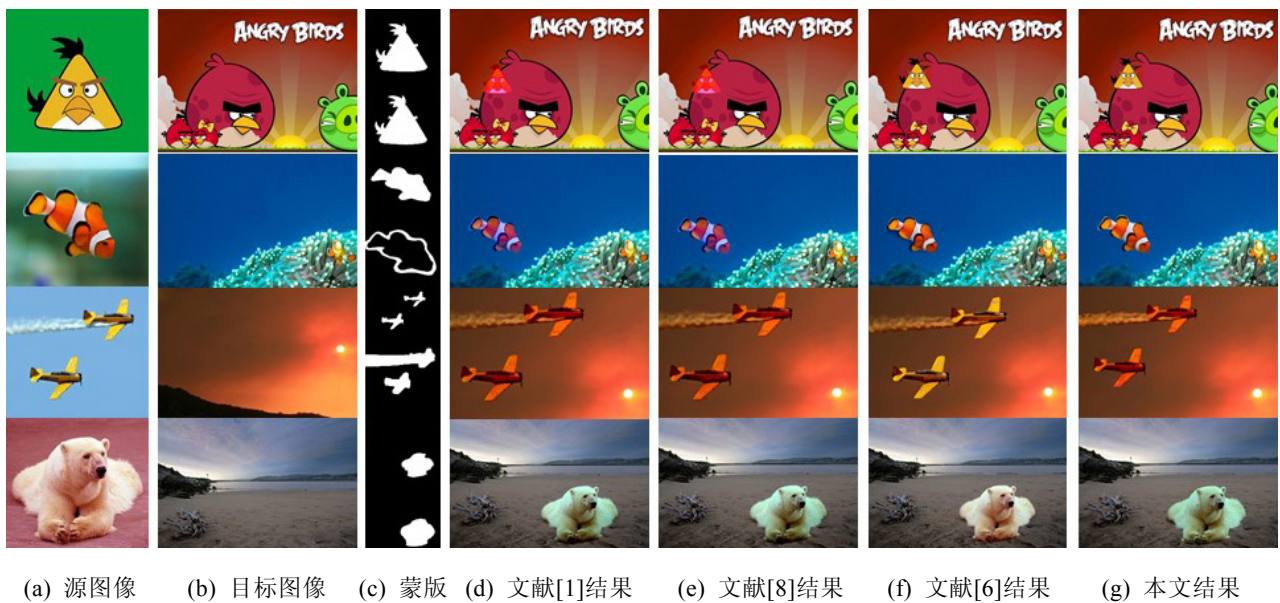


图3 本文方法与同类方法的实验结果对比



图4 本文方法的实验结果展示

在算法效率方面, 由于获取 GN 图像的时间复杂度为 $O(n)$, 与图像大小线性相关, 因此仍可以达到实时显示克隆结果。表 1 为本文算法预处理时间与总时间的具体数据。

表 1 本文算法的预处理时间与总时间

| 图像大小(个) | 预处理时间(s) | 克隆算法总时间(s) |
|---------|----------|------------|
| 42 594 | 0.151 | 0.957 |
| 182 666 | 0.291 | 1.063 |
| 376 656 | 0.553 | 1.234 |
| 744 448 | 1.271 | 2.918 |

4 总结与展望

本文提出了一种新的自动进行颜色控制的图像克隆算法, 可以有效地避免在不同环境光下的克隆结果染色情况的产生, 改善了现有颜色控制算法人为判断并手动调整参数的繁琐过程。此外, 本算法对颜色调整后的克隆选区边界进行优化, 使克隆选区边界过渡更加自然。实验证明, 本文方法可以自动对图像克隆结果进行有效颜色控制。

本文方法适用于大部分颜色场景的图像间克隆, 但是仍有一些限制。当克隆选区前景物体与背景颜色过于接近时, 则会产生一些并不理想的克隆结果。这一点可以通过文献[4]所提出的基于块分割的方法进一步改进。此外如何将本文方法迁移到视频克隆中, 也将是接下来的工作方向。

参考文献

- [1] REZ P, GANGNET M, BLAKE A. Poisson image editing [J]. ACM Transactions on Graphics, 2003, 22(3): 313-318.
- [2] AFIFI M, HUSSAIN K F. MPB: A modified Poisson blending technique [J]. Computational Visual Media, 2015, 1(4): 331-341.
- [3] JIA J, SUN J, TANG C K, et al. Drag-and-drop pasting [J]. ACM Transactions on Graphics, 2006, 25(3): 631-637.
- [4] DARABI S, SHECHTMAN E. Image melding: combining inconsistent images using patch-based synthesis [J]. ACM Transactions on Graphics, 2012, 31(4): 13-15.
- [5] YANG W, ZHENG J, CAI J, et al. Natural and seamless image composition with color control [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(11): 2584-2592.
- [6] HENZ B, LIMBERGER F A, OLIVEIRA M M. Independent color-channel adjustment for seamless cloning based on Laplacian-membrane modulation [J]. Computers & Graphics, 2016, 57(C): 46-54.
- [7] BURT P J. A multiresolution spline with application to image mosaics [J]. ACM Transactions on Graphics, 1983, 2(4): 217-236.
- [8] FARBMAN Z, HOFFER G, LIPMAN Y, et al. Coordinates for instant image cloning [J]. ACM Transactions on Graphics, 2009, 28(3): 341-352.
- [9] 吴昊, 徐丹. 数字图像合成技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(11): 1333-1346.
- [10] DIZDAROĞLU B, İKİBAŞ C. An improved method for color image editing [J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2011, 2011(1): 1-19.
- [11] 黄美玉, 陈益强, 纪雯. 马尔科夫随机场化的光照一致图像合成方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(4): 691-702.
- [12] WANG R, CHEN W, PAN M, et al. Harmonic coordinates for real-time image cloning [J]. Journal of Zhejiang University SCIENCE C, 2010, 11(9): 690-698.
- [13] 李贝, 汪浩, 于佳骏, 等. 颜色协调的鲁棒式图像克隆[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(4): 723-730.
- [14] FINLAYSON G D, SCHIELE B, CROWLEY J L. Comprehensive color image normalization [C]//European Conference on Computer Vision. Berlin: Springer-Verlag, 1998: 475-490.
- [15] FINLAYSON G, HORDLEY S, SCHAEFER G, et al. Illuminant and device invariant colour using histogram equalization [J]. Pattern Recognition, 2005, 38(2): 179-190.
- [16] 张红英, 吴亚东, 杨帆. 复杂光照下彩色圆形标签检测算法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(4): 1550-1553.
- [17] BAĞ S, CORVÉE E, BRÉMOND F, et al. Boosted human re-identification using Riemannian manifolds [J]. Image & Vision Computing, 2012, 30(6-7): 443-452.