



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



全自动黑白图像彩色化 软件系统研究

答辩人：刘骏祎 指导老师：徐奕

2015.06.23





④ 彩色化问题简介

彩色化问题的研究背景和意义

黑白图像彩色化的类型

用户选择型图像彩色化的研究现状

- ④ 基于四元小波变换、相位一致性的图像彩色化方法
- ④ 基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法
- ④ 基于SLIC超像素分割彩色化算法的Scribble生成算法
- ④ 总结与展望



主要背景：

在彩色摄影技术发明以及普及之前，人们拍摄了大量的黑白照片与电影。



彩色化问题的研究意义：

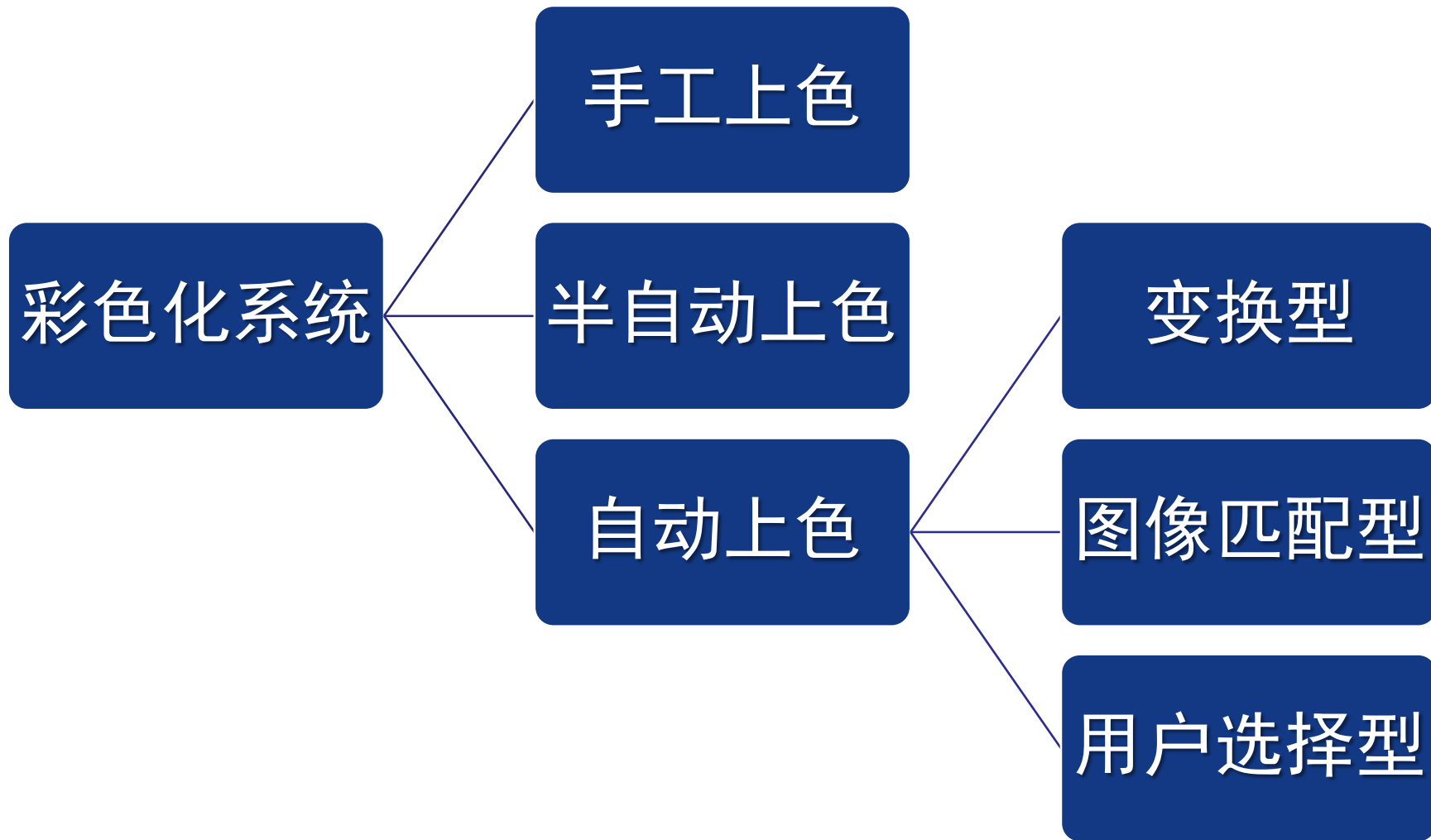
降低黑白照片和电影的翻新成本
提高黑白照片和电影的翻新质量
对医学、遥感图像进行伪彩色化



Victory Kiss 胜利之吻
By: Alfred Eisenstaedt



黑白图像彩色化的类型





- ④ 彩色化问题简介
- ④ 基于四元小波变换、相位一致性的图像彩色化方法
 - 基于人工Scribble的局部彩色信息蔓延法
 - 基于空间分布熵的Scribble自动生成算法
 - 基于四元Gabor小波变换的结构权重衡量
 - 基于相位一致性的边缘信息强度的衡量
 - 最优色彩蔓延算法
- ④ 基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法
- ④ 基于SLIC超像素分割彩色化算法的Scribble生成算法
- ④ 总结与展望



● 用户选择型彩色化系统（YUV色彩空间中）：

已知亮度信号Y以及部分点的色差信号U和V，

求解全图的色差信号U和V。

● 基于人工Scribble的局部彩色信息蔓延法的假设：

如果两个相邻点亮度值接近，那其颜色也应该相近。

● Levin方法的解决途径：

$$J(U) = \arg \min_U \sum_r \left(U(r) - \sum_{s \in N(r)} \omega_{rs} U(s) \right)^2$$

$$J(V) = \arg \min_V \sum_r \left(V(r) - \sum_{s \in N(r)} \omega_{rs} V(s) \right)^2$$



代价函数 ω_{rs} :

Levin在文中给出了两个代价函数:

$$\omega_{rs} \propto e^{-(Y(\mathbf{r})-Y(\mathbf{s}))^2/2\sigma_r^2}$$
$$\omega_{rs} \propto 1 + \frac{1}{\sigma_r^2} (Y(\mathbf{r}) - \mu_r)(Y(\mathbf{s}) - \mu_r)$$

其中 μ_r 和 σ_r 分别是 \mathbf{r} 附近各点像素值的平均值和方差。

Y 为各个像素点的权值。

约束条件:

用户手动涂抹Scribble, 给出一系列点 \mathbf{r}_i 处的颜色信息:

$$u(\mathbf{r}_i) = u_i$$

$$v(\mathbf{r}_i) = v_i$$



空间分布熵的概念：

$$E_i = -\sum_{j=1}^M p_{ij} \log_2(p_{ij})$$

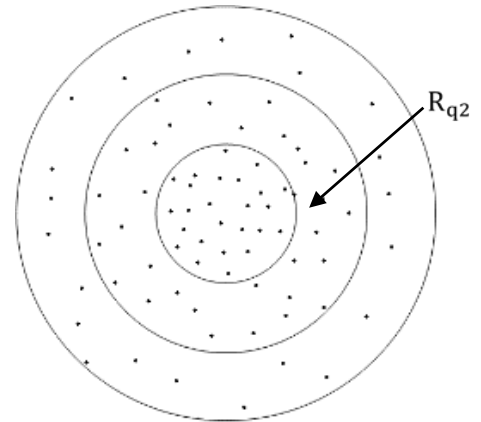
$p_{ij} = |R_{ij}|/R_i$ 表示颜色 B_i 在环 j 中分布的概率密度。

基于图论的分割方法

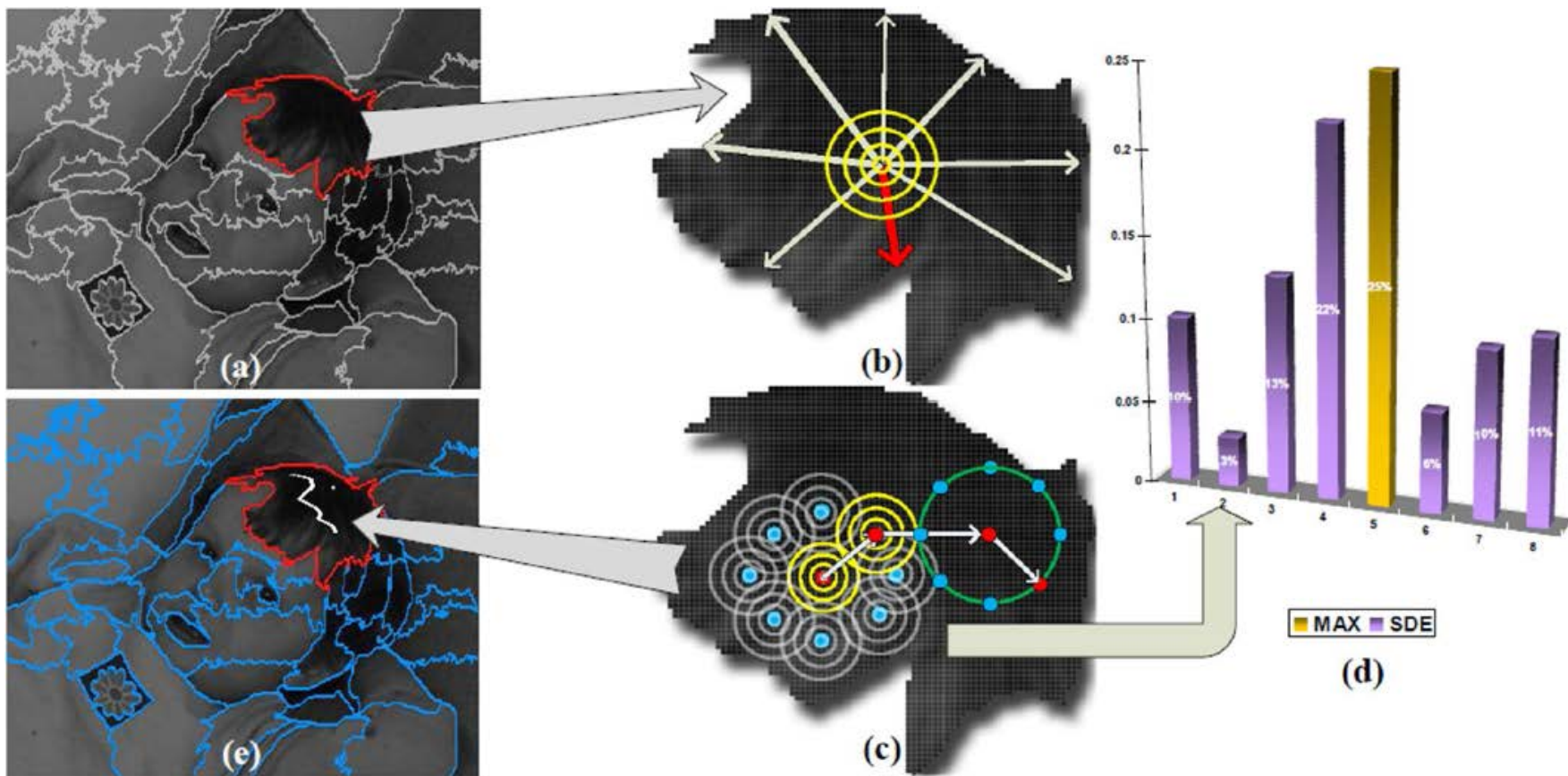
借助空间分布熵定位支撑点：

Scribble经过的区域的空间分布熵应当尽可能小

通过插值、腐蚀与膨胀等方法描绘出连续Scribble



Scope模型



基于空间分布熵的Scribble自动生成算法实现细节



- 我们引入四元Gabor相位，用来计算表征图像中两个相邻区域结构相似性的权重。

首先，建立倍频程四元数Gabors：

$$\mathbf{G}_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} e^{-i2\pi ux'} e^{-j2\pi vy'}$$
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}$$

式中G表示四元数Gabor卷积核，利用四元数的代数法则可以计算三个四元数Gabor相位。

$$\Phi_{\sigma\alpha}\{\varphi, \psi, \theta\} = \arg(\mathbf{I} * \mathbf{G}_{\sigma\alpha}^q)$$

式中 Φ 为四元数相位向量，I表示灰度图像。



- 现在可以定义一个估计相邻像素结构同态性的量：

$$\begin{aligned} H_{\sigma\alpha}(\mathbf{p}_a, \mathbf{p}_b) = & \frac{1}{4} \left| \rho(\mathbf{p}_a) \varphi_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{p}_a) - \rho(\mathbf{p}_b) \varphi_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{p}_b) \right|_{2\pi} \\ & + \frac{1}{2} \left| \rho(\mathbf{p}_a) \theta_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{p}_a) - \rho(\mathbf{p}_b) \theta_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{p}_b) \right|_{\pi} \\ & + \left| \rho(\mathbf{p}_a) \psi_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{p}_a) - \rho(\mathbf{p}_b) \psi_{\sigma\alpha}^q(\mathbf{p}_b) \right|_{\pi/2} \end{aligned}$$

$$W_{\mathbf{p}\mathbf{q}}^{QGabor} = e^{-H(\mathbf{p}, \mathbf{q})}$$



采用相位一致性的原因：

- (a) 相位一致性是一个无量纲的量，不受图像亮度，大小或对比度变化的影响；
- (b) 相位一致性方法的抗噪声性能更加优异；
- (c) 检测结果更加符合人类视觉感知特性；
- (d) 计算量远小于Canny边缘检测算法。

二维相位一致性模型：

$$PC(x) = \frac{\sum_o (W_o(x)(E_o(x) - T_o)^+)}{\varepsilon + \sum_o \sum_n A_{no}(x)}$$



$$PC(x) = \frac{\sum_o (W_o(x)(E_o(x) - T_o)^+)}{\varepsilon + \sum_o \sum_n A_{no}(x)}$$

o是log Gabor的滤波器的方向索引，n为尺度

$$T = k\bar{A}'_0 \sum_{n=0}^{N-1} \frac{1}{m^n} = k\bar{A}'_0 \frac{1 - \left(\frac{1}{m}\right)^N}{1 - \frac{1}{m}}$$

$$\bar{A}'_0 = \exp(\overline{\log A_0(x, y)})$$

$$W(x) = \frac{1}{1 + e^{g(c-s(x))}}$$

$$s(x) = \frac{1}{N} \left(\frac{\sum_n A_n(x)}{\varepsilon + A_{max}(x)} \right)$$

设尺度n上log Gabor的偶对称和奇对称滤波器分别为 M_n^e 和 M_n^o ,

$I(x)$ 为输入信号，则有

$$[e_n(x), o_n(x)] = [I(x) * M_n^e, I(x) * M_n^o]$$

其振幅可分别表示为 $A_n(x) = \sqrt{e_n(x)^2 + o_n(x)^2}$



权值的计算:

考虑采用Levin推荐的 $\omega_{rs} \propto e^{-(Y(r)-Y(s))^2/2\sigma_r^2}$ 形式

$$\text{其中, } Y(x) = W_{pq} = PC(x) \times W_{pq}^{QGabor}$$

$$W_{pq}^{QGabor} = e^{-H(p,q)}$$

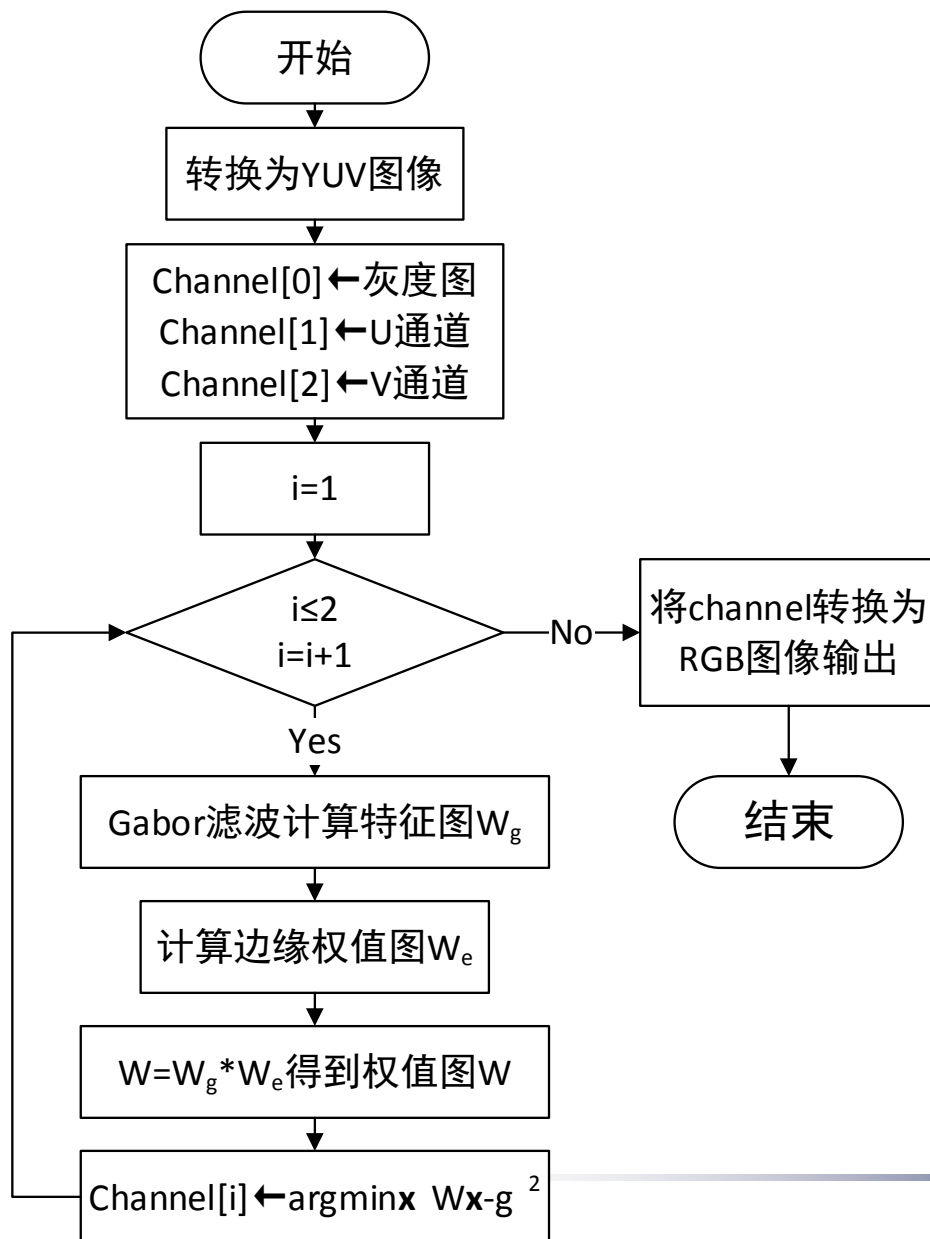
最优化过程是通过求解稀疏系统来完成的:

$$J(U) = \arg \min_U \sum_r \left(U(r) - \sum_{s \in N(r)} \omega_{rs} U(s) \right)^2$$

$$J(V) = \arg \min_V \sum_r \left(V(r) - \sum_{s \in N(r)} \omega_{rs} V(s) \right)^2$$



最优色彩蔓延算法





- ④ 彩色化问题简介
- ④ 基于四元小波变换、相位一致性的图像彩色化方法
- ④ 基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法
 - 问题的提出
 - SLIC超像素分割算法
 - SLIC超像素与其他超像素分割算法性能比较
 - SLIC超像素分割算法与Canny边缘检测算法比较
 - 基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法运行结果
- ④ 基于SLIC超像素分割彩色化算法的Scribble生成算法
- ④ 总结与展望



问题的提出





- 设定参数k
- 初始化:

每隔 $S = \sqrt{\frac{N}{k}}$ 进行采样, 聚类中心点 $C_i = [l_i \ a_i \ b_i \ x_i \ y_i]^T$

将聚类中心点移动至像素 3×3 邻域中梯度最小的点处

- 将所有像素点进行归类操作:

计算每个点i到聚类中心点的距离, 归类至最小距离的聚类中心点所在集合

- 更新超像素块的聚类中心点:

新中心点是该集合中的所有像素的平均向量 $[l \ a \ b \ x \ y]^T$

- 循环操作归类、更新步骤直至残留误差小于阈值



归类操作中的距离的计算：

单纯的定义两点之间的距离D为：

$$D = \sqrt{(l_i - l_j)^2 + (a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2 + (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

会导致该距离的计算被图像大小所影响。

因此采用归一化操作：

$$D' = \sqrt{\left(\frac{d_c}{m}\right)^2 + \left(\frac{d_s}{S}\right)^2}$$

$$d_s = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \text{ , } S \text{ 为初始聚类中心采样间距}$$

$$d_c = \sqrt{(l_i - l_j)^2 + (a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2} \text{ , } m \text{ 为定义一个色彩权重值}$$



SLIC与其他超像素分割算法性能比较

	Graph-based				Gradient-ascent-based		SLIC
	GS04	NC05	GCa10	GCb10	TP09	QS09	
边界准确率:							
欠分割误差	0.23	0.22	0.22	0.22	0.24	0.20	<u>0.19</u>
边界命中率	<u>0.84</u>	0.68	0.69	0.70	0.61	0.79	0.82
分割速度:							
320 × 240 图像	1.08s	178.15s	5.30s	4.12s	8.10s	4.66s	<u>0.36s</u>
2048 × 1536 图像	90.95s	N/A ¹	315s	235s	800s	181s	<u>14.94s</u>
分割准确度:	74.6%	75.9%	-	73.2%	62.0%	75.1%	<u>76.9%</u>
是否能控制产生的超像素数量:	否	是	是	是	是	否	是
是否能控制产生超像素的紧密程度:	否	否	否	否	否	否	是

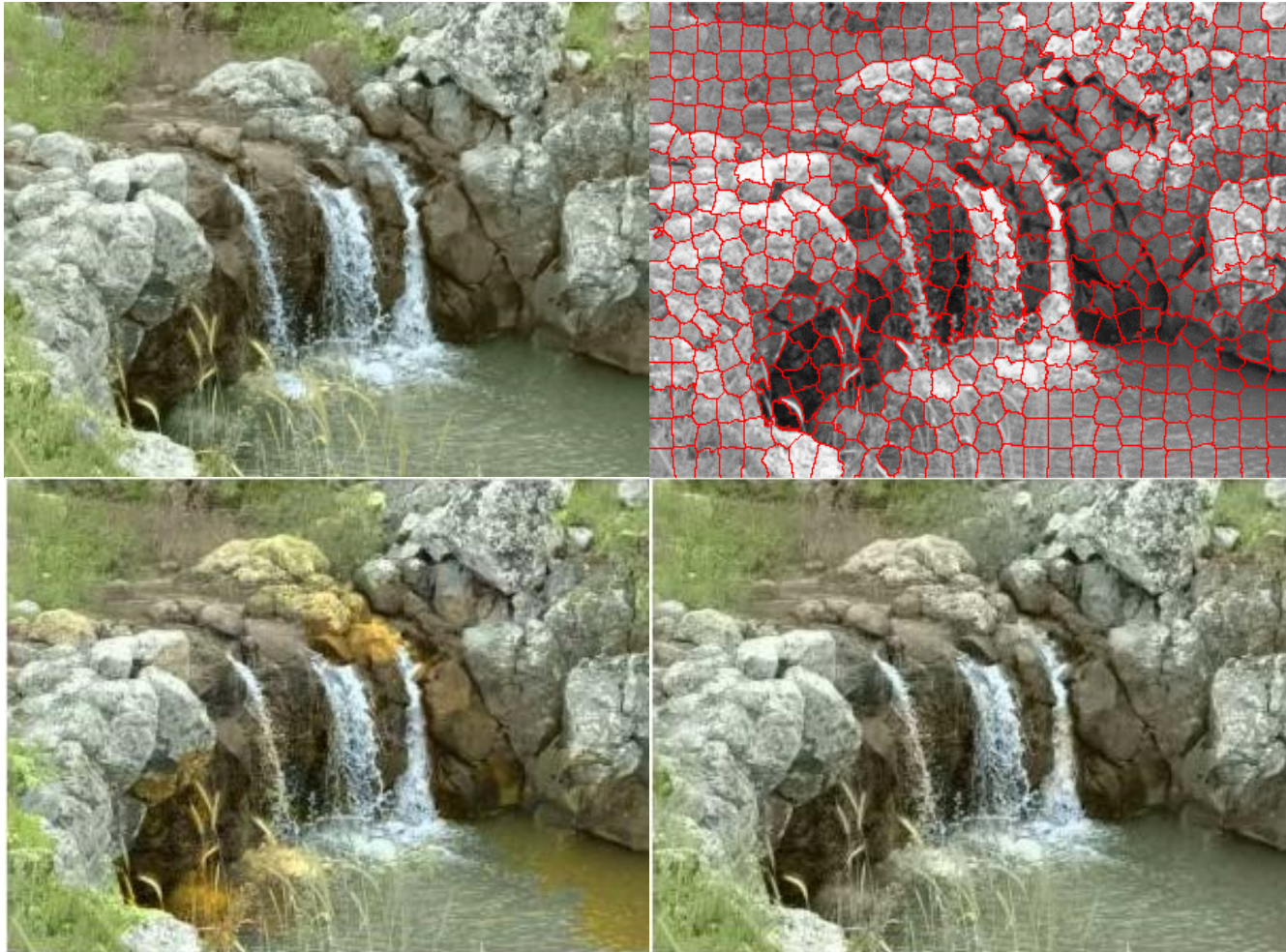
边界准确率采用Berkeley数据库中的300幅321 × 481大小的图像
运算速度采用2GB RAM的Intel Dual Core 2.26GH处理器



- ④ 选取 $k=500$ 作为SLIC超像素分割算法的参数
 - ④ 用SLIC超像素分割算法替代原彩色化中Canny算法
-
- (a)将彩色原图转为灰度图像，采用该灰度图像作为彩色化的原图
 - (b)采用了SLIC超像素算法对于黑白图像进行了分割操作
 - (c)采用空间分布熵理论找到该黑白图像中的Scribble的位置
 - (d)将彩色原图中对应于黑白图像中的Scribble区域的颜色直接填充在黑白图像中产生的Scribble中
 - (e)通过基于相位一致性分析以及四元Gabor相位分析的最优化算法来进行Scribble中颜色的色彩蔓延
 - (f)得到彩色化之后的图像，并与彩色原图进行对比



基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法



水池



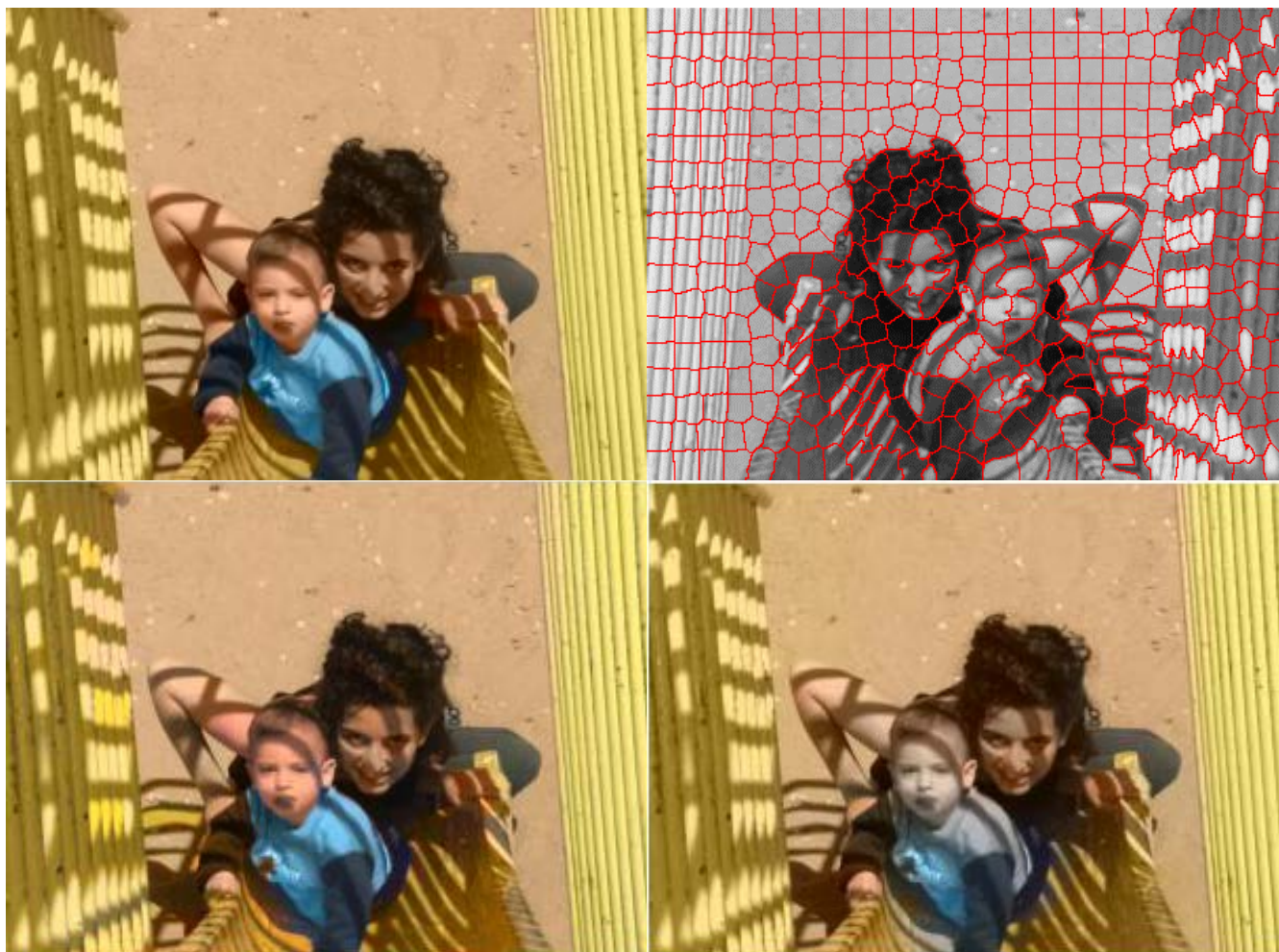
基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法



猫



基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法



母子



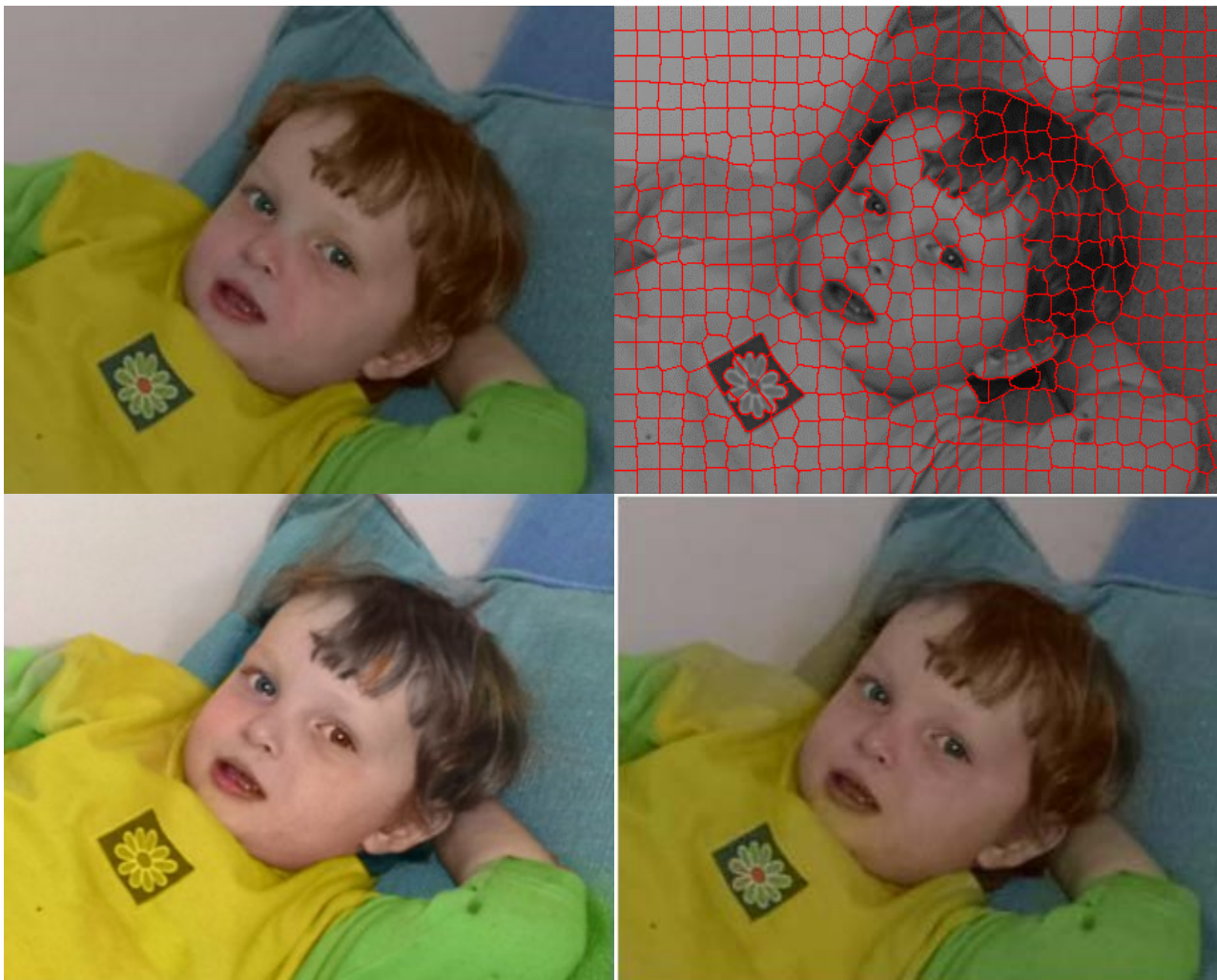
基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法



女孩



基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法



男孩



- 彩色化问题简介
- 基于四元小波变换、相位一致性的图像彩色化方法
- 基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法
- 基于SLIC超像素分割彩色化算法的Scribble生成算法
 - 问题的提出
 - 对于欠着色问题的分析
 - 改进后的Scribble生成算法
 - 实验结果与峰值信噪比分析
- 总结与展望



问题的提出





对于欠着色问题的分析



k=500



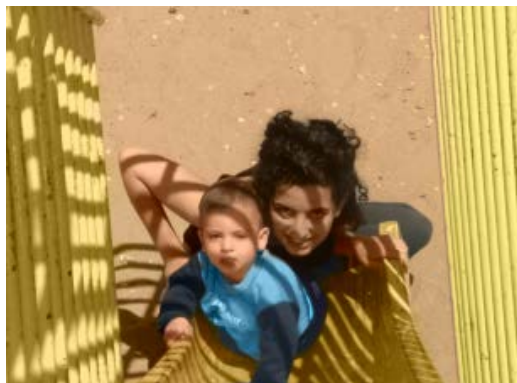
k=100



- 对于不含有Scribble的超像素块，我们考虑人为地将其聚类中心点，即其超像素块的中心归类进Scribble集合当中。
- 通过人为添加Scribble，我们可以解决了超像素分割引起的欠着色问题。



实验结果与峰值信噪比分析





实验结果与峰值信噪比分析

原图名称	原图与课题组前期彩色化算法的运算结果的PSNR (单位: dB)	原图与本文的彩色化算法运算结果的PSNR (单位: dB)
水池	28.2431	39.4164
猫	34.3326	38.3389
母子	32.4826	37.7049
女孩	31.2949	41.2462
男孩	31.4964	38.6918



- 彩色化问题简介
- 基于四元小波变换、相位一致性的图像彩色化方法
- 基于SLIC超像素分割算法的彩色化算法
- 基于SLIC超像素分割彩色化算法的Scribble生成算法
- 总结与展望
 - 全文总结
 - 后续工作展望



- 黑白图像彩色化问题是一个有趣而又实用的课题。课题组前期在Levin算法的基础上已经完成了：

Scribble自动生成算法；

基于四元Gabor相位分析和相位一致性的最优化算法。

- 我们总结了主流的彩色化算法和课题组的前期工作，完成了以下工作：

为了解决色彩蔓延问题，我们引入了SLIC超像素分割算法代替Canny边缘检测。

对于引入超像素分割算法后加剧的欠着色情况，我们对Scribble自动生成算法做了修正。



现有的实验结果仍有改进空间，几个改进方向是：

- ④ 相位一致性边缘强度计入权值图的方式；
- ④ 估价函数的设计；
- ④ 考虑光流，实现黑白视频的彩色化；
- ④ 对于已有MATLAB算法，在C++环境中的实现。



上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



谢 谢 !

刘骏祎

leojy1993@gmail.com

2015.06.23

