





Kolorování černobílých filmů

Martin Varga

MFF UK, 2005



Kolorování černobílých filmů

Úvod

Motivace

Trocha historie

Současnost

Algoritmy

Pár ukázek...

...aneb proč jsme to vlastně dělali



Motivace

K čemu je kolorování dobré?

Prvotní účel: zvýšit přitažlivost černobílých snímků pro běžné publikum přidáním barev (nejen filmy, ale třeba snímky z elektronového mikroskopu apod.)







Motivace

Další využití:

Změna barev objektů v obrázku (tzv. recoloring)

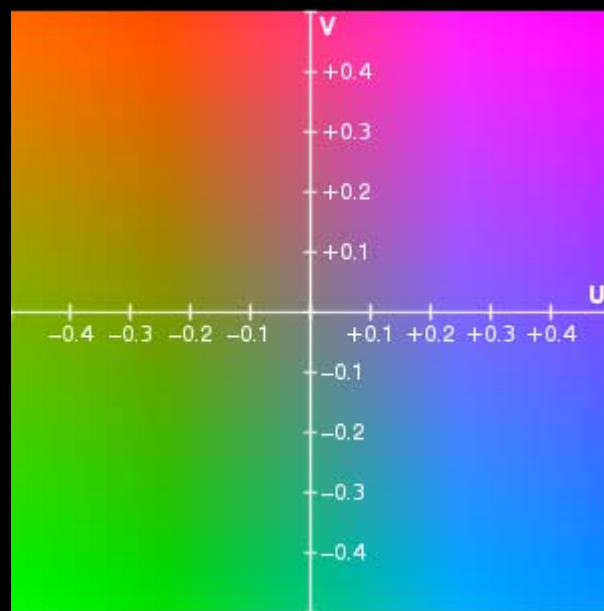
Kompresi barevných obrázků

Kompresi barevných obrázků

Zkusme obrázek reprezentovat v barevném systému YCbCr (nebo v podobném, třeba YUV).

Y je složka jasová,
Cb a Cr určují barvu.

Pokud bychom uměli
černobílý obrázek
kolorovat, stačí nám uložit
si složku Y.



U-V paleta

Trocha historie

Kolorování (kolorizace) je staré jako sama fotografie. Již v 19.století (~1842) se ručně malovaly černobílé fotografie.

Pokusy s kolorováním filmů se prováděly již začátku 20.století.

Pro počítačové dobarvování byl termín „colorization“ poprvé použit v roce 1970 (Wilson Markle) – kolorizace nahrávek misí Apollo.

Do té doby se filmy kolorovaly také, ale celé ručně!

V roce 1983 Markle založil firmu Colorization Inc.

Tehdy se ukázalo, že kolorizace je trochu kontroverzní téma...



Trocha historie

V 80. letech byly kolorovány některé klasické americké filmy (Casablanca, ...)

Následně se zvedla vlna protestů.

Na jedné straně stáli odpůrci kolorování, kteří tvrdili, že se tím ničí originální umění, na straně druhé příznivci argumentovali tím, že film je jako hudba a kolorovaná verze je jen další interpretací...

Např. „Občan Kane“ díky tomu nebyl nikdy kolorován.

Na rozvoji kolorování jako takového to ale nic nezměnilo.



Současnost

**Kolorizace je ještě pořád závislá na zásahu člověka.
Počítač sám o sobě nemůže převést šed' na barvu.**

**Dnes však již umíme provádět kolorizaci s minimálním
zásahem člověka.**

**V některých případech dokonce stačí dát algoritmu
barevnou předlohu.**



Algoritmy

- 1. Gray Scale Matting and Colorization**
- 2. Colorization Using Optimization**
- 3. Inpainting the Colors**
- 4. Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending**
- 5. Inking Old Black and White Cartoons**

Gray Scale Matting and Colorization

2004 - Chen, Wang, Schillings, Meinel

Úloha kolorizace je typicky rozdělena na dvě části:

- Segmentace obrazu, zde pomocí speciálního algoritmu pro digital „matting“ (česky asi klíčování)
- Vybarvení segmentů, zde Color Transferring

Gray Scale Matting and Colorization

Existuje mnoho technik segmentace obrazu.

Některé pracují na principu detekce hran (ostrých přechodů jasu, barev), ale ty většinou nedetekují správně např. vlasy, nebo lidské tváře (nos x rty).

Existuje však metoda založená na teorii pravděpodobnosti (je zde určitá podobnost s minulou přednáškou – „Odečítání pozadí a sledování lidí z nehybné kamery“).

Gray Scale Matting and Colorization

Digital Matting

Potřebujeme oddělit popředí a pozadí a potřebujeme to přesně.

Metoda vyžaduje počáteční nastavení – uživatel specifikuje oblast popředí, pozadí a oblast, kde neví (Maximum A Posteriori Problem – MAP).

Pro každý pixel jasu C z neznámé oblasti určí hodnotu jasu popředí F , pozadí B a α .

$$C = \alpha F + (1 - \alpha)B$$

Gray Scale Matting and Colorization

Jak určit α , F a B?

Bayesova věta:

$$\begin{aligned} \arg \max_{F, B, \alpha} P(F, B, \alpha | C) &= \\ &= \arg \max_{F, B, \alpha} P(C | F, B, \alpha) P(F) P(B) P(\alpha) / P(C) \\ &= \arg \max_{F, B, \alpha} (L(C | F, B, \alpha) + L(F) + L(B) + L(\alpha)) \end{aligned}$$

$$L(X) = \log(P(X))$$

$L(C)$ je konstatní vzhledem k maximalizovaným proměnným, můžeme tento člen zanedbat.



Gray Scale Matting and Colorization

Jak určit α , F a B?

Algoritmus postupuje ze známých oblastí do neznámé a pro každý pixel určí odhad F, B a α .

To se dělá pomocí odhadování jednotlivých členů minulé rovnice z okolních předem známých nebo spočítaných pixelů.

Gray Scale Matting and Colorization

Jak určit α , F a B?

Přesněji: Známé pixely v okolí neznámého rozdělíme do shluků F, B a α , z těch určíme Gaussovské rozložení a dosadíme do předchozí rovnice.

$$\text{Např.: } L(F) = - |F - F'|^2 / (2\sigma_F^2 + 2\sigma_C^2)$$

F' je střední hodnota shluku, σ_F std. odchylka, σ_C je šum v obrázku, přičemž při modelování gausiánu mají pixely blíže středu a pixely s větším α větší váhu.

Poté se řeší výše zmíněná rovnice – hledá se F, B a α taková, aby měl výraz maximální hodnotu.

Gray Scale Matting and Colorization

Color transferring

Jakmile máme obrázek rozdělený na jednotlivé objekty (oddělení každých dvou objektů jako popředí – pozadí), přidáme k němu barvu.

Pracovat budeme v barevném prostoru $l\alpha\beta$ (Ruderman), který minimalizuje závislosti jednotlivých složek.

O jednotlivých objektech v obrázku budeme předpokládat, že mají stejný barevný odstín po celé své ploše.

Gray Scale Matting and Colorization

Color transferring

Pro nějaký vzorek v objektu nalezneme podobný vzorek (z jiného obrázku), který má takový barevný odstín, jako má mít obarvený objekt.

Provedeme transformaci barevného vzorku, aby měly vzorky stejný histogram.

Poté se provede samotný Color transferring

Color transferring

Obecná technika pro „změnu obarvení obrázku podle jiného obrázku“

Triky se střední hodnotou a std. odchylkou.



Zdroj S



Cíl T



Výsledek V

Color transferring

Pro každý pixel v cílovém obrázku se provede transformace všech jeho kanálů, př. kanál l

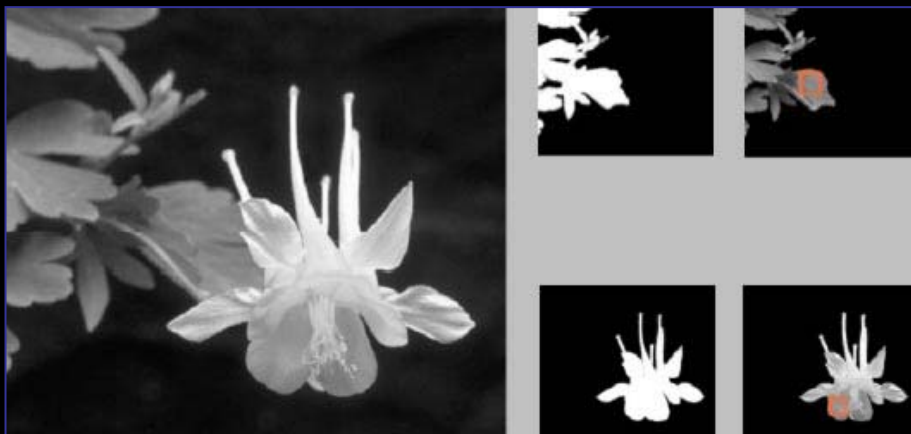
$$l_t^* = l_t - l_t', \quad l_t' \text{ je stř. hodnota}$$

$$l_t^{**} = \sigma_t^l / \sigma_s^{l*} l_t^*$$

$$l_v = l_t^{**} + l_s'$$

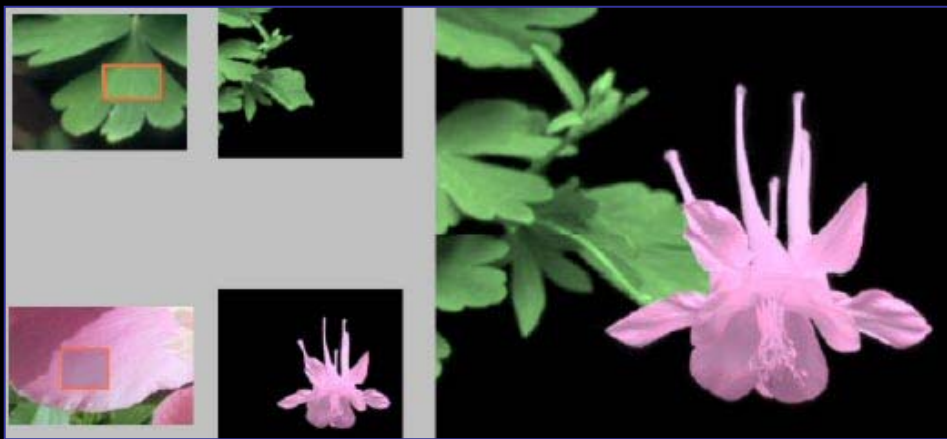
Toto se provádí pro všechny složky. U černobílých obrázků se u složky α a β jen přičtou stř. hodnoty.

Příklad



Získání objektů, masky
a čb vzorků

Vzorky v barevném obrázku,
color transfer na objekty



Gray Scale Matting and Colorization

Výhody

Pěkné a přesné výsledky

Nevýhody

Hodně lidské intervence.

U filmů je ještě potřeba sledovat pohyb objektů ve scéně (segmentace každého snímku znovu by byla velmi časově náročná).

Gray Scale Matting and Colorization

Reference

A. Hertzmann, C.E. Jacobs, N. Oliver, B. Curless, and D.H. Salesin. *Image analogies*. In SIGGRAPH 01, 2001

Tongbo Chen, Yan Wang, Volker Schillings, and Christoph Meinel. *Grayscale image matting and colorization*. In Proceedings of Asian Conference on Computer Vision (ACCV 2004)

Reinhard, E., Ashikhmin, M., Gooch, B., Shirley, P. "*Color Transfer Between Images*" IEEE Computer Graphics and Applications, v. 21, no. 5 (2001) (special issue on Applied Perception), pp. 34-41.

Yung-Yu Chuang, Brian Curless, David Salesin, and Richard Szeliski. *A bayesian approach to digital matting*.



Algoritmy

1. **Gray Scale Matting and Colorization**
2. **Colorization Using Optimization**
3. **Inpainting the Colors**
4. **Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending**
5. **Inking Old Black and White Cartoons**

Colorization Using Optimization

2004 - Anat Levin, Dani Lischinski, Yair Weiss

Největší nevýhoda předešlých metod je nutnost segmentace obrazu a příliš mnoho práce uživatele.

Pozorování: Sousední pixely (v prostoru i čase) s podobnou úrovní jasu (šedi v čb) mají podobnou barvu (čili jas v sobě nese informaci o geometrii obrázku).

Od uživatele potřebujeme jen, aby někam dovnitř souvislé oblasti (objektu) nakreslil pár čar (scribbles).

Algoritmus poté propaguje tuto barvu v oblasti podle výše uvedeného pozorování.

Metoda je vhodná pro recoloring (změnu barvy v obr.)

Colorization Using Optimization

Pracujeme v barevném prostoru YUV (nebo podobném).
Vstupem algoritmu je $Y(x,y,t)$, výstupem $U(x,y,t)$ a $V(x,y,t)$

Optimalizační úloha – hledáme minimum následující
úlohy:

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

r, s – vektory (x,y,t) , $N(r)$ - okolí pixelu r , w_{rs} – váhová
funkce

Uživatel podmíní úlohu formou barevných čar.

Colorization Using Optimization



Colorization Using Optimization

$N(r)$ - okolí pixelu r , pixely mohou sousedit i v čase (dva snímky z videa).

Definice je snadná – dva pixely v obrázku nazveme sousedy, pokud jsou jejich pozice „blízko sebe“. Dva pixely ve dvou po sobě jdoucích snímcích jsou sousedy, jestliže jsou jejich pozice po „odečtení“ pohybu blízko sebe.

Ve videu se dá zjednodušeně říci, že dva pixely jsou sousedy v čase, pokud se jedná o tentýž pixel, který se neposunul moc.

Colorization Using Optimization

w_{rs} – váhová funkce, součet vah přes celé okolí musí dát 1. Je velká pro $Y(s)$ blízké $Y(r)$ a malá pro $Y(s)$ odlišné od $Y(r)$.

Váhové funkce se používají dvě.

První je založená na obyčejném čtverci vzdálenosti $Y(r)$ a $Y(s)$.

Druhá, založená na korelaci (míře podobnosti) dvou intenzit, je odvozená od faktu, že náhlá změna intenzity je většinou provázána náhlou změnou barvy a naopak konstatní intenzity provází konstatní barva.



Colorization Using Optimization

Výhody

Práce uživatele je minimální

Nevýhody

Pomalé, barvy se občas smíchají za hranicemi objektů.



Colorization Using Optimization

Reference

Anat Levin, Dani Lischinski and Yair Weiss, *Colorization using Optimization*, Proceedings of ACM SIGGRAPH, 2004



Algoritmy

1. Gray Scale Matting and Colorization
2. Colorization Using Optimization
- 3. Inpainting the Colors**
4. Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending
5. Inking Old Black and White Cartoons

Inpainting the Colors

2004 – Guillermo Sapiro

Metoda je založená na podobném principu sousednosti pixelů jako v minulém algoritmu, ale používá gradienty (v prostoru i čase). Autor pracuje v barevném prostoru YCbCr, ale opět lze použít YUV,...

Úloha nyní vypadá takto:

$$\min_{Cb} \int_{\Omega} \rho(\|\nabla Y - \nabla Cb\|) d\Omega,$$

ρ - norma, Ω je množina souřadnic pixelů (na nějaké podmnožině máme pevně dané barvy pomocí scribbles).

Dále řešíme diferenciální Poissonovy rovnice.



Inpainting the Colors

Výhody

Existují rychlé metody řešení Poissonovských dif. rovnic.

Nevýhody

Barvy se často smíchají za hranicemi objektů.



Inpainting the Colors

Reference

Guillermo Sapiro, *Inpainting the colors*, IMA Preprint Series #1979, Institute for Mathematics and its Applications, University of Minnesota, 2004



Algoritmy

1. **Gray Scale Matting and Colorization**
2. **Colorization Using Optimization**
3. **Inpainting the Colors**
4. **Fast Image and Video Colorization
Using Chrominance Blending**
5. **Inking Old Black and White Cartoons**



Fast Image and Video Colorization

Using Chrominance Blending

2004 – Liron Yatziv, Guillermo Sapiro

Podobná myšlenka jako u předchozích dvou algoritmů,
ale použít jiný výpočet.

Barevný prostor opět s první složkou jasovou – YCbCr,...

Fast Image and Video Colorization

Nejprve definujme vzdálenost dvou bodů v obrázku takto:

$$d(s, t) := \min_{C_{s,t}} \int_{s=0}^1 |\nabla Y \cdot \dot{C}(s)| ds.$$

Kde $C(s)$ je křivka s koncovými body s, t .

Jde o tzv. intrinsic (geodesic) distance. Analogie z běžného života: Pokud jsou dvě města od sebe vzdálena 100km měřeno touto vzdáleností, pak je možné je spojit silnicí o délce 100km.

Fast Image and Video Colorization

Z toho pak odvodíme vzdálenost bodu od konkrétní „barvy“ c .

$$d_c(t) := \min_{\forall s \in \Omega_c | \text{chrominance}(s) = c} d(s, t).$$

kde Ω_c je množina všech předem obarvených bodů (opět pomocí scribbles).

Fast Image and Video Colorization

Výsledná barva v pixelu t se určí takto:

$$\text{chrominance}(t) \leftarrow \frac{\sum_{\forall c \in \text{chrominances}(\Omega_c)} W(d_c(t)) c}{\sum_{\forall c \in \text{chrominances}(\Omega_c)} W(d_c(t))},$$

kde W je váhová funkce.

Autoři použili jednoduchou váhovou funkci:

$$W(x) = x^{-b}, 1 \leq b \leq 6$$



Fast Image and Video Colorization

Výhody

Rychlé.

Produkuje oku lahodící výsledky.

Nevýhody

?



Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending

Reference

Liron Yatziv and Guillermo Sapiro, *Fast Image and Video Colorization using Chrominance Blending*, IMA Preprint Series #2010, Institute for Mathematics and its Applications, University of Minnesota, 2004



Algoritmy

1. **Gray Scale Matting and Colorization**
2. **Colorization Using Optimization**
3. **Inpainting the Colors**
4. **Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending**
5. **Inking Old Black and White Cartoons**



Inking Old Black and White Cartoons

2003 - Daniel Sýkora

Diplomová práce, zabývá se všemi aspekty kolorování starého kresleného seriálu o Rumcajsovi.

Využívá některých zvláštností kreslených filmů Radka Pilaře - postavy mají pevnou konturu,...

Díky tomu lze dobře použít např. segmentaci.

Práce se zabývá i odstraňováním škrábanců apod., které na starých záznamech vznikají.



Inking Old Black and White Cartoons

Reference

Daniel Sýkora, *Inking Old Black-and-White Cartoons*, Master's thesis, Department of Computer Science and Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Czech Technical University in Prague, Czech republic, January 2003.



Pár ukázek

Colorization Using Optimization

<http://www.cs.huji.ac.il/~yweiss/Colorization/index.html>

Fast Image and Video Colorization Using Chrominance Blending

<http://mountains.ece.umn.edu/~liron/colorization/>



Konec