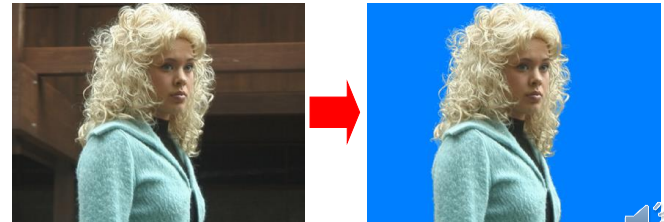


イメージシンセシス α マットニング

岩手大学大学院
総合科学研究科 理工学専攻
デザイン・メディア工学コース
藤本 忠博

前景物体の抽出に関する技術

- 元画像中の目的とする前景物体を切り出して、別の背景画像に貼り付ける。 → **マットニング技術**
 - イラスト・ペイントツールを使って**手動**で輪郭を切り取る。
 - アルゴリズムにより**自動的**に切り出す。



出典：“A Bayesian Approach to Digital Matting”, CVPR 2001

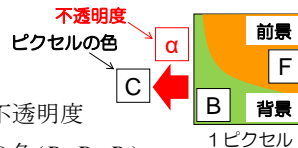
α マットニング

- 1つのピクセルに前景と背景が含まれる場合、それらを重み付き加算する
不透明度(α 値)を考慮する。

$$C = \alpha F + (1 - \alpha)B, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

C : 元画像上の色(C_r, C_g, C_b), α : 不透明度

F : 前景の色(F_r, F_g, F_b), B : 背景の色(B_r, B_g, B_b)



α マットニング

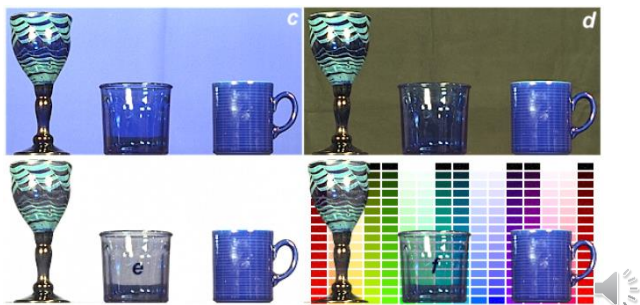
- 各ピクセルごと、元画像上の色 $C(C_r, C_g, C_b)$ から、前景色 $F(F_r, F_g, F_b)$ 、背景色 $B(B_r, B_g, B_b)$ 、不透明度 α を求める。
⇒ 3個の制約式から7個の未知数を求める問題に帰着。
⇒ 数学的には、制約が少なく、解が決定しない。
⇒ 特定の条件のもとで**最適値**を求める。

$$C = \alpha F + (1 - \alpha)B, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$$

$$\begin{cases} C_r = \alpha F_r + (1 - \alpha)B_r \\ C_g = \alpha F_g + (1 - \alpha)B_g \\ C_b = \alpha F_b + (1 - \alpha)B_b \end{cases}$$

ブルースクリーンマッピング "Blue Screen Matting", SIGGRAPH 1996

- 既知の色を持つ背景に対して同じ前景物体を写した2枚以上の元画像から、各ピクセルの前景色と不透明度を求める。



ブルースクリーンマッピング

- 異なる背景の2枚の元画像を用いる場合、それぞれの元画像の各ピクセル色 C_1, C_2 は、既知の背景色 B_1, B_2 ならびに未知の前景色 F と不透明度 α により次式であらわされる。

$$\begin{cases} C_1 = \alpha F + (1-\alpha)B_1 \\ C_2 = \alpha F + (1-\alpha)B_2 \end{cases} \rightarrow$$

$$\begin{cases} C_{1R} = \alpha F_R + (1-\alpha)B_{1R} \\ C_{1G} = \alpha F_G + (1-\alpha)B_{1G} \\ C_{1B} = \alpha F_B + (1-\alpha)B_{1B} \\ C_{2R} = \alpha F_R + (1-\alpha)B_{2R} \\ C_{2G} = \alpha F_G + (1-\alpha)B_{2G} \\ C_{2B} = \alpha F_B + (1-\alpha)B_{2B} \end{cases}$$

- ⇒ 6個の制約式から4個の未知数 F_R, F_G, F_B, α を求める。
- ⇒ 制約が多すぎ、厳密な解が決定しない。
- ⇒ 最小2乗法により、最適な値を求める。

元画像が3枚以上の場合も同様の方法で扱う！

ブルースクリーンマッピング

- 元画像が1枚の場合について、不透明度 α の取りうる値の下限値と上限値を解析的に求めている。
- 色空間上で定義される等 α 値面 (separating surface) を用いて、元画像のピクセル色 C が前景色 F と背景色 B を不透明度 α で合成することによりできる仕組みを表現している。

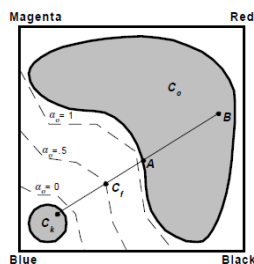


Figure 4. A slice through a (non-convex) polyhedral family of surfaces of constant alpha separating backing colors from foreground object colors. Given color C_1 will be interpreted as A with alpha of .5 whereas the object might actually be B with an alpha of .25.

上図では、元画像のピクセル色 $C_f = C$ 、 α 値を適用した前景色 $C_0 = \alpha F$ 、背景色 $C_k = B$ 、前景の不透明度 $\alpha_0 = \alpha$ としている。

ブルースクリーンマッピング

- 実験例



ブルースクリーンマッピング

- 実験例

ブルースクリーンマッピング

- 実験例

Figure 2. Practical triangulation matting. (a-b) Two different backings. (c-d) Objects against the backings. (e) Pulled out. (f) New composite. (g-h) and (j-h) Same triangulation process applied to two other objects (backing shots not shown). (i) Objects composited over another. The table and other extraneous equipment have been "garbage matted" from the shots. See Fig. 5.

ブルースクリーンマッピング

- 実験例

Figure 5. A composite of nine image sprites pulled from studio photographs using the triangulation technique shown in Fig. 2.

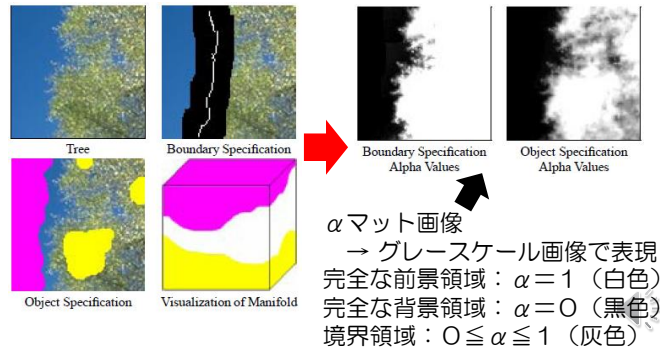
自然な背景の画像に対する α マッピング

"Alpha Estimation in Natural Images", CVPR 2000

- 画像上での物体領域（前景、背景）と境界領域の設定。
- 前景・背景領域のピクセル色を色空間上でクラスタ化。
- 前景・背景領域の複数の色クラスタのうち、境界領域を横切る適切なもの同士を結び、確率を用いた補間により、境界領域の各ピクセルの前景色 F 、背景色 B 、不透明度 α を求める。

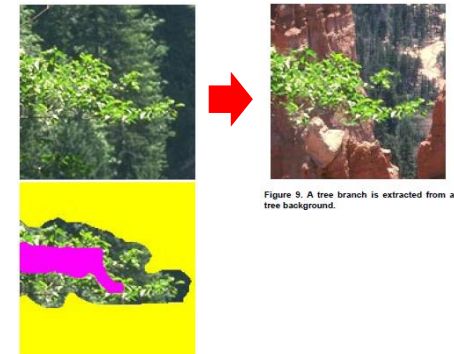
自然な背景の画像に対する α マッピング

■ 実験例



自然な背景の画像に対する α マッピング

■ 実験例



自然な背景の画像に対する α マッピング

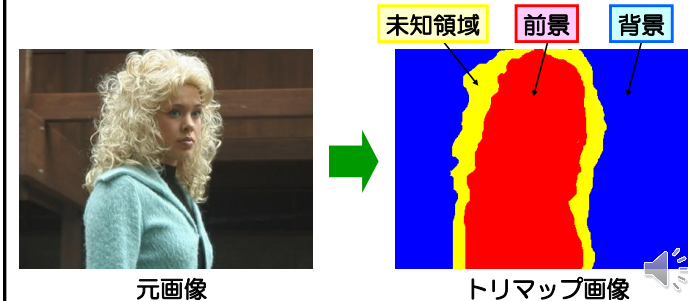
■ 実験例



ベイズマッピング

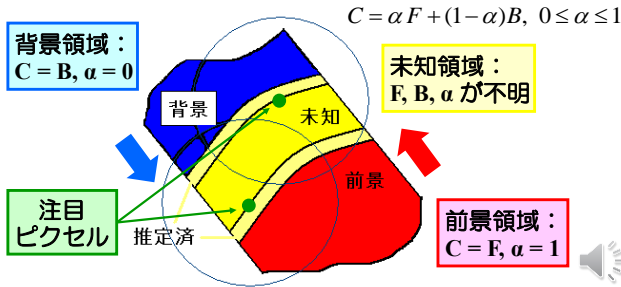
“A Bayesian Approach to Digital Matting”, *CVPR 2001*

- ユーザによるトリマップ (前景, 背景, 未知領域) の生成.
- 未知領域の各ピクセルの前景色 F , 背景色 B , 不透明度 α について, ベイズ理論に基づき, 確率的に最適な値を求める.



ベイズマッピング

- 未知領域の前景側、背景側の境界部分から内部方向に向けて、注目ピクセルの近傍領域内の既知の F, B, α を用いて、**ベイズ理論**に基づき**確率的に最適な F, B, α** を求めていく。



ベイズマッピング

- ベイズ理論に基づく最尤推定により、ピクセルごとに、ピクセル色が C という条件の下で、最適な F, B, α を求める。

$$\begin{aligned} & \arg \max_{F, B, \alpha} P(F, B, \alpha | C) \quad \text{ベイズの定理} \\ &= \arg \max_{F, B, \alpha} P(C | F, B, \alpha) P(F) P(B) P(\alpha) / P(C) \quad \text{尤度 } P \text{ を対数} \\ &= \arg \max_{F, B, \alpha} L(C | F, B, \alpha) + L(F) + L(B) + L(\alpha) - L(C) \quad \text{尤度 } L \text{ に変え、積を和にする。} \\ & \quad \text{①} \quad \text{②} \quad \text{③} \quad \text{④} \quad \text{ピクセル色 } C \\ & \quad \text{確率分布を与える} \quad \text{定数のため最適化には無意味} \Rightarrow \text{省略} \quad \text{不透明度} \quad \text{前景} \\ & P(a | b) : \text{尤度} \quad \leftarrow \text{条件付確率: 事象 } b \text{ が起きた時に事象 } a \text{ が起きる確率} \\ & L(a | b) = \log P(a | b) : \text{対数尤度} \end{aligned}$$

ベイズマッピング

- ① $L(C | F, B, \alpha)$: ピクセル色 C の確率分布が、平均 $\bar{C} = \alpha F + (1 - \alpha)B$ 、標準偏差 σ_c の**ガウス分布(Gaussian distribution)**に従うと考える。

$$L(C | F, B, \alpha) = -\frac{1}{2} \frac{\|C - (\alpha F + (1 - \alpha)B)\|^2}{\sigma_c^2} = -\frac{1}{2} \frac{\|C - \bar{C}\|^2}{\sigma_c^2}$$

確率変数 x が次の確率密度関数 $P(x)$ に従う場合
 \Rightarrow **ガウス分布 (正規分布)** m : 平均, σ : 標準偏差

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad \rightarrow \quad L(x) = \log_e P(x) = -\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} + \log_e \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}$$

ベイズマッピング

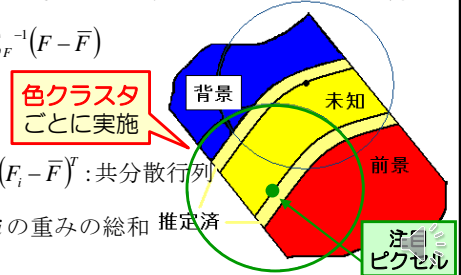
- ② $L(F)$: 前景色 F の確率分布が**方向性を持つ楕円型ガウス分布 (oriented elliptical Gaussian distribution)**に従うと考える。
 注目ピクセルの近傍領域内の**前景ピクセル**と**未知領域の推定済みピクセル**の前景色を用い、平均と共分散行列を得る

$$L(F) = -\frac{1}{2} (F - \bar{F})^T \Sigma_F^{-1} (F - \bar{F})$$

$$\bar{F} = \frac{1}{W} \sum_{i \in N} w_i F_i : \text{平均}$$

$$\Sigma_F = \frac{1}{W} \sum_{i \in N} w_i (F_i - \bar{F})(F_i - \bar{F})^T : \text{共分散行列}$$

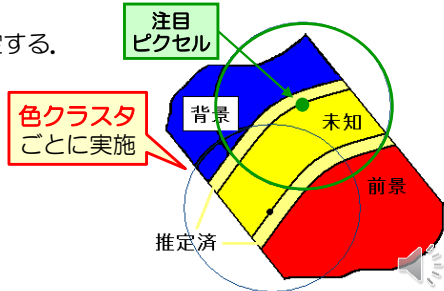
$$W = \sum_{i \in N} w_i : \text{ピクセル } i \text{ の重みの総和 推定済}$$



ベイズマッピング

③ $L(B)$: $L(F)$ と同様に、背景色 B の確率分布が**方向性を持つ楕円型ガウス分布(oriented elliptical Gaussian distribution)**に従うと考え、平均と共分散行列を得ることで定義する。

④ $L(\alpha)$: 一定と仮定する。



ベイズマッピング

■ 対数尤度の総和を最大化する最適な F, B, α を求める。

$$\arg \max_{F, B, \alpha} P(F, B, \alpha | C)$$

$$= \arg \max_{F, B, \alpha} \underbrace{L(C | F, B, \alpha)}_{①} + \underbrace{L(F)}_{②} + \underbrace{L(B)}_{③} + \underbrace{L(\alpha)}_{④} - P(\alpha)$$

→ 式(★)

■ 式(★)の最大化問題を2つの問題に分解し、反復的に解く。

- (1) α を固定し、 $F(F_r, F_g, F_b)$ と $B(B_r, B_g, B_b)$ を未知数とする。
式(★)を6個の未知数でそれぞれ微分して=0とすることで、6元連立1次方程式とし、 F と B の解を求める。
- (2) $F(F_r, F_g, F_b)$ と $B(B_r, B_g, B_b)$ を固定し、 α を未知数とする。
式(★)を方程式として解き、 α の解を求める。
7個の解 $\alpha, F_r, F_g, F_b, B_r, B_g, B_b$ が収束するまで(1)と(2)を反復。

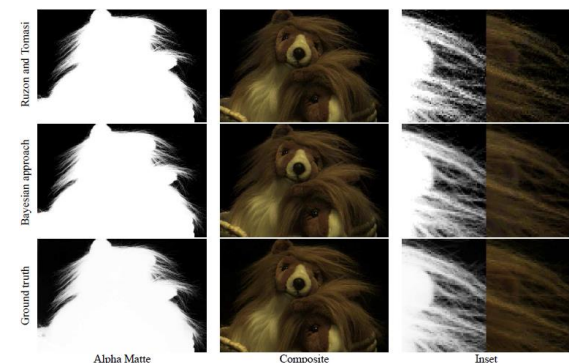
ベイズマッピング

■ 実験例



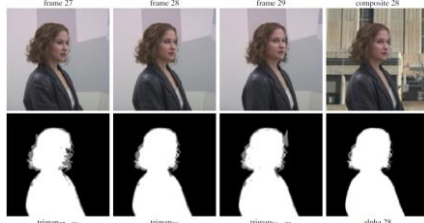
ベイズマッピング

■ 実験例



ベイズマッピングの動画への応用

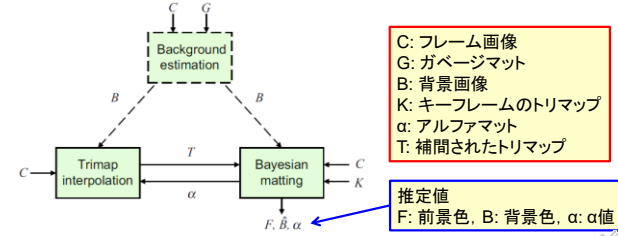
- Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002
- ビデオ映像に対して半自動的に α マッピングを行う。



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

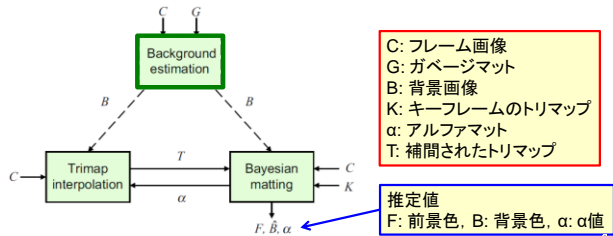
- 背景推定 (Background estimation)
- トリマップ補間 (Trimap interpolation)
- ベイズマッピング (Bayesian matting)



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

- 背景推定 (Background estimation)
- トリマップ補間 (Trimap interpolation)
- ベイズマッピング (Bayesian matting)



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

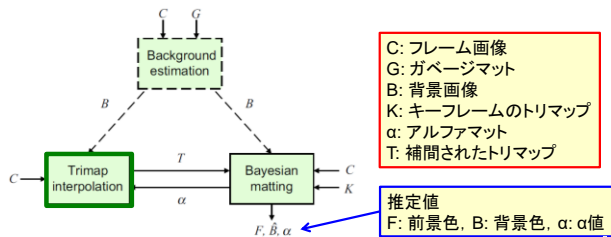
- 背景推定 (Background estimation)
 - 各フレームに対し、前景を除いた**背景のみの画像(背景画像)**を求める。
 - 幾つかのキーフレーム上で前景を覆う長方形のマスク領域(**ガベージマツト**)を**手動**で与える。
 - それらを**自動**で補間して、適宜、**手動**で調整することで、他フレーム上のガベージマツトを求める。
 - 各フレームに対して、**R. Szeliski**らの**モザイク法(1997)**を利用し、時刻の近いフレームの背景色を用いて欠落領域を埋めることで、背景画像を生成する。



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

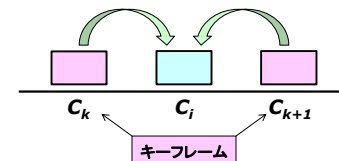
- 背景推定 (Background estimation)
- トリマップ補間 (Trimap interpolation)
- ベイズマッピング (Bayesian matting)



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

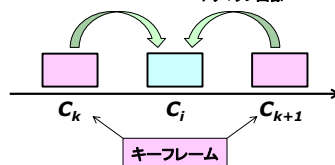
- トリマップ補間 (Trimap interpolation)
 - オプティカルフローを利用し、各フレームのトリマップを半自動的に求める。
 - 幾つかのキーフレーム上でトリマップを手動で与え、オプティカルフローによる補間によって他フレーム上のトリマップを自動で求める。
 - 前フレームに存在しない要素を映すピクセルが後フレームに突然現れること (disocclusion) を避けるため、時間軸上で前方向と後方向にオプティカルフローを用いる。



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

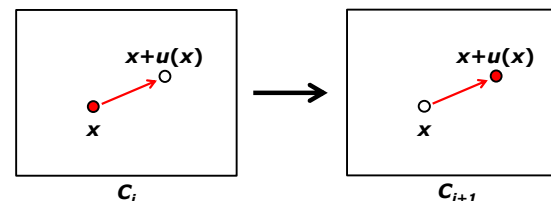
- トリマップ補間 (Trimap interpolation)
 - トリマップ補間は、次の処理から構成される。
 - オプティカルフローの生成
 - エラーマップの生成
 - トリマップのワーブ
 - 前後方向にワーブされたトリマップの融合
 - 最終トリマップの生成
 - 背景画像の利用



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

- オプティカルフローの生成
 - 隣接フレーム間で同じ部分を映しているピクセルの対応から、M. Blackらのマルチスケール法(1996)を利用して、各フレームについて、各ピクセル x の移動をあらわすオプティカルフロー $u(x)$ を求める。



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

■ エラーマップの生成

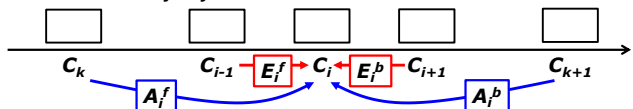
- 各フレーム C_i の各ピクセル x について、**実際の色**と**オプティカルフロー u による予測色**の差分として、前後のフレーム C_{i-1} , C_{i+1} を用いて、前後方向のフレーム間の**エラーマップ** E_i^f , E_i^b を求める。

$$E_i^f(x) = \|C_i(x) - C_{i-1}(x - u)\|$$

$$E_i^b(x) = \|C_i(x) - C_{i+1}(x + u)\|$$

オプティカルフローの信頼性の尺度

- 各フレーム C_i について、最も近いキーフレーム C_k , C_{k+1} から前後方向にエラーマップ E_i^f , E_i^b を累積した**累積エラーマップ** A_i^f , A_i^b を求める。



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

■ トリマップのワーブ

■ 前方向へのトリマップのワーブ

- キーフレームのトリマップから開始し、前方向に次のキーフレームまで、オプティカルフローにより各フレームに逐次的にトリマップを**ワーブ**する。各フレームの各ピクセル x について、以下の値を求める。
 - **トリマップのラベル**: 前景, 背景, 未知
 - **信頼度**: 逐次的なフレーム間のワーブの最中に、エラーマップ E_i^f の値が閾値以下であり続けられれば**1**, 閾値を超えた時点で**0**とする。
 - 各フレームのワーブされたトリマップに対し、**信頼度が0のピクセルはラベルを未知**とし、**ベイズマッピング**を適用する。その結果に対して前景・背景の閾値を適用することで、**改善されたトリマップ**を得る。

■ 後方向へのトリマップのワーブ

- 前方向と同様に、後方向へトリマップをワーブする。

Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

■ 前後方向にワーブされたトリマップの融合

- 各フレームのトリマップとして、各ピクセルについて、前後方向にワーブされたトリマップ上でのラベル(前景, 背景, 未知)のうち、前後方向の累積エラーマップ A_i^f , A_i^b の値が小さなほうのラベルを採用する。
- 前後方向とも、ワーブされたトリマップのラベルが未知の場合、累積エラーマップにペナルティ値を加えておく。

■ 最終トリマップの生成

- 前後方向にワーブされたトリマップを融合したトリマップに対して、再度、ベイズマッピングを適用することで、改善を行う。

Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

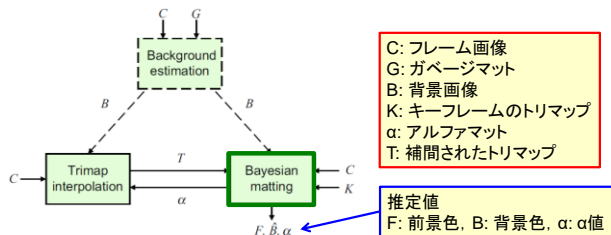
■ 背景画像の利用

- 各フレームで推定した背景画像が利用できる場合、前後方向にワーブされたトリマップ上で、両方向の信頼度とも**0**のピクセルには、ベイズマッピングではなく、フレーム上の**実際の色**と**背景画像の色**を用いた**差分マッピング (difference matting)**を適用する。

Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

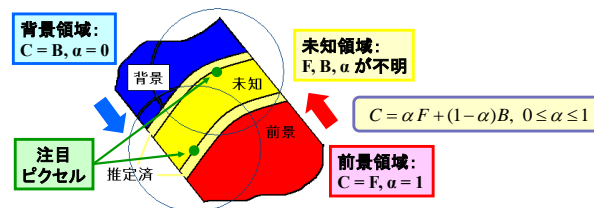
- 背景推定 (Background estimation)
- トリマップ補間 (Trimap interpolation)
- ベイズマッピング (Bayesian matting)



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

- ベイズマッピング (Bayesian matting)
 - 各フレームについて、補間されたトリマップを用いてベイズマッピングを適用し、未知領域のピクセルの前景色、背景色、 α 値を推定する。
 - 推定した背景画像を利用することで、より高精度かつ高速な処理が可能となる。



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

- 実験例 (前後方向のトリマップ補間)



Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

- 実験例 (背景画像の利用)



- 左上図: 推定された背景画像
左下図: トリマップ
- (a) フレーム画像
(b) ベイズマッピング (背景画像を利用しない場合)
(c) Ruzon, Tomasilによるマッピング (背景画像を利用した場合)
(d) ベイズマッピング (背景画像を利用した場合)

Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

- 実験例(煙を前景とした適用例)
- 煙の色(前景色)を一定値として扱う。



Figure 4. Smoke matting. The input image (a) is part of a sequence for which keyframe trimaps and trimap flow have been computed, and for which a background plate is available. Using the alpha matte as a garbage matte, the foreground actor is removed (b). After applying the participating-media matting algorithm described in Section 3.4, we obtain a matte for the smoke, which is combined with the actor's matte to yield a complete matte (c). We can then composite the foreground over an edited version of the background as shown here (d).

Y. Chuang, A. Agarwala, B. Curless, D. Salesin, R. Szeliski, "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ベイズマッピングの動画への応用

Video Matting of Complex Scenes

Yung-Yu Chuang Aseem Agarwala Brian Curless

David Salesin Richard Szeliski

University of Washington Microsoft Research

Y. Chuang et al., "Video Matting of Complex Scenes", SIGGRAPH 2002

ポアソンマッピング

"Poisson Matting", SIGGRAPH 2004

- ユーザによるトリマップ(前景, 背景, 未知領域)の生成。
- 未知領域の各ピクセルの前景色 F , 背景色 B , 不透明度 α について, 連続するピクセル間での勾配(値の変化)が滑らかであることを仮定し, **ポアソン方程式**を解くことで最適な値を求める。
- ベイズマッピングより良好な実験結果が得られている。



ポアソンマッピング

- 画像上の前景色 F , 背景色 B , 不透明度 α の関係式を x, y 方向に関して偏微分することで, それらの勾配に関する関係式を求める。

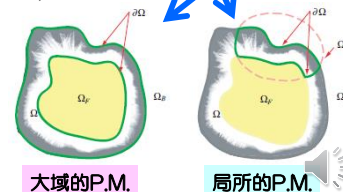
$$C = \alpha F + (1 - \alpha) B \quad \nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

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

$$\nabla \alpha = A (\nabla C - D)$$

$$\begin{cases} A = \frac{1}{F - B} \\ D = \alpha \nabla F + (1 - \alpha) \nabla B \end{cases}$$

- 大域的ポアソンマッピング
- 局所的ポアソンマッピング



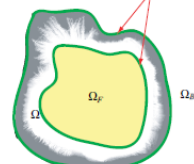
ポアソンマッピング

- 大域的ポアソンマッピング(Global Poission matting)
前景色 F と背景色 B が滑らか (勾配が小さい) と仮定し、
勾配の関係を簡略化する。

$$\nabla \alpha = A(\nabla C - D) \rightarrow \nabla \alpha \approx A \nabla C$$

$$\begin{cases} A = \frac{1}{F - B} \end{cases}$$

$$\begin{cases} D = \alpha \nabla F + (1 - \alpha) \nabla B \rightarrow \approx 0 \text{ とみなす} \end{cases}$$



$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \iint_{p \in \Omega} \|\nabla \alpha_p - A_p \nabla C_p\|^2 dp$$

$$\alpha_p|_{\partial \Omega} = \begin{cases} 1 & p \in \Omega_F \\ 0 & p \in \Omega_B \end{cases} : \text{境界条件}$$

$$\Delta \alpha = \text{div}(A \nabla C)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

ポアソン方程式

解く！

ポアソンマッピング

- 大域的ポアソンマッピング

- 未知領域 Ω 内の未知ピクセル p に対し、前景領域 Ω_F 内と背景領域 Ω_B 内のそれぞれ最も近いピクセルの F と B を与え、 $(F - B)$ をガウシアンフィルタで平滑化。
- 現在の $(F - B)$ と ∇C でポアソン方程式を解き、 α を得る。
- $\alpha_p > 0.95, C_p \approx F_p$ あるいは $\alpha_p < 0.05, C_p \approx B_p$ となった未知ピクセルを前景ピクセルと背景ピクセルとみなし、1. へ。

以上を各値が収束するまで繰り返す。

$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \iint_{p \in \Omega} \|\nabla \alpha_p - A_p \nabla C_p\|^2 dp$$

$$1/(F_p - B_p)$$

$$\alpha_p|_{\partial \Omega} = \begin{cases} 1 & p \in \Omega_F \\ 0 & p \in \Omega_B \end{cases} : \text{境界条件}$$

$$\Delta \alpha = \text{div}(A \nabla C)$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

ポアソン方程式

解く！

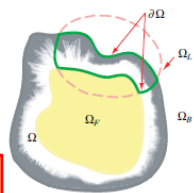
ポアソンマッピング

- 局所的ポアソンマッピング(Local Poission matting)
勾配の関係を簡略化しない。

$$\nabla \alpha = A(\nabla C - D)$$

$$\begin{cases} A = \frac{1}{F - B} \end{cases}$$

$$\begin{cases} D = \alpha \nabla F + (1 - \alpha) \nabla B \end{cases}$$



$$\alpha^* = \arg \min_{\alpha} \iint_{p \in \Omega_F \cup \Omega} \|\nabla \alpha_p - A_p (\nabla C_p - D_p)\|^2 dp$$

$$\alpha_p|_{\partial \Omega} = \begin{cases} 1 & p \in \Omega_F \\ 0 & p \in \Omega_B : \text{境界条件} \\ \alpha_g (\text{現在の値}) & p \in \Omega \end{cases}$$

ポアソン方程式として解く！

ポアソンマッピング

- 局所的ポアソンマッピング(Local Poission matting)

ユーザがインタラクティブに A と D を変更する。

- チャンネル選択(Channel selection)

- 局所的フィルタ(Local Filtering) : ブースティングブラシ (Boosting brush), ハイパスフィルタ(Highpass filtering), 拡散フィルタ(Diffusion filtering), クローンブラシ(Clone brush)



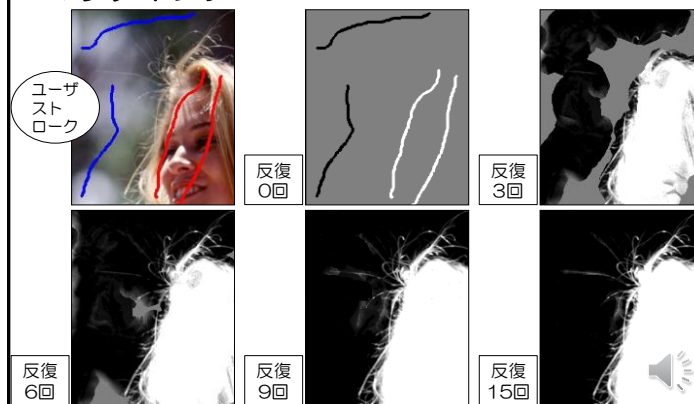
反復的最適化によるセグメンテーションとマッピング

“An Iterative Optimization Approach for Unified Image Segmentation and Matting”, ICCV 2005

- トリマップを用いず、ユーザが**前景**と**背景**のピクセルに与えた**ストローク**を制約として用い、画像全体の**前景背景セグメンテーション**と**マッピング**を同時に行う。
- ストロークから周囲の未知ピクセルに向けて、**反復的**に不透明度 α 、前景色F、背景色Bを推定する。
- 反復により、各未知ピクセルで推定された α 、F、Bによって定義される**不正確度 (uncertainty)**の合計を最小化する。
- 各反復で、未知ピクセルの周囲の既知・推定済みピクセルを**サンプリング**することで、不正確度を用いた評価関数を定義し、**確率伝搬法 (Belief Propagation)**で**最適化**する。

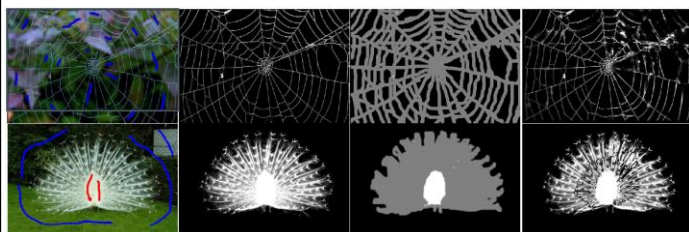
反復的最適化によるセグメンテーションとマッピング

“An Iterative Optimization Approach for Unified Image Segmentation and Matting”, ICCV 2005



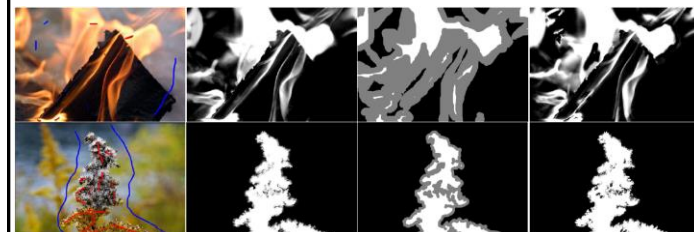
反復的最適化によるセグメンテーションとマッピング

“An Iterative Optimization Approach for Unified Image Segmentation and Matting”, ICCV 2005



反復的最適化によるセグメンテーションとマッピング

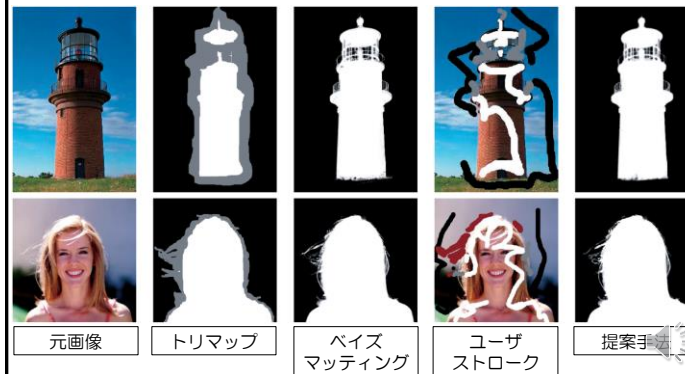
“An Iterative Optimization Approach for Unified Image Segmentation and Matting”, ICCV 2005



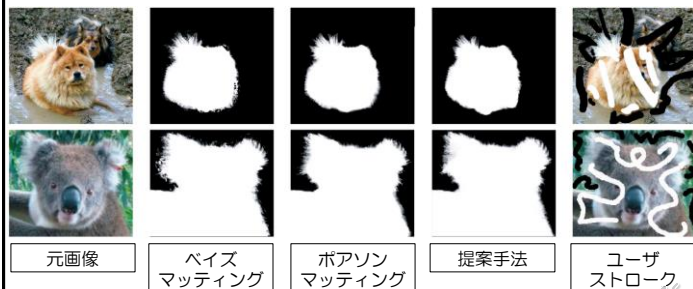
マッティング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008

- 「局所的には、各ピクセルの前景色 F と背景色 B はほぼ一定で、画素色 $C = \alpha F + (1 - \alpha)B$ は不透明度 α に依存する」と仮定。
- ユーザによる前景と背景のストロークを用いる。
- マッティング・ラプラシアン (matting Laplacian) と呼ぶ行列を用いて、ストロークを制約として、全ての未知ピクセルの不透明度 α に関する線形方程式を定義して解く。
- 得られた α 値から、 F 値と B 値に関する線形方程式を定義して解く。
- この提案以降、他の様々な手法で、得られた α マットを平滑化するための後処理に使われることが多い。

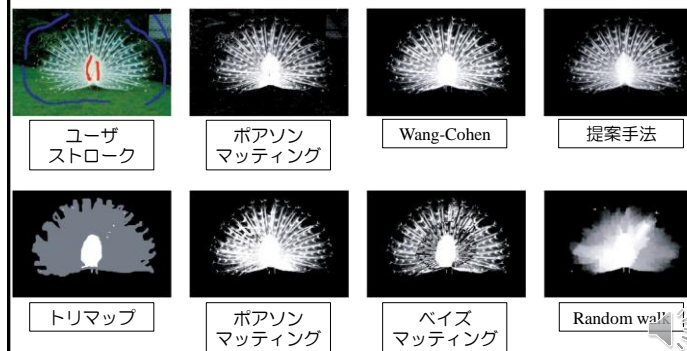
マッティング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008



マッティング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008



マッティング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008



マッピング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008

ユーザ ストローク ポアソン マッピング Wang-Cohen 提案手法

トリマップ ポアソン マッピング ベイズ マッピング Random walk

マッピング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008

ユーザ ストローク 推定された α マット

推定された前景色F 推定された背景色B 他の背景への合成

マッピング・ラプラシアンによる方法 “A Closed Form Solution to Natural Image Matting”, CVPR 2006, Trans on PAMI 2008

■ 影と煙への適用

元画像 ユーザ ストローク 推定された α マット 他の背景への合成

効率的なサンプリングによる方法 “Shared Sampling for Real-Time Alpha Matting”, Eurographics 2010

- 「近隣ピクセルは類似する不透明度 α 、前景色F、背景色Bを持つ傾向がある」という考えに基づく。
- トリマップ中の未知領域の各ピクセルについて、周辺の前景・背景ピクセルを効率的にサンプリングすることで、最適な前景色Fと背景色Bのペアを求める。
- そのサンプリング結果から、不透明度 α を計算する。
- 高速なリアルタイム処理を実現する。
- マッピング・ラプラシアンによる後処理によって、得られた α マットの品質を向上させる。

効率的なサンプリングによる方法
 “Shared Sampling for Real-Time Alpha Matting”,
Eurographics 2010



左：元画像（800×563ピクセル）
 右：提案手法（未知領域が40%のトリマップに対して0.043秒）

効率的なサンプリングによる方法
 “Shared Sampling for Real-Time Alpha Matting”,
Eurographics 2010

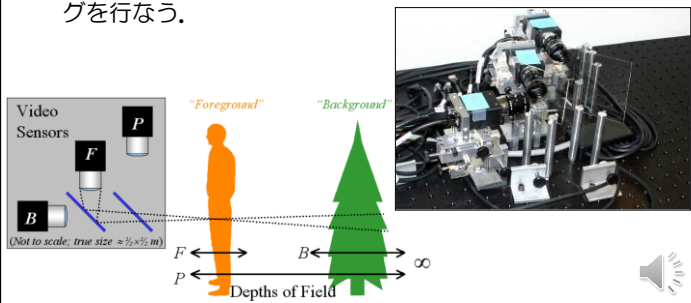


左：元画像
 中：提案手法
 右：Ground truth

フォーカスの異なる3台のカメラを利用した
 ビデオマッピング
 “Defocus Video Matting”, *SIGGRAPH 2005*



- 前景物体、背景物体、ならびに、すべての物体にフォーカスを合わせた3台のカメラを利用して、ビデオマッピングを行なう。



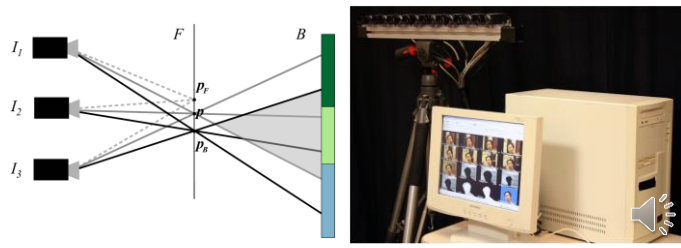
フォーカスの異なる3台のカメラを利用したビデオマッピング
 “Defocus Video Matting”, *SIGGRAPH 2005*



カメラアレイを利用したビデオマッピング

“Natural Video Matting using Camera Arrays”,
SIGGRAPH 2006

- カメラアレイを利用して、トリマップの手動作成を必要としない、自動的なビデオマッピングを行う。
- 効率的なトリマップの自動生成により、リアルタイム処理を実現している。



カメラアレイを利用したビデオマッピング

“Natural Video Matting using Camera Arrays”, SIGGRAPH 2006

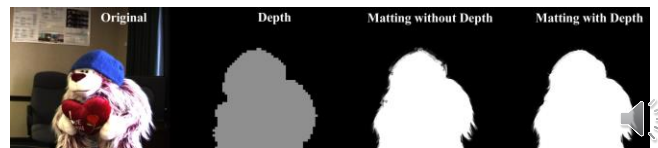


デプスカメラを利用したビデオマッピング

“Automatic Natural Video Matting with Depth”,
Pacific Graphics 2007

“Natural Video Matting with Depth”
“Video Matting from Depth Maps”

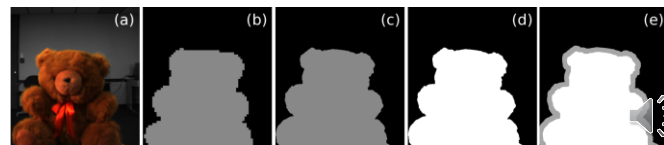
- デプスカメラで獲得したデプス画像を利用する。
- デプス画像を用いてトリマップを自動生成する。
- 既存の α マッピング法にデプス情報を導入し、生成される α マット画像の品質を高める。



デプスカメラを利用したビデオマッピング

- デプス画像を用いたトリマップの自動生成

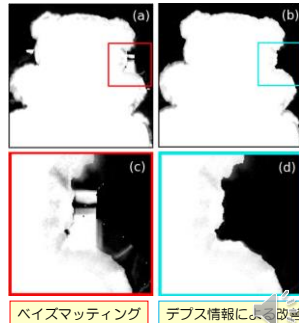
- **Upsampling**: 低解像度のデプス画像をカラー画像に合わせて高解像度化する。
- **Thresholding**: ユーザが与えたデプス値で前景と背景のピクセル領域を区別する。
- **Dilating**: 前景と背景の境界部分でユーザが与えたピクセル幅だけ **erosion** (掻き取り) と **dilation** (ずらし重ね) を行ない、変化のあったピクセルを未知領域とする。



デプスカメラを利用したビデオマッピング

■ 既存の α マッピング法へのデプス情報の導入

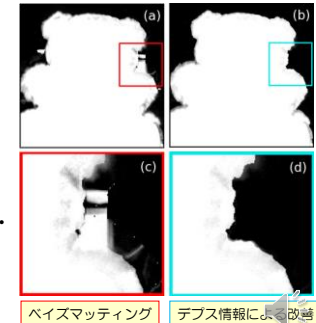
- 既存の α マッピング法では色情報のみを利用するため、前景と背景が類似した色を持つ場合には、うまくいかない。
- **デプス情報を導入**することで、生成される α マット画像の品質を高める。
- **ベイズマッピングとポアソンマッピング**について、デプス情報を利用した改善法を提案している。



デプスカメラを利用したビデオマッピング

■ ベイズマッピングの改善

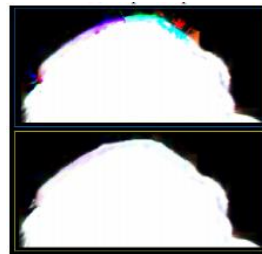
- 各ピクセルが持つRGB値に加えてデプス値を与え、4要素を持つものとしてベイズマッピングを行なう。
- デプス値に対して α 値に依存した重み（信頼度）を与える。 α が0(背景)と1(前景)に近いほど重みを大きくする。



デプスカメラを利用したビデオマッピング

■ ポアソンマッピングの改善

- RGBの3色のそれぞれから、ポアソンマッピングで α 値を求め、それらのバラツキから信頼度 F を算出する。
- ポアソンマッピングで求めた α 値と2値化したデプス値 D を信頼度 F で重み付き平均化し、補正した α 値を得る。

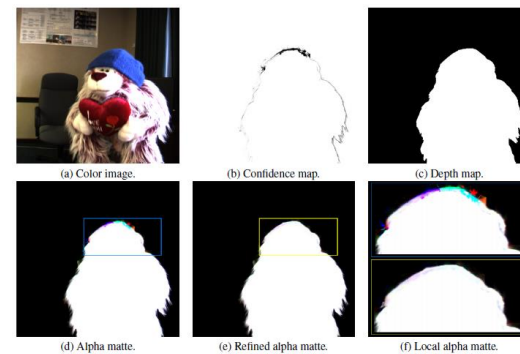


(f) Local alpha matte.

$$\alpha' = F\alpha + (1-F)D$$

デプスカメラを利用したビデオマッピング

■ ポアソンマッピングの改善



(d) Alpha matte.

(e) Refined alpha matte.

(f) Local alpha matte.

デプスカメラを利用したビデオマッピング
"Automatic Natural Video Matting with Depth", *Pacific Graphics 2007*

Natural Video Matting With Depth

Oliver Wang, Jonathan Finger
Qingxiong Yang, James Davis
Ruigang Yang

