

## 着色済み参照フレームを用いるアニメ線画の自動着色手法の提案

陸儀<sup>†</sup> 中島克人<sup>†</sup>東京電機大学未来科学部情報メディア学科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

世界のカートゥーンアニメーション市場規模は急速に発達している．ただし制作タイトル数の増加で，人手不足の問題が発生している．そこでアニメーション作成において最も手間を要する着色の省力化・自動化が求められている．現状では単フレームの自動着色に技術進歩が見られるが，これを単純にアニメーション着色に適用すると複数フレーム間で同じ物体に対し異なる色が塗られるという問題が生じる．

我々は複数フレーム間で同一領域を追跡することで，着色の一貫性を保ちながら自動着色する手法を提案する．

## 2 関連研究

イラスト向け自動着色手法[1-3]は陰影やコントラストを考慮した自然な着色を実現した．しかし塗り潰し色を自由に指定できないため，特定のアニメキャラクターに対する一貫した着色には適さない．実写の自動着色手法[4]は参照フレームを人手着色し，それ以降のフレームに参照フレームの色を伝播させることができるが，輪郭線に囲まれたグラデーションの無い領域が中心のアニメ線画の着色には不向きである．キャラクターごとに学習することでアニメの自動着色を行う手法[5]は，膨大な衣装とキャラクターの組み合わせを全て学習する必要があり，多数のキャラクターが登場する商業アニメの自動着色への適用は困難である．

本研究では参照フレームを用い，かつグラデーションが使われないアニメ線画に対して適用できる手法を提案する．

## 3 提案手法

提案する自動着色の処理フローを図1に示す．提案手法は最初に参照フレームと後続の着色対象フレームに対してラベリング処理を行う．次に領域同士で特徴ベクトルに基づく対応付けを行う．最後に着色対象の領域を参照フレームから抽出した色を用いて塗り潰す．

着色された参照フレームの各領域と後続の着色対象フレームの各領域の対応を正確に求める事が本手法のポイントとなる．

## 3.1 領域特徴記述

Automatic Colorization of Cartoon Animations with Colored Reference Frames

<sup>†</sup>Yi Lu · Tokyo Denki University

<sup>†</sup>Katsuto Nakajima · Tokyo Denki University

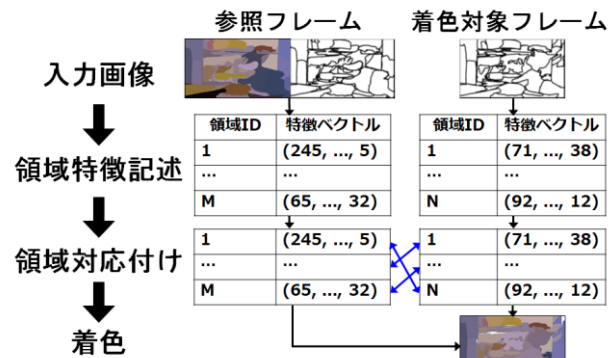


図1 自動着色の処理フロー

領域特徴記述では，領域の面積や形状を定量的な特徴量として記述し特徴ベクトルとする．本研究では高精度な領域対応付けを実現するために，輪郭線情報しか持たない線画の領域を十分に記述するための特徴量をベイズ最適化[6]により求めた．

## 3.2 領域対応付け

領域対応付けでは，領域の特徴ベクトル同士の類似度を求め，最も類似度の高い領域同士を対応付ける．類似度にはベクトルの差のL2ノルムを用いることとする．また領域を対応させる際に次の2つの制約条件を付与する．

- (1) 領域の重心同士の距離は閾値  $max\_radius$  未満とする（フレーム間で領域の移動距離は小さいと仮定する）
- (2) 領域は1対1に対応させる（単純な最近傍探索ではペアリングができない場合がある）

## 3.3 着色

参照フレームの各領域の色を用いて後続フレームの線画内の対応する領域を塗り潰す．

## 3.4 ベイズ最適化に基づく特徴量の設計

本研究ではベイズ最適化を用いて領域特徴を設計する．最初に基本特徴量  $\mathbf{B} = (\beta_1(x), \beta_2(x), \dots, \beta_n(x))$  を用意する． $x$ は2値の線画， $\beta_i(x)$ は $-\infty < \beta_i(x) < +\infty$ となるように標準化する． $\mathbf{B}$ の各要素に対応する重み値を  $\mathbf{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  とする ( $0.0 < \alpha_i < 1.0$ )．特徴ベクトルは  $\mathbf{V} = (\alpha_1\beta_1(x), \alpha_2\beta_2(x), \dots, \alpha_n\beta_n(x))$  とする．評価関数  $s$  はSSIM (structural similarity) [7]とする．自動着色システムを  $f$  とし，訓練画像集合を  $\mathbf{X}$ ，対応する正解着色画像集合を  $\mathbf{Y}$  とする．このとき  $\mathbf{B}$ ， $\mathbf{X}$ ， $\mathbf{Y}$  を固定して  $s(f(\mathbf{A}, \mathbf{B}, max\_radius, \mathbf{X}), \mathbf{Y})$  を最大化する  $\mathbf{A}$  および  $max\_radius$  をベイズ最適化で探索する．重み値  $\mathbf{A}$  と基本特徴量  $\mathbf{B}$  の対応表を表1に示す．

表 1 重み値 A と基本特徴量 B の対応表

重み値 A	基本特徴量 B
$\alpha_1 \sim \alpha_{24}$	3 次モーメント
$\alpha_{25} \sim \alpha_{31}$	Hu モーメント
$\alpha_{32}, \alpha_{33}$	回転なし最小外接矩形の幅, 高さ
$\alpha_{34} \sim \alpha_{36}$	回転あり最小外接矩形の幅, 高さ, 角度
$\alpha_{37}, \alpha_{38}$	最小外接円の半径, 面積
$\alpha_{39}, \alpha_{40}$	周囲長, 円形度

## 4 自動着色の実験

### 4.1 データセット

本稿では著作権保護期間が満了済の映像作品である The Midnight Snack (Tom and Jerry シリーズ) [8]の数シーンを用いた. 参照に用いるフレームを領域分割し, 領域輪郭を黒, 輪郭内を白とした 2 値化画像を線画の参照フレームに, そして, 提案手法はグラデーションを再現できないため, 各領域を元映像の平均色でベタ塗りしたフレームを着色済み参照フレームとした.

参照フレーム (線画+着色画像) と着色対象フレーム (線画+着色画像) の 4 枚を 1 グループとし, 訓練セットに 10 グループ, テストセットに 10 グループのデータを用意した. 参照フレームと着色対象フレームの間は 20~40 フレームの間隔をランダムに設定した.

### 4.2 領域特徴記述の比較対象

提案手法との比較対象として, 特徴点を中心とした円形の局所領域を記述する AKAZE[9]を用いた. 本稿では, 線画の各領域の重心を特徴点と定め, 当該領域外の画素値を 0 にした上で, 当該領域の最小外接円内の特徴ベクトルを求める. なお, AKAZE のパラメータにもベイズ最適化を施した.

### 4.3 実験方法と結果

訓練セット 10 グループのデータを用いて A および  $max\_radius$  のベイズ最適化を行った. パラメータによっては着色時間が指数関数的に増加するため, 1 枚あたりの処理時間に 60 秒の制約を設けた. 得られた特徴量を用いてテストセットの線画 10 枚を自動着色し平均 SSIM を求めた.

入力画像および正解画像の例を図 2 に, 図 2 の着色結果を図 3 に示す. 未対応領域は白で示している. また, 正解からの乖離の SSIM および 1 枚あたりの平均着色時間 (秒) を表 2 に示す. 表 2 より, 提案手法は AKAZE を上回った. 提案手法の平均着色時間 6.50 秒により 24 fps の 20 分間のアニメ着色が約 52 時間で完了することになる.

## 5 まとめと今後の課題

参照フレームの線画とカラー画像を元に, 後続フレームに一貫性のある着色を行うための領域の対応付けとそのための領域特徴量記述法を提案し,

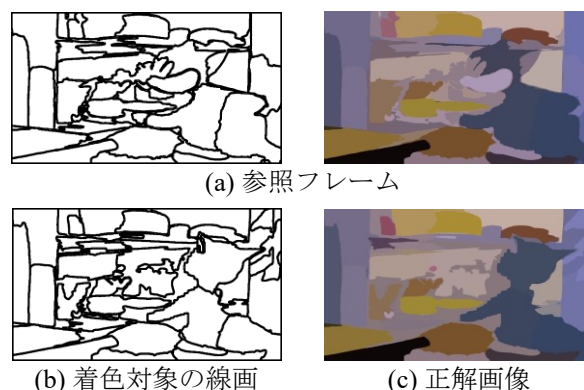


図 2 入力画像と正解画像の例

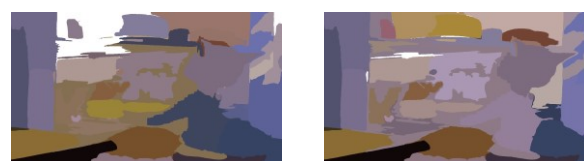


図 3 図 2 の着色結果

表 2 SSIM および平均着色時間

手法	SSIM	平均着色時間
AKAZE	0.876	7.77 秒
提案手法	0.896	6.50 秒

評価した. 今後は得られたパラメータが他のアニメやシーンにも有効か検証すると共に, グラデーションへの対応方法の検討を行っていく.

## 参考文献

- [1] Y. TaiZan (Preferred Networks), "PaintsChainer", 2016. <https://paintschainer.preferred.tech/>
- [2] D. Sykora, et al., "LazyBrush: Flexible Paintin Tool for Hand-drawn Cartoons," Computer Graphics Forum, vol.28, no.2, 2009.
- [3] L. Zhang, et al., "Two-stage Sketch Colorization," ACM Trans. Graph, vol.37, no.6, 2018.
- [4] A. P. Ramos and F. C. Flores, "Colorization of Grayscale Image Sequences using Texture Descriptors," in VISAPP, 2019.
- [5] S. Ramassamy, et al., "Pre- and post-processes for automatic colorization using a fully convolutional network," in SIGGRAPH Asia, 2019.
- [6] J. Mockus, "Bayesian Approach to Global Optimization," Springer Netherlands, 1989.
- [7] Z. Wang, et al., "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," IEEE Transactions on Image Processing, vol.13, no.4, 2004.
- [8] W. Hanna and J. Barbera, "The Midnight Snack (Tom and Jerry Theatrical Cartoon Series)," Metro-Goldwyn-Mayer, 1989.
- [9] P. F. Alcantarilla and T. Solutions, "Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces," in BMVC, 2013.