

対応関係がない線が存在する手描き原画間の 線の対応付けに関する研究

岡田大樹 齋藤豪
東京工業大学 情報理工学院

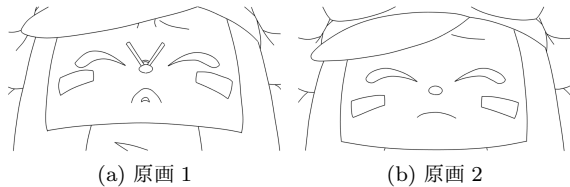


図 1: 入力原画の例 (TV アニメ のりものまん [3] をキャプチャトレースした線画)

1 はじめに

手描き原画間の自動中割りには線の対応関係の情報が必要であり、精度の高い自動的な線の対応付けが求められる。原画間に対応関係がない線が含まれる場合、誤った対応付けが増える。我々は原画間の線の自動対応付けにおいて、仮想的な線を導入することで対応関係がないと考えられる線に対応付け結果から除外する手法を提案した [1]。この手法では仮想的な線は全ての線に対して等しい類似距離であるため、対応関係がない線を積極的に除外することが難しい。

本稿では対応関係がない線をより積極的に除外するために、仮想的な線に対応関係がないと考えられる線の近くに配置し線の対応付けを行う手法を提案する。

2 提案手法

入力された 2 つの原画 (図 1) の線の類似距離を重みとする組み合わせ最適化問題を解くことで線の対応付けを行う。入力された 2 つの原画 $I^k (k \in \{1, 2\})$ は線 $S_i^k (1 \leq i \leq |I^k|)$ の集合である。また、曲線 S_i^k は共通の 3 次元空間上に投影された N 点の 3 次元点列 $s_{i,n}^k \in \mathbb{R}^3 (1 \leq n \leq N)$ である [2]。

藤田らの手法 [2] で用いられた Leordeanu らの手法 [4] に基づく重み行列 W_p と微分 Dynamic Time Warping [5] から計算される重み行列 W_s から成る重み行列に、Dynamic Time Warping から計算される重み行列 W_d を加えた組み合わせ最適化計算の行列 W を式 (1) で定義する。ただし、 λ_d, λ_s は定数である。 $W_{S_i^1, S_j^2}$ は線 S_i^1 と線 S_j^2 の類似距離を意味する (図 2(a))。

Line matching between hand-drawn keyframes including no-correspondence lines

Daiki Okada

Suguru Saito

School of Computing, Tokyo Institute of Technology

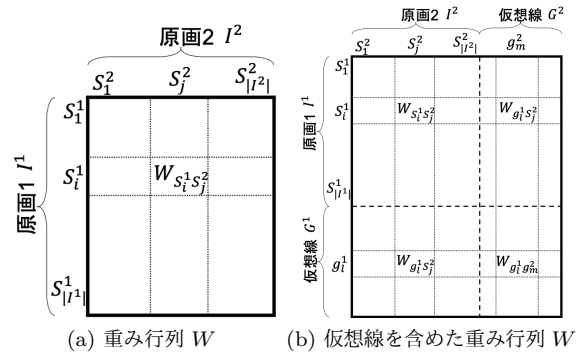


図 2: 組み合わせ最適化計算の重み行列

$$W = -W_p + \lambda_s W_s + \lambda_d W_d \quad (1)$$

従来法 [1] と同様、対応関係がない線を組み合わせ最適化を解く段階で除外するために仮想線を導入する。仮想線は重み行列 W に仮想線の数だけ行と列を追加することで実現される (図 2(b))。組み合わせ最適化の結果、仮想線と対応付けられた線ほどの線とも対応関係がないと見なす。

従来法では仮想線は全ての線に対して等しい類似距離であるため、対応関係がない線を積極的に除外することは難しい。本稿では仮想線に対応関係がないと考えられる線の近くに配置し、そのような線と仮想線の類似距離を小さくする。

2.1 仮想線の配置

2 つの線画間で、対応関係がない線の周囲では描画対象の変形や一方にのみ描かれる線の影響で線の密度が異なるという特徴がある。そこで、線の密度が異なる部分に仮想線を配置する。

全ての線の重心を仮想線の候補の集合 G とする (式 (2))。原画 I^k において、仮想線の候補 $g_l \in G$ の周囲での線の密度を距離の閾値 μ を用いて式 (3) で計算する (図 3)。仮想線の候補と線の距離は式 (4) を用いる。

$$G = \{g_l | g_l = \text{center}(S_i^k), S_i^k \in I^k, k = 1, 2\} \quad (2)$$

$$\text{density}(g_l, I^k) = |\{S_i^k | S_i^k \in I^k, \text{dist}(g_l, S_i^k) < \mu\}| \quad (3)$$

$$\text{dist}(g_l, S_i^k) = \frac{1}{N} \sum_{1 \leq n \leq N} |g_l - s_{i,n}^k|_2 \quad (4)$$

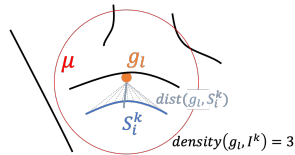


図 3: 仮想線候補の周囲での線の密度

仮想線の候補 $g_l \in G$ の周囲での原画間の線の密度の差を式 (5) で計算し、閾値 ν を用いて、 $\text{diff}(g_l) \geq \nu$ ならば g_l を原画 2 の仮想線の集合 G^2 に加え、 $\text{diff}(g_l) \leq -\nu$ ならば g_l を原画 1 の仮想線の集合 G^1 に加える。

$$\text{diff}(g_l) = \text{density}(g_l, I^1) - \text{density}(g_l, I^2) \quad (5)$$

2.2 仮想線と線の類似距離

従来法 [1] と同様に重み行列 W に仮想線の行と列を追加する (図 2(b))。仮想線 $g_l^k \in G^k (k = 1, 2)$ と線 S_i^k の類似距離は係数 δ を用いて式 (6) で計算され、仮想線 $g_l^1 \in G^1$ と仮想線 $g_m^2 \in G^2$ の類似距離は係数 δ' を用いて式 (7) で計算される。ただし、 $k = 1$ ならば $\bar{k} = 2$ 、 $k = 2$ ならば $\bar{k} = 1$ である。

$$W_{g_l^k, S_i^{\bar{k}}} = \delta \text{dist}(g_l^k, S_i^{\bar{k}}) \quad (6)$$

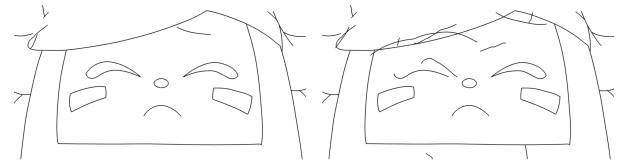
$$W_{g_l^1, g_m^2} = \delta' |g_l^1 - g_m^2|_2 \quad (7)$$

3 評価

図 4 は図 1 に対して提案法と従来法で線の対応付けを行い、その結果を用いて生成した中割り画像である。誤った対応付け結果は不自然な中割りを生成する。図 1 では原画 1 の鼻部分の模様や原画 2 の頭部分など、一方の原画でのみ描かれている線が多く存在する。従来法ではそのような線の影響で誤った対応付けが多く不自然な中割りだが、提案法では多くの線を正しく対応付けており自然な中割りである。

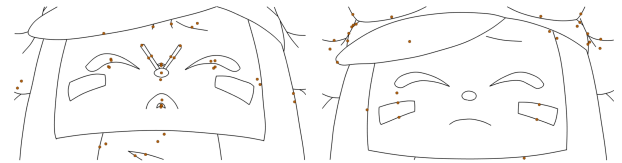
図 5 は図 1 に提案法を適用した場合の仮想線を可視化したもので、仮想線が点で描かれている。一方の原画でのみ描かれている対応関係がない線の周囲に仮想線が集中している。対応関係がない線の数より多くの仮想線があるが、図 4(a) を見ると対応関係がある線の多くが対応付けられていることから、組み合わせ最適化で不要な仮想線は仮想線と対応付けられることがわかる。

アニメーション制作会社から提供された原画をトレースした線画、原画集からトレースした線画、計 23 原画間に提案法と従来法 [1] を適用し対応付けの精度比較を行う。各定数の値は、 $\lambda_s = 0.3667$, $\lambda_s = 0.3037$, $\mu = 0.4$, $\nu = 2$, $\delta = 0.1$, $\delta' = 0.3$ とした。提案法と従来法による対応付け結果の再現率、適合率、F 値の平均を表 1 に示す。提案法が再現率、適合率、F 値全てで従来法を上回った。



(a) 提案法 (b) 従来法

図 4: 対応付け結果を用いて補間した線画



(a) I^1 と G^2 (b) I^2 と G^1

図 5: 提案法による仮想線の配置

表 1: 精度比較

	提案法	従来法 [1]
再現率	0.7549	0.7219
適合率	0.7318	0.6788
F 値	0.7425	0.6986

4 まとめ

本稿では原画間の線の対応付けにおいて対応関係がない線を積極的除外するために、原画間の線の密度の差に基づいて仮想線の位置を決定し、組み合わせ最適化で線の対応付けを行う手法を提案した。実験によって平均して従来法以上の対応付けの精度であることを示した。

図 5 のように提案法では対応関係がある線の周囲にも仮想線が配置される。図 5 の例ではこれらは対応付けに悪影響を与えないが、対応付け精度が下がる原画間もあった。より適切な線の密度、密度の差の計算でこのような仮想線を減らすことが今後の課題である。

参考文献

- [1] 岡田大樹, 阮念武, 齋藤豪. 手描き原画間の線の対応関係決定手法の改良と評価. *Visual Computing* 2020 発表番号 29, 2020.
- [2] 藤田正樹, 齋藤豪. 立体キャンバスを用いた双対制約を考慮するキーフレーム間曲線の対応関係決定手法. *情報処理学会第 81 回全国大会 6ZC-02* 2pages, 2019.
- [3] のりものまんプロジェクト. *TV アニメーション のりものまん*. 2020.
- [4] Marius Leordeanu and Martial Hebert. A spectral technique for correspondence problems using pairwise constraints. *IEEE ICCV 2005*, Vol. 2, pp. 1482–1489, 2005.
- [5] Alon Efrat, et al. Curve matching, time warping, and light fields: New algorithms for computing similarity between curves. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol. 27, No. 3, pp. 203–216, 2007.