

対応関係がない線を含む手描き原画間の 仮想的な線を用いた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

1 はじめに



図 1: 入力原画例

手描きアニメーションの原画間の自動中割りを行うには一方の原画の線が動いた結果、他方の原画のどの線へ到達するか、という線の対応付けの精度が重要である。原画間に対応関係がない線が含まれる場合、従来法では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自動的に除外する手法を提案した [1]。この手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、仮想線の存在度合いを予測し、その度合いを基に仮想線と実際に描かれている線の類似距離を決定し、組み合わせ最適化によって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。図 1(a),1(b) で例を示すように入力された原画 1,2 にはそれぞれ n_1, n_2 本の線が含まれており、原画 $k(=1,2)$ は線 $S_i^k(1 \leq i \leq n_k)$ の集合である。これらは図 1(c) のように藤田らの手法 [2] によって共通座標系へ変換投影されたものである。また、線 S_i^k は任意の点数 N_i^k で再サンプリング可能であり、本手法では 3 次元点列 $s_{i,p}^k(1 \leq p \leq N_i^k)$ として扱う。

従来法 [1] と同様に、組み合わせ最適化問題を最小費用流問題として解く [3] 際の 2 部グラフのエッジの重みを表す行列に仮想線の数だけ行と列を追加するこ

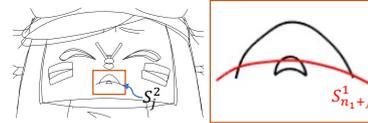


図 3: 仮想線は他方の原画の線と同じ位置・形

左図は共通の空間上に投影された原画 1 と原画 2
右図は原画 1 の一部分、赤線は原画 1 にあると想定する仮想線
とで仮想線を導入する (図 2)。本手法では原画 1 の仮想線
の数は n_2 、原画 2 の仮想線の数 n_1 とする。重
み行列の i 行 j 列要素 $W_{i,j}$ は原画 1 の線 S_i^1 と原画 2
の線 S_j^2 の類似距離である。図 2 は重み行列を模式的
に表す図であり、図 2 の赤部分は原画 1,2 の実際の線
と線の類似距離であり、従来法 [1] と同様に藤田らの
手法 [2] で用いられた Leordeanu らの手法 [4] に基づ
く重み、Dynamic Time Warping(DTW)、微分 DTW
から決定される。青部分は実際の線と仮想線の類似距
離、緑部分は仮想線と仮想線の類似距離を表し、次節
以降で説明する方法によって決定される。組み合わせ
最適化の結果、仮想線と対応付けられた線は対応関係
がない線と見なし、対応付け結果から除外することで
実際の線同士の対応付け結果を得る。

2.1 仮想線の存在度合い予測

入力された原画から計算できる情報を用いて仮想線の存在度合いをサポートベクタ帰帰 (SVR) によって予測する。対応関係がない線の周辺ではどちらか一方にのみ描かれる線の影響により、周辺の線の配置が異なるという特徴がある。そこで、本手法ではある線の周辺の線との位置関係を表すような特徴を用いて仮想線の存在度合いを予測する。本手法では、一方の原画 \tilde{k} の実際の線 $S_{i-n_k}^{\tilde{k}}, (i > n_k)$ と同じ位置、同じ形の仮想線 $S_i^{\tilde{k}}$ を他方の原画 k に配置する (図 3)。実際の線 $S_{i-n_k}^{\tilde{k}}, (i > n_k)$ に対応関係がある場合は仮想線 $S_i^{\tilde{k}}$ に対する予測目標値を 0、対応関係がない場合は 1 とする。図 4 は特徴を計算する際に用いる関数値をヒートマップとして図示した例である。線の座標上におけるこれらの関数値の平均値などを特徴とし、SVR には 21 個の特徴を入力する。図 4 の特徴はその一例であり、式 (2),(3) で計算される。これら入力特徴は事前に検討した特徴の中で、予測目標値との相関係数の絶対値が 0.4 以上であったものである。仮想線 $S_i^{\tilde{k}}$ の存在度合いは $svr(F_1(S_{i-n_k}^{\tilde{k}}), \dots, F_{21}(S_{i-n_k}^{\tilde{k}}))$ で計算される。
 $D_i(s_{i,p}^k) = \{|s_{i,p}^k - s_{j,q}^l|_2 | 1 \leq j \leq n_l, 1 \leq q \leq N_j^l \text{ の内、小さい順に 30 要素} \}$ (1)

Line matching method with dummy lines between hand-drawn keyframes including non-corresponding lines

Daiki Okada

Suguru Saito

School of Computing, Tokyo Institute of Technology

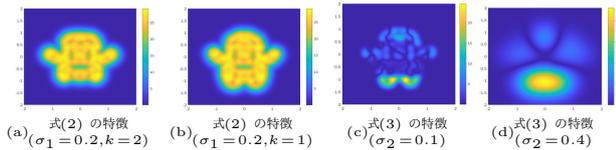


図 4: 図 1 の場合の入力特徴の例

$$F_1(S_i^k) = \frac{1}{N_i^k} \sum_{p=1}^{N_i^k} \sum_{d \in D_k^i(s_i^k, p)} e^{-\frac{d^2}{2\sigma_1^2}} \quad (2)$$

(k は $k=1$ のとき $2, k=2$ のとき 1)

$$F_2(S_i^k) = \frac{1}{N_i^k} \sum_{p=1}^{N_i^k} \left| \sum_{j=1}^{n_1} \sum_{q=1}^{N_j^1} e^{-\frac{|s_{i,p}^k - s_{j,q}^1|^2}{2\sigma_2^2}} - \sum_{j=1}^{n_2} \sum_{q=1}^{N_j^2} e^{-\frac{|s_{i,p}^k - s_{j,q}^2|^2}{2\sigma_2^2}} \right| \quad (3)$$

2.2 仮想線と線の類似距離

仮想線 S_i^k , ($i > n_k$) の SVR による存在度合い予測結果 $y_i^k = \text{SVR}(F_1(S_{i-n_k}^k), \dots, F_{21}(S_{i-n_k}^k))$ を用いて仮想線との類似距離 $W_{i,j}$ を式 (4) により定義する。 $\delta, \delta', \lambda, \sigma$ は定数、 $w_g(\cdot)$ は従来法 [1] の仮想線の類似距離であり式 (5) で定義される。従来法では図 2 の青、緑部分の要素が全て等しい値であるが、提案法では青部分は要素ごとに値を変える。従来法の類似距離 $w_g(\cdot)$ を基本とし、仮想線が存在すると予測される場合は類似距離がより小さくなる。これにより、存在すると予測された仮想線は対応付けられやすくなる。また、仮想線からの距離が大きい線との類似距離を大きくするために SVR 出力値による類似距離減少項に $e^{-\frac{DTW(s_i, s_j)^2}{2\sigma^2}}$ を掛ける。

$$W_{i,j} = \begin{cases} w_g(\delta) - \lambda |w_g(\delta)| y_i^1 e^{-\frac{DTW(s_i^1, s_j^2)^2}{2\sigma^2}} & (i > n_1, j \leq n_2) \\ w_g(\delta) - \lambda |w_g(\delta)| y_j^2 e^{-\frac{DTW(s_i^1, s_j^2)^2}{2\sigma^2}} & (i \leq n_1, j > n_2) \\ w_g(\delta') & (i > n_1, j > n_2) \end{cases} \quad (4)$$

$$w_g(a) = a \left(\max_{1 \leq i \leq n_1, 1 \leq j \leq n_2} W_{i,j} - \min_{1 \leq i \leq n_1, 1 \leq j \leq n_2} W_{i,j} \right) + \min_{1 \leq i \leq n_1, 1 \leq j \leq n_2} W_{i,j} \quad (5)$$

3 評価

評価実験用のデータとして、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、従来法 [2, 5, 6, 7, 8] の中で使われている線画、計 41 原画間を用いる。

3.1 仮想線の存在度合い予測結果

10 分割交差による評価を行った。SVR による予測値の分布を図 5 に示す。対応関係がある線とない線はそれぞれ予測値 0, 1 が理想である。0 以下、1 以上の予測値はそれぞれ 0, 1 として扱っている。図 5 を見ると、誤予測はあるが、対応関係がある線とない線はそれぞれ 0, 1 付近に予測値が集中しており、平均と標準偏差からも分類できていることがわかる。

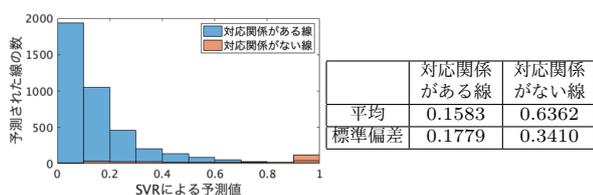


図 5: SVR による予測値の分布

3.2 線の対応付け精度評価

提案法と従来法による線の対応付け結果の F 値の平均を表 1 に示す。各定数の値は 10 分割交差により定めた。提案法の平均 F 値は表内全ての従来法を上回った。

表 1: 提案法と従来法比較

F 値	提案法	[1]	[2]	[5]	[6]	[7]	[8]
平均	0.9146	0.8892	0.8849	0.4692	0.4168	0.4513	0.8325

提案法と従来法 [1] による線の対応付け結果を図 6 に示す。誤った対応付けを赤い太線で描画している。図 6(f) を見ると、従来法では描画対象下部のフレーム外から内に入る線を誤って対応付けており、その結果、図 6(e) の左手の線の多くを誤って対応付けている。同様に、図 6(g) を見ると、従来法ではフレーム外に外れる線を含む描画対象下部の線を多く誤って対応付けている。図 6(a) から (d) を見ると、提案法ではそのような線の多くを正しく対応付けている。

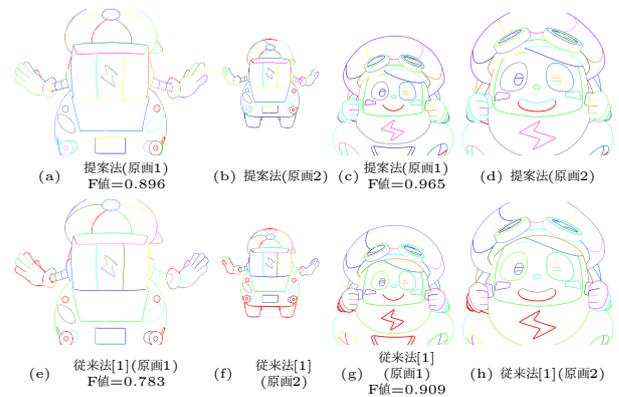


図 6: 対応付け結果

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に除外するために、仮想線の存在度合いの予測値から類似距離を定め、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精度であることを示した。

図 5 を見ると、全体として分類できているが、誤予測も存在する。これが常に誤った対応付けを生むわけではないが、従来法より対応付け精度が低い原画間もあるため、誤予測を減らすことは今後の課題である。

参考文献

- [1] 岡田大樹, 既念武, 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] Korte Bernhard and Vygen Jens. *組み合わせ最適化 第 2 版 理論とアルゴリズム*, 第 11 章, p. 300. 丸善出版株式会社, 第 3 版, 2013.
- [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] Whited Brian, et al. Betweenit : An interactive tool for tight inbetweening. *Proceedings of Eurographics, Computer Graphics Forum, Norrköping, Sweden, May 3-7, 2010*, Vol. 29, No. 2, pp. 605-614, 2010.
- [6] Wenwu. Yang. Context-aware computer aided inbetweening. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 2, pp. 1049-1062, Feb 2018.
- [7] Wenwu Yang, et al. Ftp-sc: Fuzzy topology preserving stroke correspondence. *Computer Graphics Forum*, Vol. 37, No. 8, pp. 125-135, 2018.
- [8] Leonardo Carvalho, et al. Dilight: Digital light table inbetweening for 2d animations using guidelines. *Computers & Graphics*, Vol. 65, pp. 31-44, 2017.