

一本対複数本の対応付けを許容する 原画線の自動対応付手法についての研究

森合遼 齋藤豪

東京工業大学 情報理工学院



図 1: 入力原画例

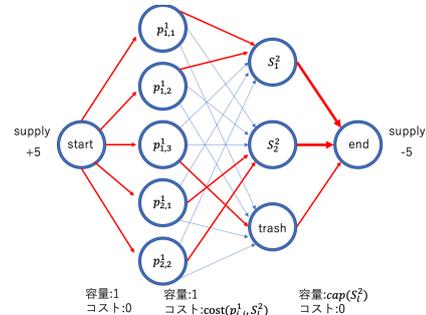


図 2: 最小費用流ネットワーク

1 はじめに

原画の補間である中割りの自動生成は、制作の負担軽減のための技術として期待できる。そのための原画線の自動対応付けの先行研究はあるが、それらは線の遮蔽や変形によって生じる一本対複数本の対応付けを許容しない。そこで本稿では、一本対複数本の対応付けを許容する自動対応付手法として、片方の原画のサンプリング点と、もう片方の原画の線の間の対応付けを行い、その結果を元に線対線の対応付けを推定する手法を提案する。

2 提案手法

2.1 点と線の対応付手法

図 1(a),1(b) で例を示すような、原画 1 と 2 を入力とする。これらは図 1(c) のように藤田らの手法 [2] によって共通の 3 次元空間上に投影される。以下原画 1,2 に含まれる線の本数をそれぞれ n_1, n_2 とする。この時、 $S_i^k (1 \leq i \leq n_k)$ は原画 $k (= 1, 2)$ の線を表す。また、点 $p_{i,j}^k (1 \leq i \leq n_k, 1 \leq j \leq \text{length}(S_i^k)/\sigma)$ は S_i^k 上のサンプリング点を表す。この時、 $\text{length}(S_i^k)$ は 3 次元空間上での線長であり、 σ は等間隔サンプリングに用いられるサンプリング間隔である。なお、以下 $\text{size}(S_i^k)$ を S_i^k のサンプリング点数、すなわち $\text{size}(S_i^k) = \text{floor}(\text{length}(S_i^k)/\sigma)$ と定義する。

ここで、原画 1 の点の集合 $\{p_{1,1}^1, p_{1,2}^1, \dots, p_{1,\text{size}(S_{n_1}^1)}^1\}$ と原画 2 の線の集合 $\{S_1^2, S_2^2, \dots, S_{n_2}^2\}$ の間の対応付けを推定する。点と線の対応付けは原画の形状や、トレー

スの仕方に関わらず正解が定まる。

点と線の対応付けは図 2 に示す最小費用流問題に帰着させて解く。図 2 は原画 1 に 5 個の点、原画 2 に 2 本の線がある場合の例である。ネットワークは start ノード、end ノード、原画 1 の点を表すノード、原画 2 の線を表すノードおよび trash ノードを持つ。trash ノードは、原画 2 の線に対応付けられる上限を原画 1 の点の総数が超える場合や、対応付け先が存在しない点が存在する場合、点の対応付け先となるノードである。

ネットワークには、 i, j, l は自然数として、start ノードから各 $p_{i,j}^1$ のノードに向けて容量が 1 でコストが 0 の辺、各 $p_{i,j}^1$ のノードから各 S_l^2 のノードに向けて容量が 1 でコストが $\text{cost}(p_{i,j}^1, S_l^2)$ の辺を張る。 cost 関数は点と線の間の疑似的な距離関数であり、式 (1) で表す。

$$\begin{aligned} \text{cost}(p_{i,j}^1, S_l^2) = & \alpha_1 \text{exclusivity}(S_i^1, S_l^2) + \\ & \min_{q \in \text{points}(S_l^2)} \{ \alpha_2 \text{dist}(p_{i,j}^1, q) + \alpha_3 \text{shape}(p_{i,j}^1, q) \\ & + \alpha_4 \text{relative}(p_{i,j}^1, q) \} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\text{points}(S_l^k)$ は線 S_l^k のサンプリング点の集合 $\{p_{l,1}^k, p_{l,2}^k, \dots, p_{l,\text{size}(S_l^k)}^k\}$ である。また、 $\text{dist}, \text{shape}, \text{relative}, \text{exclusivity}$ は共通座標上の幾何情報を用いて計算される幾何関数であり、それぞれ、2 点間の距離、点近傍同士の分布の差異の大きさ、原画中の複数の固定点から点へのベクトルの差異の大きさ、Leordeanu らの手法 [8] における他の線ペアとの双対制約の重み付き平均を表す。 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ は定数である。各 $p_{i,j}^1$ ノードから trash ノードに向けては容量を 1、コストを $\sum_{i,j,l} \alpha_5 \text{cost}(p_{i,j}^1, S_l^2)$ とする辺を張る。なお α_5 は定数である。

One-to-Many line matching between keyframes
Ryo Moriai
Suguru Saito
School of Computing, Tokyo Institute of Technology

各 S_i^1 のノードから end ノードに向けては容量が $\text{cap}(S_i^2)$ でコストが 0 の辺を張る。 $\text{cap}(S_i^2)$ は線 S_i^2 に対応付けられる線の総数の上限を表す関数であり、 $\text{cap}(S_i^2) = \text{size}(S_i^2)$ である。また trash ノードから end には、容量が原画 1 の線すべてのサンプリング点数の総計、コストが 0 となる辺を張る。これにより、trash には原画 1 の点を上限なく対応付けることができる。

このネットワークに対して、start ノードから end ノードに向けて原画 1 の総点数と等しい数の流量を流す最小費用流問題を解く。この結果得られる、点のノードと線のノードの間の流れのある辺を、点と線の組として採用する。

2.2 線と線の対応付け手法

前節の手法を用いて、原画 1 のサンプリング点と原画 2 の線の組を求め、同様に、原画 2 の線と原画 1 の点の組を求める。この二つの結果より、一本対複数本を含む線と線の間に対応付けを推定する。原画 1 の線 S_i^1 と原画 2 の線 S_j^2 に対して、 S_i^1 のサンプリング点のうち S_j^2 と対応する線の本数を $\text{correspond}(S_i^1, S_j^2)$ とし、同様に S_j^2 のサンプリング点のうち S_i^1 と対応する線の本数を $\text{correspond}(S_j^2, S_i^1)$ とする。この時、 S_i^1, S_j^2 に対して次の関数 $F(S_i^1, S_j^2)$ を計算し、その値が定数 α_6 を超えるときに S_i^1, S_j^2 の間に対応付けが存在すると推定する。

$$F(S_i^1, S_j^2) = \frac{2}{\frac{|\text{points}S_i^1|}{\text{correspond}(S_i^1, S_j^2)} + \frac{|\text{points}S_j^2|}{\text{correspond}(S_j^2, S_i^1)}} \quad (2)$$

関数 F は S_i^1 から S_j^2 に対応付けられる点の割合と、 S_j^2 から S_i^1 に対応付けられる点の割合の調和平均を計算している。

3 評価

3.1 原画線が一对一に対応付けできる原画データに対する結果

文献 [1] 内の実験で用いられる原画対のトレースデータ、計 41 組を用い、提案法と従来法 [1, 2, 4, 5, 6, 7] の比較実験を行った。このデータは、一組の原画対を除き、線の間が一对一になる様にトレースが行われている。提案法の定数の値は $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6) = (0.6, 0.08, 1, 0.05, 0.7, 0.42)$ とする。提案法と従来法による線の間に対応付け結果全体の総計の F 値を表 1 に示す。提案法は岡田らの手法 [1] に対して下回っているものの、他の手法に対しては上回っている。岡田らの手法 [1] に対しては下回った理由としては、提案手法が線の本数が少ない簡潔な原画に対して高い精度を発揮できていないことが挙げられる。

表 1: 文献 [1] のデータによる提案法と従来法比較

F 値	提案法	[1]	[2]	[4]	[5]	[6]	[7]
平均	0.8949	0.9146	0.8849	0.4692	0.4168	0.4513	0.8325

3.2 原画線が一对一に対応付けできない原画データに対する結果

節 3.1 の実験で用いた原画対データとは異なり、原画線が複雑かつ、線が一对多対応になるようなトレース線を多く含む 3 組の原画対データに対して岡田らの手法 [1] と提案手法の 2 手法の比較実験を行なった。提案法の定数の値は節 3.1 の実験と同様である。対応付け結果の F 値を表 2 に示す。この結果より、提案手法では 3 種類の原画対全てで岡田ら [1] の手法をより高い精度の自動対応付けを行えた。しかし、精度の上昇幅は大きいとは言えない。この原因として、点対線の対応付け結果から線対線の対応付け結果を推定する際、正しい対応付けを不必要に棄却してしまっていることが挙げられる。

表 2: 一对多対応を多く含むデータによる提案法と従来法比較

F 値	提案法	[1]
原画対 1	0.9019	0.8638
原画対 2	0.7023	0.6667
原画対 3	0.6093	0.5920

4 まとめ

本稿では、原画の線の間に対応付けにおいて、点対線のレベルの間に対応付け対象を細分化することにより、一本対複数本の対応付けを許容する自動対応付け手法を提案した。また実験では、提案手法が一本対複数本の対応付けを多く含む原画対には、従来法よりも高い結果を示し、1 本対 1 本の対応付けも、従来手法と比較しても遜色ない精度を維持していることを示した。今後は、点と線の間に対応付け結果からの線と線の間に対応付けの推論にきい値処理とは異なる手法を採用することで、さらなる精度の向上を目指す。

参考文献

- [1] 岡田大樹, 齋藤豪. 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間に対応付け情報処理学会第 84 回全国大会 6ZG-05 2pages, 2022.
- [2] 藤田正樹, 齋藤豪. 立体キャンパ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] Whited Brian, et al. Betweenit : An interactive tool for tight inbetweening. *Proceedings of Eurographics, Computer Graphics Forum, Norrkoping, Sweden, May 3-7, 2010*, Vol. 29, No. 2, pp. 605-614, 2010.
- [5] Wenwu. Yang. Context-aware computer aided inbetweening. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 2, pp. 1049-1062, Feb 2018.
- [6] Wenwu Yang, et al. Ftp-sc: Fuzzy topology preserving stroke correspondence. *Computer Graphics Forum*, Vol. 37, No. 8, pp. 125-135, 2018.
- [7] Leonardo Carvalho, et al. Dilight: Digital light table - inbetweening for 2d animations using guidelines. *Computers & Graphics*, Vol. 65, pp. 31 - 44, 2017.
- [8] Marius Leordeanu, et al. A spectral technique for correspondence problems using pairwise constraints. *IEEE ICCCV 2005*, Vol.2, pp. 1482-1489, 2005.