H-011

直接探索による輪郭線からのランドマークの選び方

Landmark Selection from Contours by Direct Search

大瀬 和也 †　岩田 一貴 †　末松 伸朗 †
Kazuya Ose　Kazunori Iwata　Nobuo Suematsu

1　はじめに

形状解析 [1] では，同種類の形状を表す輪郭線との対応が付けられたランドマークと呼ばれる有限個の点を基にその形状を解析する．従って，輪郭線上にランドマークが配置されていなければ，ランドマークを適当に配置し，対応付けを行う必要がある．ランドマークの配置には，多くの場合，輪郭線の形態に関する専門知識や輪郭線の曲率などの特徴が利用されるが [1]，それらは常に利用できるとは限らない．例えば，後者の曲率を計算するには，輪郭線を構成する点が時系列で表される，すなわち，点に順序がなくてはならないが，写真画像の物体の輪郭線を構成する点（ピクセル）に順序はない．このように，時間情報とともに記録された手書き線など，時系列で表されるものしか曲率は計算できない．また，古典的に輪郭線の折れ線近似 [2] を考え，折れ線の節点にランドマークを配置することも考えられるが，やはりこの場合も輪郭線を構成する点に順序がなくてはならない．本論文では，輪郭線を構成する点の順序を仮定せず，輪郭線上にランドマークを適当に配置するための方法を提案する．

本論文の構成は次の通りである．2 節で提案するランドマークの配置方法を説明し，3 節でその有効性を実験的に確認する．最後に，4 節でまとめと今後の課題を述べる．

2　直接探索によるランドマークの選び方

形状解析を行う際には，線画像処理において抽出されるような輪郭線の特徴的な点（端点や分岐点など）を重視してランドマークを配置したい場合も多い．では，形状の輪郭線において，特徴的な点とはどのような点であろうか．本論文では，グラフ理論における節点の次数 [3] とユークリッド幾何学における辺の長さに着目し，“次数が大きい節点ほど形状の重要な箇所である” と “接続する辺が長い節点ほど形状の重要な箇所である” という仮定を基に，そのような箇所にランドマークを自動的に配置するための方法を提案する．

■準備　ある形状の輪郭線を構成する点集合を $\mathcal{S}$ と表記し，その要素数は有限であると仮定する．例えば，ディジタル画像における輪郭線はこの仮定を満たす．xy 平面上における曲線を考えるときは，曲線から有限個の点をサンプリングすれば，その集合はこの仮定を満たす．$\mathcal{S}$ はベクトルではなく，集合であるから，要素に順序はないことに注意されたい．今，n 個のランドマークを $(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n) \in \mathbb{R}^2$ と表記する．ただし，n は 3 以上 $|\mathcal{S}|$ 以下の自然数とする．n 個のランドマークの配置とは，$\mathcal{S}$ の要素から n 個のランドマークを選ぶことであり，探索問題として解くことができる．ただし，その選び方の総数は $\binom{|\mathcal{S}|}{n}$ となり，$|\mathcal{S}|, n$ によっては膨大な数になるため，すべての選び方を評価するのは困難である．従って，本論文では，効率よく探索するための最適化手法を提案する．最適化手法は，大別すると，勾配法と直接探索法とに分けられるが [4]，提案する方法は目的関数の導関数を使わない後者に属する．

■直接探索によるランドマークの配置　n 個のランドマークを節点と見なした完全グラフ K_n を考え，K_n の辺の太さを $w \in \mathbb{R}$ とし，辺の上にある $\mathcal{S}$ の点の集合を $\mathcal{E}_n(w)$ と表す．また，任意の $i \in \{1, \ldots, n\}$ に対して，i 番目のランドマーク (x_i, y_i) を除く残りのランドマークを節点とする完全グラフ K_{n-1} を考え，同じく辺の太さを w とし，K_{n-1} の辺の上にある $\mathcal{S}$ の点の集合を $\mathcal{E}_{n-1}^{(i)}(w)$ と表す．このとき，上述の仮定に基づいて，i 番目のランドマークの貢献度を

$$f(x_i, y_i\,;\,w) = \left|\mathcal{E}_n(w) \setminus \mathcal{E}_{n-1}^{(i)}(w)\right| \tag{1}$$

と定義する．ただし，$\setminus$ は集合差を表す．ディジタル画像における輪郭線では，$\mathcal{S}$ の要素の x, y 座標はともに整数となるから，ブレゼンハムの直線のスキャン変換アルゴリズム [5] を使えば，高速に貢献度を計算できる．この貢献度を用いて，下記のように反復法による直接探索を行う．

1. ランドマーク数 n と辺の太さ w を設定．
2. 初期配置として，互いに異なる n 個のランドマーク $(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n) \in \mathcal{S}$ を適当に選ぶ．
3. n 個のランドマークを順に更新する．更新とは，任意の $i \in \{1, \ldots, n\}$ に対して，ランドマーク (x_i, y_i) を
$$(x', y') = \mathop{\mathrm{argmax}}_{\substack{(x,y)\,\in\,\mathcal{S} \setminus \{(x_1,y_1),\ldots,(x_{i-1},y_{i-1})\\ ,(x_{i+1},y_{i+1}),\ldots,(x_n,y_n)\}}} f(x, y\,;\,w) \tag{2}$$
で置き換えることである．すべてのランドマークを 1 回ずつ更新するのを “一巡する” と呼ぶことにすると，一巡して貢献度の和 $\sum_{i=1}^{n} f(x_i, y_i)$ が変わらない，もしくは減少するまでこの手順を繰り返す．なお，減少した場合は一巡する前の配置に戻して終了する．

■対応付け　上述の直接探索によって，ランドマークの配置は定まるが，同種の形状のランドマークとの対応付けが未だなされていない．ここでは，後の計算機実験に関連して，2 つの形状のそれぞれのランドマーク配置が与えられたとき，それらのフルプロクルステス（full Procrustes）距離 [1] が最小となるよう

† 広島市立大学大学院情報科学研究科
〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3–4–1
Email: mb67004@e.hiroshima-cu.ac.jp

Copyright © 2016 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

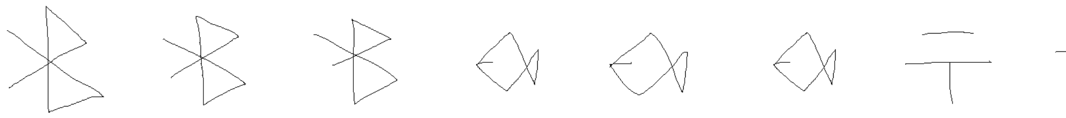

図 1　3 種類の線画データの例

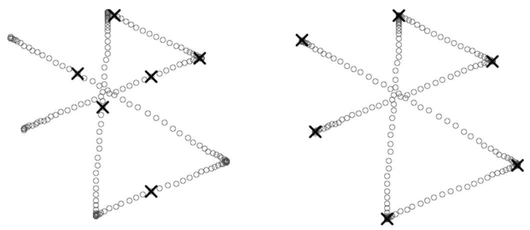

図 2　ブルートゥースの例: 初期配置（左）と提案手法による配置の結果（右）.

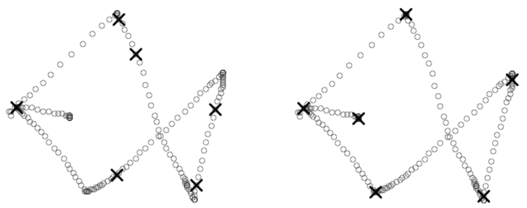

図 3　魚の例: 初期配置（左）と提案手法による配置の結果（右）.

な全単射の対応を求めることよって，2 つの形状のランドマーク間の対応付けを行う．なお，フルプロクルステス距離は，形状解析において最も代表的な形状間の距離である [1].

3　実験

提案手法によるランドマーク配置の有効性を検証する.

■設定　Web から入手可能なソフトウェア [6] を使って作成した 30（“ブルートゥース”，“魚”，“郵便記号” の 3 種類，各種 10 個）の手書き線画データを実験に用いた．3 種類の線画データの例を図 1 に示す．ランドマーク数は $n = 6$ とし，輪郭線からランダム選んだ 6 個の点によってランドマークの初期配置を与えた．また，辺の太さは $w = 7$ とした.

■結果　図 2–4 は提案手法によって配置された各種形状のランドマークの例である．図中の丸（◦）は輪郭線を構成する点，バツ（×）はランドマークを表す．本論文のねらい通り，次数が大きくなるような点，接続する辺の長さが長くなるような点がランドマークとして選ばれていることが確認できる.

次に，形状の判別という意味でのランドマーク配置の良さをフルプロクルステス距離を用いて評価する．表 1 は，同種または異なる種類の輪郭線から得られたランドマーク間のフルプロクルステス距離の平均値を示した表である．平均値の求め方の詳細は，例えば，[7] を参照されたい．表 1 より，同種類の形状の間でのフルプロクルステス距離は，異なる種類の形状の間のそれよりもかなり小さいことがわかる．以上より，提案手法により得られるランドマーク配置は，形状の判別という意味でも優れていることがわかる.

図 4　郵便記号の例: 初期配置（左）と提案手法による配置の結果（右）.

表 1　同種・異種間におけるフルプロクルステス距離の平均値.

種類	ブルートゥース	魚	郵便記号
ブルートゥース	**0.12**	0.30	0.38
魚	0.30	**0.19**	0.34
郵便記号	0.38	0.34	**0.13**

4　まとめと今後の課題

形状の輪郭線を構成する点の順序を仮定せず，輪郭線上の特徴的な点にランドマークを配置するための方法を提案した.

今後の課題としては，対応付けの効率化が挙げられる．ランドマークの数が n のとき，2 つの形状のランドマーク間の対応を全単射で表すと，その総数は $n!$ となるから，n が大きくなると現行の対応付けの計算手間がかかりすぎるからである.

参考文献

[1] I.L. Dryden and K.V. Mardia, Statistical Shape Analysis, John Wiley & Sons, Chichester, England, 1998.

[2] J.-C. Perez and E. Vidal, “Optimum polygonal approximation of digitized curves,” Pattern Recognition Letters, vol.15, no.8, pp.743–750, 1994.

[3] R.J. Wilson, Introduction to Graph Theory, 4th edition, Pearson Education, 1996.

[4] T.G. Kolda, R.M. Lewis, and V. Torczon, “Optimization by direct search: New perspectives on some classical and modern methods,” SIAM Review, vol.45, no.3, pp.385–482, 2003.

[5] 千葉則茂，村岡一信，小沢一文，海野啓明，C アルゴリズム全科: 基礎からグラフィックスまで，近代科学社，1995.

[6] K. Iwata, “Drawing panel,” `http://www.prl.info.hiroshima-cu.ac.jp/~kiwata/panel/`, 2013.

[7] K. Iwata, “Placing landmarks suitably for shape analysis by optimization,” Proceedings of the 21st ICPR, pp.2359–2362, Tsukuba, Japan, 2012.

Copyright © 2016 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.