

グラフ構造の類似性を利用した事例参照型 毛筆フォント掠れデザイン†

合田 裕 *1・中村 剛士 *2・加納 政芳 *3

書道は東洋の造形芸術であり、水彩画や油彩画などと同様に良く知られた美術の1つである。本研究は非写実的画像表現に関する研究の一環として、毛筆フォントデザインを取り上げる。ここでは、実在する書道作品を参照事例とし、既存の毛筆フォントをリデザインする手法について述べ、本手法で作成した出力を例示する。ここでは、とくに参照事例の「掠れ表現」に着目し、専門的な知識や高度な操作スキルをユーザに要求することなく、実在する書道作品の持つ高い質感を毛筆フォント上に再現することを試みる。

キーワード：コンピュータグラフィクス、非写実的画像表現、書道

1. はじめに

近年、実写画像を水彩画や油彩画のような絵画風CG画像に変換し、芸術家が描くような絵画様式を模したCGの再現を目指すノンフォトリアルスティックレンダリング(NPR)の研究が注目されている。また、絵画風変換をする手法は、画像フィルタ[1, 2]を用いる手法と参照事例を用いて合成・変換する手法(Texture Synthesis, Texture Transfer)[3, 4, 5, 6]の2つに大別することができる。とくに後者の手法は、実在する絵画画像を利用することから、元の絵画の持つ質感が再現しやすいとされる。

他方、書道もまた中国や日本で良く知られた伝統的な芸術の1つであり、昨今の欧米においては先鋭的な芸術として人気を博している。このような書道の持つ芸術性を日常に生かした例として毛筆フォントがある。毛筆フォントはDTPや個人ユーザによる年賀状印刷においてよく利用されており、毛筆フォントを利用した印刷物の作成は決して珍しいものではない。毛筆フォントのデザインは、広い意味でNPR研究に含めることが出来ると考えられ、毛筆フォントの作成や加工に関する研究がこれまでもいくつか報告されている。筆触カーソルや数形形態学を用いた毛筆フォントの掠れ込み表現技術[7, 8]はその代表的な研究例であ

るが、これは上述の絵画風変換の研究における画像フィルタを利用したアプローチに相当すると考えられる。

絵画同様に、書道にもまた実在する著名な作品が多数存在する。このことから、本研究では、実在する書道作品を参照事例とし、それが持つ芸術的表現を利用して毛筆フォントをリデザインする手法を提案する[9]これにより、実在する書道作品の持つ高い質感の再現が、絵画風変換同様に実現するのではないかと期待される。すなわち、図1に示すように、入力として処理対象である「対象フォント」と参照事例である「参照文字」を与えることで、参照文字の掠れ特徴を反映した出力を獲得する。本研究に類似した手法として、

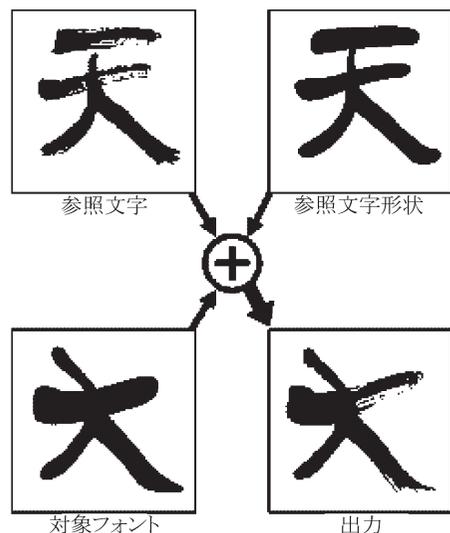


図1 提案手法の概要

† Example-based Artistic Calligraphic Font Design using Structural Similarity in Graphs

Yutaka GODA, Tsuyoshi NAKAMURA and Masayoshi KANOH

*1 オークマ株式会社
Okuma Corporation

*2 名古屋工業大学
Nagoya Institute of Technology

*3 中京大学
Chukyo University

参照事例を利用する内平らによるサンプリング書道[10]が存在する。内平らの提案するサンプリング書道は、ペイント系ツールに類似したインタフェースを持つ書道描画ツールとして実現されている。一方、本研究は、描画ツールとしてのアプローチではなく、既存のフォントのリデザイン・加工がその目的である。そのため、当然ながらそれに付随する入力情報及びその処理アルゴリズムはサンプリング書道とは異なる。なお、毛筆フォントデザインにおける本研究の貢献は、以下のとおりである。

- (i) 本論文で提案する参照事例を利用した手法によって、実在の書道作品が持つ特徴のうち、“掠れ表現”に着目し、この特徴を再現した毛筆フォントの作成支援を実現する。
- (ii) 参照事例を用いることで、専門的な知識や高度な美術センス、さらに難しい操作スキルをユーザに要求することなく、容易に毛筆フォントの掠れ表現デザインを可能にする。
- (iii) 参照事例を変更するだけで、処理対象が同じであっても異なった掠れ表現を実現でき、従来の筆触カーソルや数理解形態学を用いた手法に比べ、多様な掠れ表現の実現が見込まれる。また、同一の参照事例を複数の対象フォントに適用することも当然可能である。

なお、掠れ表現以外を扱った毛筆フォントデザインについては、フォントのストロークの太さや文字のバランスなどフォントのアウトライン形状自体のデザインに係る研究例[11, 12, 13]が存在するが、本研究ではこれについては対象外とする。その他、毛筆フォントのデザインや加工は、汎用的なツールとしてIllustratorのようなベクトルグラフィックツールやPhotoshopのようなフォトレタッチツールを使用すれば、多種多様なデザインや加工が可能であるが、このようなツールでの加工は、高度な操作スキルや美術センスを必要とすることや、現実の書道作品に見受けられるような芸術性の高い掠れ表現を、加工ソフトにおける設定パラメータの変更だけで実現するのは難しいといった問題がある。

2. 提案手法について

絵画や書道作品は筆が描くストロークによって構成される芸術であり、複数のストロークが折り重なることで作品が完成する。とくに、書道では、ストローク同士の交差や重なりによってその流れが中断されるものの、中断された箇所以外では、筆の流れる方向が比

較的明白であり、掠れた部分を観察すれば、その掠れが筆の流れに沿って作られていることが分かる。

また、書道作品自体をテキストチャとして捉えれば、筆の流れとは、連続する小さなテキストチャパッチ群によって表現されているものとも考えることも出来る。このことから、実在する書道作品をテキストチャパッチ群に分解し、テキストチャパッチの順序関係や連続性のある程度保存しながら、既存の毛筆フォント上に配置することで、その書道作品の持つ特徴的な掠れ表現を毛筆フォント上に再現可能ではないかと思われる。

そこで本研究では、まず、実在の書道作品である参照文字と既存毛筆フォントである対象フォントにたいし、文字骨格として各グラフ構造 G_S , G_T を与える。これにより、筆の流れが文字骨格であるグラフのエッジに沿っていることが明示される。図2は図1に例示した参照文字と対象フォントにグラフ構造を与えた例である。各グラフは筆の始筆部分と終筆部分に終端ノード、ストロークの交差する部分に非終端ノードが与えられ、各ノード間は無向エッジによって連結される。ここで、 G_S のエッジを参照エッジ、 G_T のエッジを対象エッジと呼ぶものとする。この参照エッジと対象エッジを適切に対応させ、参照エッジの持つテキストチャパッチ群を、対象エッジ上に順序関係を保存しながら連続的に配置させることが出来れば、参照エッジ上の掠れ表現と類似した表現を対象エッジ上に再現できる。これを全対象エッジに対し実行すれば、参照文字の掠れ特徴をもった出力を獲得できる。図3に処理の流れを示す。

なお、書道における筆順の知識を提案手法に組み込

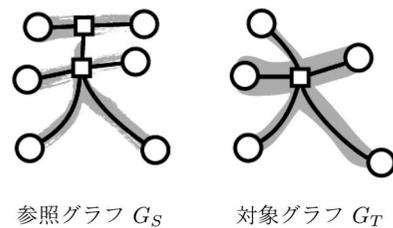


図2 グラフ構造を付与した例

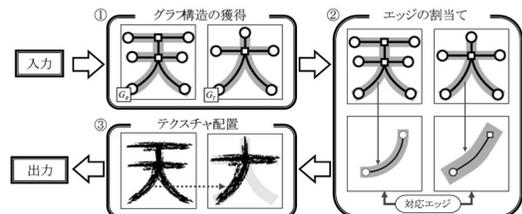


図3 処理のながれ

むことにより、各グラフを有向グラフとして表現することはある程度実現可能と思われる。有効グラフとすることで筆順を考慮した処理の実現を見込むことも期待できる。しかし、現実的には、文字ごとに各筆順の知識を用意しデータベース化しておく必要があることや、獲得できるエッジの品質によっては、筆順の知識が利用しにくいことが十分想定される。そこで今回は、処理を複雑化せずシンプルなアルゴリズムと実装を目指し、無向グラフを利用するものとした。

本手法では、図1示すように、入力として、対象フォント、参照文字の他、参照文字形状の3つを必要とする。ここで、参照文字形状とは、参照文字の墨がついた部分と掠れに相当する部分(筆が通っているが墨がついていないと推定される部分)を示した領域であり、筆が紙の上を動いた範囲を明確にし、参照文字の文字骨格を獲得するために利用する。参照文字形状については事前にユーザによって手動で与えられる必要がある。また、今回、文字骨格を獲得するための手法としてHilditchの細線化法[16]を使用した。以下、提案手法の詳細について述べる。

2.1 グラフの構成

図2に示すように、参照グラフ G_S と対象グラフ G_T は、ノードとノード間を結ぶエッジから構成される。ここで、 v_i^S 、 v_j^T をそれぞれ G_S と G_T を構成するノードとする。ノードには、終端ノード (tn) と非終非終端ノード (ntn) の2種類のノードが存在する。また、 G_S が持つノードの集合を V_S 、 G_T が持つノードの集合を V_T と表す。さらに、 G_S と G_T のエッジをそれぞれ e_i^S 、 e_j^T と表し、各エッジには情報の取得が容易な3種類の属性 (**Style, Direction, Length**) を割当てる。

他の属性としては、エッジの文字内での相対位置、文字の太さ等も当然考えらるが、これらは一意に値を決定することに検討が必要なことや、シンプルなアルゴリズムとその実装を考慮して今回は3属性のみとしている。ここで、**Style** はエッジの種類、**Direction** はエッジの近似ベクトル、**Length** はエッジの長さを表す。このエッジに割当てた3属性によって、エッジの類似度を判定し、類似度の高い e_i^S 、 e_j^T を対応付けテクスチャ配置に利用する。 G_S 、 G_T のエッジの集合は E_S 、 E_T と表す。また、これにより、たとえば図2示す「天」の終筆部を含む左払いのエッジと「大」の終筆部を含む左払いのエッジのような主観的に類似した部分同士の対応を実現を試みる。

$$V_S = \{v_1^S, v_2^S, \dots, v_i^S, \dots, v_{N_S}^S\} \quad (1)$$

$$V_T = \{v_1^T, v_2^T, \dots, v_j^T, \dots, v_{N_T}^T\} \quad (2)$$

$$v_i^S = \begin{cases} tn \\ ntn \end{cases} \quad (3)$$

$$v_j^T = \begin{cases} tn \\ ntn \end{cases} \quad (4)$$

$$E_S = \{e_1^S, e_2^S, \dots, e_i^S, \dots, e_{M_S}^S\} \quad (5)$$

$$E_T = \{e_1^T, e_2^T, \dots, e_j^T, \dots, e_{M_T}^T\} \quad (6)$$

$$e_i^S = (\text{Style, Direction, Length}) \quad (7)$$

$$e_j^T = (\text{Style, Direction, Length}) \quad (8)$$

● エッジの種類 **Style**

Style には、 tn と tn を結ぶエッジ、 tn と ntn を結ぶエッジ、 ntn と ntn を結ぶエッジの3種類が存在する(式9)。なお、ここでは無向グラフを扱うため (tn, ntn) と (ntn, tn) は同じ**Style**として扱い区別しない。

$$\text{Style} = \begin{cases} (tn, tn) \\ (tn, ntn) \\ (ntn, ntn) \end{cases} \quad (9)$$

● エッジの近似ベクトル **Direction**

Direction はエッジの近似ベクトル、すなわち、エッジの方向を評価するための属性である。ここで、 e_i^S の**Direction** を \bar{e}_i^S 、 e_j^T の**Direction** を \bar{e}_j^T とする。

● エッジ長さ **Length**

Length は、ノード間のエッジを構成するピクセル数で表す。ここでは e_i^S の**Length** を $\|e_i^S\|$ 、エッジ e_j^T の**Length** を $\|e_j^T\|$ とする。

2.2 エッジの割当て

書道における掠れは、主に筆圧、筆速、含墨量の組み合わせによって決まると考えられ、そららを利用して掠れ表現を持った毛筆文字を生成した研究例がいくつか存在し、一定の成果を上げている[14, 15]。一方、本研究で扱うような対象フォントや参照文字からは、オンライン情報に近い筆圧、筆速、含墨量の情報を推定することは困難であり、推定できたとしてもそれらを考慮したエッジの割当ては処理を複雑化することになると考える。

そこで、シンプルなエッジの割当てで戦略として、まず**Style**の一致を重要視する。これは、「2. 提案手法について」の冒頭で述べたように、書道作品をテク

スチャパッチの集合と捉える考えに基づく。エッジのノードには終端ノードと非終端ノードがあるが、非終端ノードは主にストロークの交差する箇所を表す。ストロークが交差する箇所では、当然ながら筆が違う方向に流れており、これは複数のテクスチャの合成箇所と見做すことが出来る。そのため、対象グラフの終端ノードに参照グラフの非終端ノードを割当てると、筆の始筆や終筆部分に、複数の筆の流れを持つテクスチャが割当てられることになり、不自然な掠れ表現を生成する可能性が高まる。そこで、このような現象を極力避けるために、Styleの一致を実施したのち、他の2属性について評価するものとした。これによって、可能な限り参照文字ストロークの交点等を、対象フォントのストロークの端点(筆の「入り」「止め」「払い」)に割当てて可能性を低くし、不自然な掠れ表現の発生を抑える。また、ストロークの端点は、それが「止め」を除き「入り」「払い」等の筆圧が低くなる確率が高い箇所であり、特徴的な掠れが生じやすい箇所であると考えられる。この点からも、ストロークの端点において不自然な掠れの発生を抑えることには大きな意味を持つ。

以上を考慮して、可能なかぎり主観的に類似したエッジ同士の対応を実現するため、以下の手順に従って、対象エッジ e_j^T にたいし、参照エッジ e_i^S を1つ割当ててのものとした(図4参照)。

- (i) e_j^T のStyleにたいし、全ての参照エッジのStyleとの類似度を評価し、割当て候補を絞り込む。こ

のとき、割当て候補となる参照エッジは複数になることがある。

- (ii) 割当て候補の参照エッジに対し、DirectionとLengthに関する評価を行い割当てる e_i^S を唯一決定。
- (iii) (i) (ii) をすべての対象エッジにたいし実施し対応する e_i^S を決定する。

● Style の類似度評価

ノードの種類を表す tn, ntn をそれぞれ $tn = 0, ntn = 1$ と置く(式10)。ここで、参照エッジ e_i^S の持つStyleと対象エッジ e_j^T が持つStyleのハミング距離を類似度として評価し、 e_j^T にたいし最も距離が短い e_i^S を候補として残す。

$$\text{Style} = \begin{cases} (tn = 0, ntn = 0) \\ (tn = 0, ntn = 1) \\ (tn = 1, ntn = 1) \end{cases} \quad (10)$$

● DirectionとLengthの評価

Styleの類似度評価で獲得した候補に対して評価関数(式11)を使用することで参照エッジ e_i^S を決定する。ここで、式中の w_r と w_l は重みを表す正の実数である。 w_r はDirectionに関する重み、 w_l はLengthに関する重みである。なお、 $w_r + w_l = 1.0$ とする。また、 r_{ij} (式12)、 l_{ij} (式13)は共に対象エッジ e_j^T にたいする e_i^S の評価値を表す。 r_{ij} は e_j^T と e_i^S の近似ベクトルのなす角を評価し、エッジ間の方向の類似性を評価する。 r_{ij} は e_j^T と e_i^S 間のエッジの長さの違いを評価する。

$$\arg \max_i \left(\frac{w_r r_{ij} + w_l l_{ij}}{w_r + w_l} \right) \quad (11)$$

$$r_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\vec{e}_i^S \cdot \vec{e}_j^T}{\|\vec{e}_i^S\| \|\vec{e}_j^T\|} + 1.0 \right) \quad (12)$$

$$l_{ij} = 1.0 - \frac{(\|\vec{e}_i^S\| - \|\vec{e}_j^T\|)^2}{\sum_i^{M_S} (\|\vec{e}_i^S\| - \|\vec{e}_j^T\|)^2} \quad (13)$$

2.3 テクスチャの配置

参照エッジ e_i^S が持つテクスチャを対象エッジ e_j^T 上に配置することで掠れ表現を実現する(図5)。まず、 e_i^S を等間隔(今回の実験例では5ピクセル)にサンプリングし、 k 番目のサンプリング点を中心に周囲の領域をテクスチャパッチ P_k^S として構成する。同様に、 e_j^T を等間隔にサンプリングし、サンプリング点を得る。次に、 e_j^T 上の m 番目のサンプリング点に対応する e_i^S 上の k 番目のサンプリング点を式(14)により決定する。この対応関係から、 P_k^S を変形し e_j^T 上の m 番目のサンプリング点を中心に P_m^T として配置する。

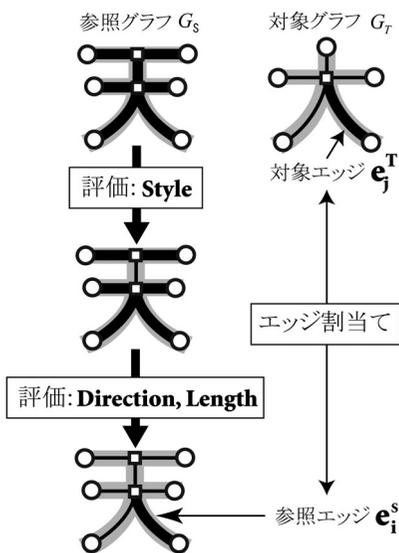


図4 エッジ割り当て処理

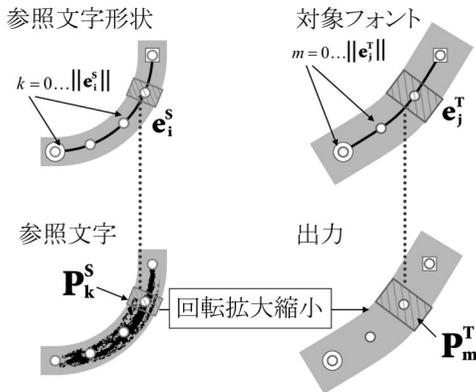


図5 テクスチャ配置

$$k = \left\lceil m \times \frac{\|e_i^s\|}{\|e_j^t\|} \right\rceil \quad (14)$$

このときの変形を式(15)で示す。ここで、 R は回転行列を表し、 α は拡大率を表す。また、 α は e_i^s 上の k 番目のサンプリング点における参照文字形状の太さ d_k^s と e_j^t 上の m 番目のサンプリング点における対象フォントの太さ d_m^t を使用し、対象フォントの太さに合わせて P_k^S を拡大縮小する(式16)。なお、テクスチャの配置時に隣接テクスチャが重なる部分が出現するため、テクスチャ合成[17]を使用してシームレスにテクスチャを配置する。

$$P_m^T = \alpha R P_k^S \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{d_m^t}{d_k^s} \quad (16)$$

3. 実験と考察

本研究で提案実装した手法を用い、毛筆フォントデザインの実験を行った。ここでは、まず、参照文字に掠れ表現を含んだ毛筆フォント「あ」¹と手書き毛筆文字をスキャナで取り込んだ「人」の2種類を使用し、対象フォントには「春」「夏」「秋」の3種類を使用した。それぞれの組合せによる出力例を図6に示す。図6に例示したように、ユーザが選択した参照文字と対象フォントの組合せにより、出力上に掠れ表現が実現されていることが分かる。図6上の楕円は、参照文字上の特徴的な掠れ部分について、代表的な割当て関係を示したものである。同色の楕円で囲まれた部分が割当て関係にある。たとえば、対象フォント1の「春」と参照文

字2の「人」による組み合わせの場合、「人」の左払いと右払い部分がそれぞれ「春」の左払いと右払い部分に割当てられていることを示す。図6右の出力例(とくに、右下の「秋」)の文字の太さが対象フォントに較べ細くなっているように見受けられるが、これは参照文字2の文字輪郭部分の細かい掠れ領域を考慮して、それらを包含するよう太めに参照文字形状を作成したためである。テクスチャパッチ P_k^S のサイズは、参照文字形状の各位置の太さから決定するため、 P_m^T を配置した際に、出力の文字輪郭部分に白い領域が増え、結果的に細くなってしまふ。参照文字形状を作成する際には、これについては考慮する必要がある。

また、図7に参照文字と対象フォントに同一フォントを用いた比較例を示す。図7においては、枠で囲んだ文字は参照文字1であり、その各参照文字を用いた各出力例が各行に示されている。なお、処理対象については、枠で囲んだフォントの掠れ部分を黒く塗りつぶして作成したものを使用した。これら出力上にも掠れ表現が実現されていることが視認できる。

ここで、参照文字と出力文字の対にたいして、掠れの視覚類似性に関する主観評価実験を行った。被験者は視覚異常のない20代大学生10名である。被験者には、A4紙に印刷した参照文字と出力の対(計12対)を任意な順番に提示し、提示した2つの文字(参照文字と出力)間の掠れの視覚類似性について評価を依頼した。実験においては被験者にたいし、「紙に印刷された2つの文字の掠れ表現に着目し、その視覚的類似性を1~7点の7段階で評価してください。なお、7点が最も類似性が高く、1点が最も類似性が低いとします。」と口頭により説明し、被験者に口頭による回答を求めた。

なお、実験に用いた12対は2群(各6対)に分けることができる。第1群を構成する対については、出力文字がそれと対となる参照文字から作成したものであり、図6に示した参照文字1「あ」とそれにより作成した出力文字「夏」と「秋」の2対(第1a群)、同図の参照文字2「人」とそれにより作成した出力文字「夏」と「秋」の2対(第1b群)、さらに、図7に示した参照文字「春」とそれにより作成した出力文字「夏」と「秋」の2対(第1c群)の3つに細分類できる。残りの6対から成る第2群については、出力は、対となる参照文字から作成したものではなく、他の参照文字から作成した出力であり、参照文字と出力文字間に掠れ表現に関する関係はない。なお、第2群の参照文字と出力文字は第1群と同一であり、対の構成の仕方のみが異なる。

統計的検定によって第1群と第2群間の差について調査した結果を表1に示す。ここでは、ノンパラメトリック検定として、Kruskal Wallis検定を用いた。P

1 味わい毛筆, <http://www.ungai.com>, 雲涯(株式会社ビー・エス・エス)

		
	参照文字 1 ¹	参照文字 2
		
対象フォント 1	参照文字 1+対象フォント 1	参照文字 2+対象フォント 1
		
対象フォント 2	参照文字 1+対象フォント 2	参照文字 2+対象フォント 2
		
対象フォント 3	参照文字 1+対象フォント 3	参照文字 2+対象フォント 3

図 6 出力例 1 ($w_l = 0.5$, $w_r = 0.5$)



参照文字 3¹



参照文字 4¹



参照文字 5¹



参照文字 6¹



図7 出力例2



図8 比較例 (左: $w_l = 0.9, w_r = 0.1$, 中央: $w_l = 0.1, w_r = 0.9$, 右: Texture by Numbers)

値が0.0110と小さく、1%有意ではないものの5%有意で差があり、平均順位が第1群の方が高い。このことから、提案手法で用いた参照文字とその参照文字から作成した出力文字間については、掠れ表現の視覚類似性が認めやすいことが推測される。

ただし、参考までに示すと、第1群の採点結果の平均は4.9074点であり、7点が最高得点であることから絶対的に高い値とは言えない。なお、第2群の平均は4.0925点である。実験後、被験者に採点の基準について尋ねたところ、主に“部分的な掠れ表現の類似性”と“全体的な掠れ表現の分布状況”の2点を挙げた被験者が多かった。そのため、例えば図6の参照文字2「人」を用いた出力は、部分的には掠れ表現が類似しているものの、参照文字2に比べ文字全体に占める掠れ部分が少なく映るため、被験者の採点結果が非常に高い点と非常に低い点に2極化する傾向があった。提案手法は、言うなれば文字の部分的な特徴の類似関係に着目した手法であり、文字全体については考慮していないため、これは当然の結果と言える。

さらに、第1群内の第1a群、第1b群、第1c群間について、Kruskal Wallis検定の多重比較による結果を表2に示す。3群間に差があれば、参照文字と対象フォントの組み合わせによって差が生じるのではないかと考えられるが、P値が0.0539であることから、有意差は認められない。ただし、第1a群の平均順位と第1c群の平均順位の間には大きな差がある。そこで、この3群について詳細に調査するためSteel-Dwass検定による多重比較を行った結果、表3に示すとおり、第1a群と第1c群間には、5%有意で差が認められた。第1c群の平均順位が高いのは、参照文字と対象フォントに同一フォントを用いたため類似性評価がしやすかったのではないかと推測される。他方、3群間には差が認められないことから、参照文字と対象フォントの組み合わせによるデザインへの影響はあまり大きくないのではないと思われる。

つぎに、重み(w_l, w_r)を変化させた場合の“エッジ割当ての変化”について出力例を用いて示す。参照文字は、図6右上の参照文字2「人」を用いた。図8の左列には、($w_l=0.9, w_r=0.1$)としてLengthを重視した場合を例示し、中央列には、($w_l=0.1, w_r=0.9$)としてDirectionを重視した場合を例示する。重みの比の違いによって「春」「夏」「秋」の掠れ表現に大きく変化があることが分かる。これは、「春」「夏」「秋」を構成するグラフのエッジと参照文字2「人」のエッジ間では、長さや角度が異なるため、(w_l, w_r)の変化にたいして“エッジ割当ての変化”を発生させることが出来たためであると考えられる。その一方、「冬」については最後

表1 第1群と第2群間の検定 (Kruskal Wallis)

水準	第1群	第2群
n	60	60
平均順位	68.43	52.57

カイ二乗値	自由度	P 値
6.4731	1	0.0110*

表2 第1a群、第1b群、第1c群群間の検定 (Kruskal Wallis)

水準	第1a群	第1b群	第1c群
n	20	20	20
平均順位	24.23	29.98	37.30

カイ二乗値	自由度	P 値
5.8408	2	0.0539

表3 第1a群、第1b群、第1c群群間の検定 (Steel-Dwass)

水準1	水準2	統計量	P 値
第1a群	第1b群	1.0525	0.5437
第1a群	第1c群	2.4077	0.0424*
第1b群	第1c群	1.3436	0.3710

の点部分を描画した部分以外大きな差は見られない。これについては、「冬」の2画目の左払い及び3画目の右払いの長さとも、参照文字2「人」の左払いと右払いと類似しており、(w_l, w_r)の変化にたいして“エッジ割当ての変化”を起こすことが出来なかったためと考えられる。これらの出力例から、(w_l, w_r)の比を変化させることで掠れ表現をある程度変化させることは可能ではあるが、その効果については対象フォントと参照文字の組み合わせに大きく依存していることが分かる。

本提案手法では、エッジの割当てで述べたように、対象グラフの終端ノードには参照グラフの終端ノードを割当てることで、参照文字のストロークの交点を持つテキストが対象フォントの「入り」「止め」「払い」に現れないようにアルゴリズムを設計した。この戦略は、図6～図8の実験例を見る限り、ある程度効果的に機能していると考えられる。一方、図8の左下「冬」の最後の点部分については、終筆部分は実際には

「止め」の箇所であるが、図6右上の参照文字「人」の「払い」部分のテクスチャが割当てられている。そのため、終筆部分に掠れが現れていることが分かる。提案手法では、終端ノードが「入り」「止め」「払い」の何れか推定することは出来ない。また、筆順情報を入れたとしても「止め」「払い」の推定は難しい。文字の太さを導入することによる1つの解決として考えられるが、手書き文字という文字の太さを一意に決めることが難しい面もある。また、現状の(Style, Direction, Length)を用いた類似度評価では、例えば、非終端点だけで構成される対象グラフ(例えば対象フォント「ノ」や「一」)に、非終端点だけで構成されるエッジを持たない参照グラフ(例えば参照文字「休」等)を組み合わせるとき、対象フォントの端点のどちらかには非終端点が割り当てられてしまうといった問題もある。このような場合も含め、割当ての類似度評価値が一定以下ときには、割当てをしない等を含め再考の余地があると思われる。

また、図8の右列に、関連研究による出力例を示す。ここで用いた手法は、Image Analogiesと呼ばれる手法[5, 6]のTexture by Numbersを使用した。

Texture by Numbersは、毛筆フォントデザインを目的とした研究ではないが、本研究と同様に、“参照画像”、“参照形状マップ”、“対象マップ”の3つを入力し、参照画像の特徴を持った任意の画像をテクスチャ合成により作成するものである。ここでは、参照画像、参照形状マップ、対象形状マップそれぞれを本研究の参照文字、参照文字形状、対象フォントに対応させ出力例を得た。本提案手法の出力例と比較して分かるように、筆の流れの連続性が損なわれているため、不自然な掠れ表現となっていることが分かる。これは、Texture by Numbersでは本研究のようにグラフ構造を与えるような処理をしておらず、参照文字におけるテクスチャパッチの順序関係を出力で保存できないためと考えられる。

最後に、参考例として、ひらがなを含む出力を図9に例示する。

4. まとめ

本論文では、実在する書道作品から掠れ表現特徴をテクスチャとして獲得し、それを毛筆フォントの加工に利用する手法について提案し、出力例を示した。この手法は、参照事例となる書道作品を変更するのみで、参照事例に視覚的に類似した任意の掠れ表現を限定的ながら出力上に再現でき、ある程度の有効性を示すことが出来た。シンプルなアルゴリズムとその実装としては、一定の成果が得られたものとする。しかしながら、実験の考察でも述べたように、参照文字の



参照文字



図9 出力例3

持つ部分的な特徴については、出力上で再現出来るものの、文字全体における掠れの分布や配置関係までは再現するに至っておらず、この点については今後グラフのエッジのみでなく複数エッジを連結したパスを考慮した方法を検討していくことで解決を図りたいと考えている。また、グラフ構造を与えるための細線化処理についてもよく知られた“歪み”の発生もあり、複雑な構造をした文字やフォントにたいする対応は難しいという問題もある。さらに、将来の実用化・商用化に向けては参照事例(参照文字及び参照文字形状)をいかに事前に用意出来るかが重要な要素となり得る。アルゴリズム上は参照文字の種類や数は問題にならないが、デザインの多様化や参照文字形状を用意するユーザの負荷を軽減するためにも、事前に用意する参照文字の数や種類については検討する必要があると思われる。今後は、これらの課題を改善しつつ、毛筆フォントデザインの統合的環境の構築を行っていくとともに、一般フォントへの適用等についても検討していきたいと考えている。

参 考 文 献

[1] B. Gooch, G. Coombe, and P. Shirley, "Artistic Vision: painterly rendering using computer vision techniques," Proc. Int. Symp. NPAR '02, pp.83-ff, Annecy, France, June.2002.

[2] A. Hertzmann, "Painterly rendering with curved brush strokes of multiple sizes," Proc. SIGGRAPH '98, pp.453-460, Jul.1998.

[3] J. Hamel and T. Strothotte, "Capturing and re-using rendition styles for nonphotorealistic rendering," Computer Graphics Forum, vol.18, no.3, pp.173-182, Sept.1999.

[4] B. Wang, W. Wang, H. Yang and J. Sun, "Efficient example-based painting and synthesis of 2D directional texture," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol.10, no.3, pp.266-277, May.2004.

[5] A. Hertzmann, C. Jacobs, N. Oliver, B. Curless, and D. Salesin, "Image Analogies," Proc. SIGGRAPH '01, pp.327-340, Aug.2001.

[6] G. Ramanarayanan, and K. Bala, "Constrained Texture Synthesis via Energy Minimization," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol.13,

no.1, pp.167-178, Jan.2007.

[7] 中村剛士, 真野淳治, 世木博久, 伊藤英則, "毛筆フォントの掠れ・滲み処理システムについて," 情報処理学会論文誌, vol.38, no.5, pp.1008-1015, May.1997.

[8] 市川孝之, 井戸川知之, 堤正義, "数形形態学を用いた毛筆体フォントの掠れ・滲み処理," 日本応用数理学会論文誌, vol.10, no.3, pp.263-272, Sept.2000.

[9] Yutaka Goda, Takashi Nishiyama, Yosuke Hachiya, Tsuyoshi Nakamura, Hidenori Itoh, Masayoshi Kanoh, "Calligraphy Font Design based on Source Examples," NICOGRAPH 2010 春季大会, 2010.

[10] 内平博貴, 宮下芳明, "サンプリング書道: サンプラーのメタファを取り入れた書道による描画・閲覧手法の提案," 芸術科学会論文誌, vol.9, no.1, pp.10-19, 2009.

[11] 張憲栄, 真田英彦, 手塚慶一, "漢字楷書毛筆字体の計算機による生成," 電子通信学会論文誌, D, vol.67-D, no.5, pp.599-606, May.1984.

[12] 張憲栄, 真田英彦, 手塚慶一, "計算機による様々な書体生成に適合する筆触パターンの提案," 電子通信学会論文誌, D, vol.69-D, no.6, pp.885-892, Jun.1986.

[13] 真野淳治, 中村剛士, 世木博久, 伊藤英則, "毛筆書体におけるくりこみ群を用いたかすれ・にじみ表現," 情報処理学会論文誌, vol.38, no.4, pp.806-814, Apr.1997.

[14] 中村剛士, 松下政親, 世木博久, 伊藤英則, "フラクタルを用いた毛筆文字のかすれ表現について," 日本ファジィ学会誌, vol.8, no.3, pp.558-566, Jun.1996.

[15] 中村剛士, 真野淳治, 世木博久, 伊藤英則, "毛筆フォントの掠れ・滲み処理システムについて," 情報処理学会論文誌, vol.38, no.5, pp.1008-1015, May.1997.

[16] Hilditch C. J., "Linear skeleton from square cupboards," Machine Intelligence, vol.6, pp.403-420, 1969.

[17] V. Kwatra, A. Schödl, I. Essa, G. Turk and A. Bobick, "Graphcut Texture: Image and Video Synthesis Using Graph Cuts," ACM Trans. Graph., vol.22, no.3, pp.277-286, Jul.2003.

(2012年3月13日 受付)
(2012年8月12日 採録)

[問い合わせ先]
〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻
中村 剛士
TEL : 052-735-5475
FAX : 052-735-5475
E-mail : tnaka@nitech.ac.jp

著者紹介



ごうだ ゆたか
合田 裕 [非会員]

2008年名古屋工業大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年オークマ(株)入社。在学中はコンピュータグラフィクス、コンピュータビジョンの研究に従事。



なかむら つよし
中村 剛士 [正会員]

1998年名古屋工業大学大学院博士後期課程修了。1998年同大学助手。2003年同大学大学院工学研究科助教授。2007年准教授。現在に至る。CG、CV、HRI、ソフトコンピューティング等に関する研究に従事。ACM、IEEE、電子情報通信学会、日本人工知能学会、芸術科学会各会員。博士(工学)。



かのう まさよし
加納 政芳 [正会員]

2004年名古屋工業大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年中京大学講師。2010年准教授。現在に至る。博士(工学)。感性・知能ロボティクス、インタラクションの研究に従事。特に、人の感性に主導されるヒューマン・ロボット・インタラクションに興味を持つ。2006年日本感性工学会技術賞。2010年日本知能情報ファジィ学会論文賞。日本ロボット学会、人工知能学会、日本感性工学会、日本公衆衛生学会、情報処理学会、電子情報通信学会、IEEE各会員。

Example-based Artistic Calligraphic Font Design using Structural Similarity in Graphs by

Yutaka GODA, Tsuyoshi NAKAMURA and Masayoshi KANO

Abstract :

“Shodo,” which is Japanese calligraphy, is a form of artistic writing, used for writing Japanese language. It is the oriental beauty art similar to water color and oil painting. This study aims to propose and develop a method to design Japanese calligraphic fonts which contain artistic representations similar to actual “shodo” art. We especially focus on “kasure (in Japanese),” which is one of the most characteristic visual effects of “shodo” and adopt an approach using example based texture-synthesis in the field of non-photorealistic rendering to achieve high quality artistic fonts. Our proposed method doesn't require any technical expertise and high level operation skill to design “kasure” of Japanese calligraphic fonts.

Keywords : Computer Graphics, Non-photorealistic Rendering, Japanese Calligraphy

Contact Address : **Tsuyoshi NAKAMURA**

Department of Computer Science and Engineering Graduate School of Engineering Nagoya Institute of Technology

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya, 466-8555, JAPAN

TEL : 052-735-5475

FAX : 052-735-5475

E-mail : tnaka@nitech.ac.jp