

墨量の減少によるかすれ表現を可能とする仮想書道のための筆跡生成手法 Brushstrokes Generation Method for Virtual Calligraphy That Enables Faint Expression by Reducing the Quantity of Ink

金山知俊[†]

Chishun Kanayama

1. はじめに

穂に含まれる墨量の変化によるかすれ表現を可能とする仮想書道のための筆跡生成手法を提案する。習字や書道でもちいられる毛筆は長く柔軟な穂をもち、穂に含まれる墨の量と紙面上の穂の変形によってさまざまな筆跡を描くことができる。本研究で作成中の仮想書道システムはペンタブレットを入力デバイスとし、仮想の毛筆の穂は複数の線分による毛束で構成する。ペンの筆圧や動きによってそれぞれの毛束は変形・移動する。この毛束の紙面上の接触領域に複数のサンプル点を配置し、毛束の動きに伴って移動するサンプル点の軌跡を描くことで筆跡を生成する。穂に含まれる墨液は穂全体とサンプル点ごとに管理しており、サンプル点があつた墨の量は筆記により紙面に転写されることで減少するが、穂全体からそれを補う墨が供給される。この墨の供給が筆記による墨の減少に追いつかない場合、サンプル点の墨が空になり筆跡にかすれが生じる。また、穂全体が保持する墨の量が減少することで毛束のまとまり具合が変化し、筆跡全体にも影響を与える。この手法を仮想書道システム上に実装し、実際の書道に近い筆跡の再現を目指した。

2. 毛筆モデル

書道で用いる毛筆は長く柔軟な穂を持ち、紙面に押し付けて変形させながら動かすことで筆跡を生成する。本研究では筆跡の入力デバイスにペンタブレットを使用し、毛筆の穂を複数の線分で表現するモデル [3] を用いる。このモデルでは毛筆の軸から伸びる線分が紙面と交差する位置で折れ曲がることで穂の変形を模倣する。ペンの動きや筆圧に応じて紙面上の穂の長さや方向を変化させることで実際の毛筆の穂に近い動きを再現している。

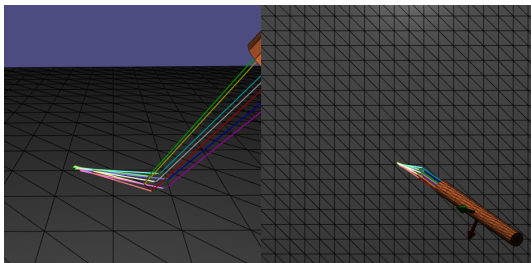


図 1: 穂のモデル

3. 筆跡の生成

実際の書道では毛筆の穂に含まれる墨液が紙面に転写されることで筆跡を生成する。本研究では墨の量を穂全体で管理している。毛筆モデルの穂を表す線分に沿って複数のサンプル点を配置し、それぞれのサンプル点は小さな墨液のタンクを持つ。そのサンプル点が紙面に接触すると小タンクから墨が紙面に供給され、減少した墨液は穂全体のタンクから供給される。紙面に接触した複数のサンプル点の軌跡を太さのある線分で描くことで筆跡を生成する。このとき、サンプル点から供給される墨の量が十分でなければ筆跡にかすれが生じる。

3.1. サンプル点からの墨供給による筆跡生成

サンプル点の移動による筆跡の生成は次の手順で求める

Step1. n ステップ目のサンプル点 i が描く筆跡の面積 $s_i(n)$ を次式で求める。

$$s_i(n) = w_i(w_i + |\mathbf{p}_i(n) - \mathbf{p}_i(n-1)|)$$

ここで w_i はサンプル点 i が描く筆跡の幅、 $\mathbf{p}_i(n)$ は n ステップ目のサンプル点の位置である。

Step2. 筆跡面積を塗りつぶすのに必要な墨量 $\overline{q_i^{paper}}$ を次式で求める。

$$\overline{q_i^{paper}}(n) = k^{paper} s_i(n)$$

ここで k^{paper} は単位面積を塗りつぶすのに必要な墨量である。

Step3. サンプル点から紙に供給される墨量 $q_i^{paper}(n)$ は

$$q_i^{paper}(n) = \min(\overline{q_i^{paper}}(n), k_i^{out} q_i(n-1))$$

ここで k_i^{out} はサンプル点 i の小タンクから紙への墨液供給係数、 $q_i(n-1)$ は前ステップのサンプル点 i の小タンクがあつた墨液量である。

このとき、 $q_i^{paper}(n) = \overline{q_i^{paper}}(n)$ ならサンプル点 i が描く筆跡は濃度 1 の墨色で塗りつぶされ、 $q_i^{paper}(n) < \overline{q_i^{paper}}(n)$ なら墨の量が不十分であるとして $q_i^{paper}(n) / \overline{q_i^{paper}}(n)$ の濃度で筆跡を描く。

Step4. 穂全体の墨タンクからサンプル点 i の小タンクに供給される墨液の量 $q_i^{in}(n)$ は

$$q_i^{in}(n) = \max(0, \min(\nu_i, k_i^{in} k_i^{grad} q_i^{max}))$$

[†]南山大学理工学部ソフトウェア工学科

$$k_i^{grad} = \min\left(1, \frac{2Q(n-1)}{Q_i^{max}}\right) \cdot \frac{q_i(n-1) - q_i^{paper}(n)}{q_i^{max}}$$

ここで v_i は小タンク i への墨液最大供給量, k_i^{in} は小タンク i への墨液供給係数, k_i^{grad} は穂全体のタンクと小タンク i の水位差, q_i^{max} は小タンクの最大容量, $Q(n-1)$, Q_i^{max} は穂全体のタンクの墨液量と最大容量である.

Step5. 穂全体の墨タンクからサンプル点に供給する墨液の量を減少させる.

以上の手順を繰り返すことで筆跡の画像を生成する.

4. 筆跡生成の試作と結果

上記の手法を作成中の仮想書道システムに実装し, 筆跡生成のテストを行った. 実装には libigl[1] と Eigen[2] を使用し, 入力用タブレットには WACOM 社の Intuos Pro を使用した. 今回のテストでは穂先の線分は 3 本とし, 線分に沿って 2mm 間隔で直線状にサンプル点を配置した. 使用したパラメータを表 1 に示す. 幅のあるパラメータについては穂先側を大きい値としている.

表 1: 筆跡生成のパラメータ

記号	値	内容
Q_i^{max}	3000	穂全体のタンクの最大容量
q_i^{max}	1	サンプル点 i のタンクの最大容量
w_i	2(mm)	サンプル点 i の筆跡の幅
k_i^{paper}	100000	塗りつぶしに必要な墨量
k_i^{out}	0.6~0.28	紙への墨液供給係数
k_i^{in}	0.8~0.3	サンプル点 i への墨液供給係数
v_i	0.8~0.4	サンプル点 i への墨液最大供給量

図 2 は筆跡として横線を描いた例である. 記録された筆跡の位置が分かるように背景色を薄い青にしている. 筆記当初は穂全体のタンクから十分に墨が供給されて黒い筆跡が得られているが, 徐々に墨の量が減少して十分な濃度の筆跡が得られなくなっていることが分かる.

図 3 は「永」の文字の例である. 書き始めは十分な濃度の筆跡が得られているが, 徐々に濃度が薄まり, 右の払いの段階では墨の量が大幅に減少していることが分かる.

5. おわりに

墨量の減少によるかすれの表現が可能な筆跡の生成手法を考案し, 作成中の仮想書道システムに実装して筆記テストを行った. テストの結果, 墨の減少に伴い筆跡が徐々に薄くなり, かすれの表現が可能であることを確認した. 現状は墨量の減少を筆跡の濃度で示しているが, 実際の書道では筆跡の一部が途切れたり, 穂先の分割や広がりによる筆跡の隙間が発生することがある. これらの表現を実現するためにはサンプル点をより細かく分割するか, サンプル点の筆跡にテクスチャによる変化を加える等の手法が考えられる. また, 墨液の挙動についてもより物理的に正確なモデルを導入



図 2: 筆記例 (横線)



図 3: 筆記例「永」

することを検討している. 加えて, 穂のモデル [3] についても力学的な穂の変形を考慮することでより実際の書道に近い仮想書道システムの完成を目指す.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JS19K12290 の助成を受けたものです.

参考文献

- [1] Jacobson A., Panozzo D., others: libigl - A simple C++ geometry processing library, <http://libigl.github.io/libigl/>, (2017).
- [2] Guennebaud G., Jacob B., others: Eigen v3, <http://eigen.tuxfamily.org>, (2010).
- [3] 金山知俊: 穂先の広がりや分割を表現可能な仮想書道のための毛筆モデルの提案, NICOGRAPH 2019, (2019/11/2).