

## 1D-04 ペインティングシステムのための三次元筆モデル

－しなり、乱れへの改良－

齋藤 豪

東京工業大学 精密工学研究所

### 1 はじめに

筆による描画はペンと比較して非常にその表現力が柔軟である。そこに着目して CG の分野でも幾つかの研究がされている [1, 2]。筆の表現力の豊かさは毛の自由度の高さによるものである。従って計算機上で筆のような入力方法を提供するためには毛の動きを計算する手法がまず考えられる。しかし、毛一本一本の挙動を計算することは急速に高性能化している現在の計算機能力でも困難である。また、必要とされる筆の特性は毛の一本一本ではなく、毛の房全体の形状変化である。そこで、房の形状を近似的に再現することが重要であると考え、筆のモデル化に関して研究を行っている [3]。

本稿では緻密な描画を行う場合に最も重要となる毛先の制御に関して、既存のペンタブレット型デバイスの問題点、及び、筆モデルの改良について述べる。

### 2 線を描く動作の分析

筆による描画中の柄の動きを考えると図 1 のような段階があることがわかる。まず、筆先を軽く接地し (A)、その点をストロークの描画開始地点とする。次に斜め下方へ柄を移動させて (B)、筆の接地領域の大きさを調整する。そして、柄の高さを保ったままもしくは調節しながら (C)、希望する太さの線を描画する。

ここで注目点の一つ目は (A) から (B) への動作で、毛の先端位置は固定したまま接地面を大きくする点である。この動作では、筆の高さの変化と水平

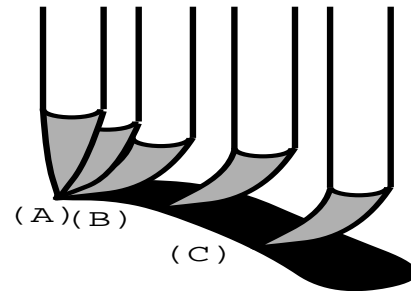


図 1: 線を描く時の筆の使い方

方向位置の変化を同時に調節して行う必要がある。二つ目の注目点は、(C) の動作において柄に対して一度しなった毛先の方向が筆の移動方向に関係なくその方向を維持する場合としない場合がある点である。

### 3 描き始めの問題点

本節では、図 1(A) から (B) への動作を計算機上の筆モデルを使って行う場合に生じる、入力ハードウェアの問題と筆モデル自身の問題について述べる。

#### 3.1 ペンタブレット型デバイスの問題点

マウスと比較して、ペンタブレット型デバイスは使用者の微妙な癖や技法を直接入力できるので有効である。これはペン装置が実際の筆記用具と同じ使用方法で使える点に加えて、マウスが  $x, y$  の二つの値を返すのみであるのに比較して、製品によっては筆圧、傾斜角の情報も返し、ソフトウェア側でその情報を利用してストロークに変化を持たせることができるからである。

しかしながら、筆のような入力を行うために重要な高さ情報の検知に関して、現在の多くのペンタブレット装置では、残念ながら機能上重視されていないようであり、未対応であるか階調が乏しい。

3D brush model for painting system – improvement for bending without unravelled hair –

Suguru Saito

Precision & Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology

4259 Nagatutacho, Midori-ku, Yokohama, Japan



図 2: 書き始めの筆の接地面の変化と毛先の位置

そこで、筆の高さ情報の代わりに筆圧情報を仮想筆の高さ情報と疑似的にみなし、描画作業を行う試行実験を行った。

その結果からは、筆圧検知型のペンタブレット装置では鉛筆等の筆記用具と同様に、ペン先を接地し、ペン先を移動させることなく筆圧を高める使用者が多いことが判明した。結果的に始めに置かれた毛先の位置から、毛先が押し出されて移動しつつ接地面が大きくなる図 2(B) で示されるような筆モデルの応答となる場合が多く見られた。現実にはこのような動作を行えば筆の房は乱れてしまうため描画ではまず行われないと考えられる。望まれる応答は、高さと同時に柄の位置も動かして、図 2(A) で示されるように毛先位置は移動せずに接地面が広がる変化である。

### 3.2 筆モデルの持つ制御上の問題点

以前提案した筆モデルの構造は、図 3 に示されるように、柄から伸びた一本の変形しない質量の無い棒とその先に取り付けられた質量を持つ点で構成されている [3]。柄の移動に伴い、逐次系全体の毛のエネルギー量が最小となるように毛の先端位置が決定される。簡単な構造であるためにエネルギー計算が容易であり、リアルタイムでの毛の房の計算が可

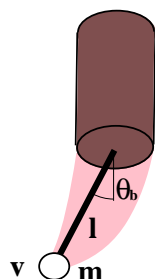


図 3: 以前に提案した筆モデルの構造

能なことから描画インタフェースに適したモデルである。しかしながら、毛先の位置を固定させたまま筆を下ろして行くためには、棒の部分が変形しないため、柄の下端の軌跡は中心を  $m$  の位置とする半径  $l$  の半球上を必ず通らなければならない。一方、本来の筆には、毛のしなりにより若干の軌跡の“遊び”があると考えられる。また、本来の筆では若干の力覚的フィードバックがあり、筆を下ろす際のガイドとなるが、一般的なペンタブレット装置を用いた場合にはそのような力覚的ガイドはない。

## 4 描き始めの問題点への取り組み

前節で述べた問題点に対する二つの面からの取り組みについて述べる。

### 4.1 ハードウェアドライバの改造

現在市販されている Wacom のペンタブレットの一部の製品は高さ情報を 4 ビットの値で返す機能を有する。しかしながら、高々最大 16 階調では、筆モデルを微妙に制御する情報として少ない。幸いにもその製品の X Window System 用のドライバはオープンソースで公開されているので、時間積分を行うことにより変化時の平滑化処理を行えるように変更を加える。こうして、図 4 の点線で与えられた原信号を平滑化して、実線で示されるように疑似的に量子化ビットを上げるようにする。

平滑化のための窓の関数には幅 80 サンプル数の平均関数を用いる。

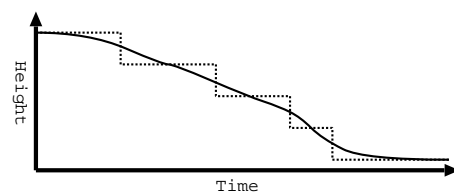


図 4: 平滑化処理により疑似的に量子化数を上げる

### 4.2 しなりによる遊びを考慮したモデルの改良

筆モデル自身の問題点は、毛先を動かさずに筆を下ろす際の経路に遊びが無い点である。そこで、図

3 のモデル中の棒の部分に長さを変化できるようにダンパを挿入し、図 5 のように改良する。ダンパは基準長以上には伸びないバネとして定義し、その蓄えるエネルギーはバネのエネルギーの式で計算する。計算された値は以前の提案モデルでのエネルギー計算式の結果に加算される。

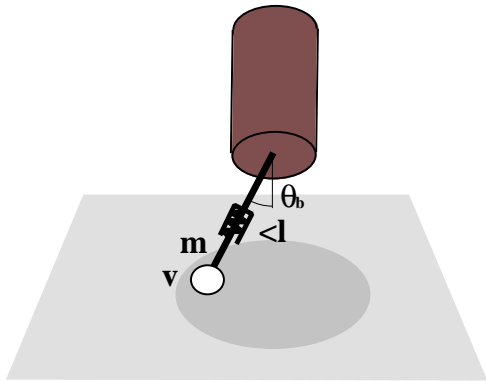


図 5: 新たにダンパを加えた筆モデルと毛先の存在可能範囲

棒の長さが可変となることから、毛先の位置を変化させずに、筆を下ろす動作に幅ができる。すなわち、柄の下端の移動可能域は毛先の位置を中心とする半径  $l$  の半球上のみとしていた制限が無くなり、毛先の質点が摩擦により一点に留まっていられる条件の下で、半径  $l$  以下の範囲という制限に緩められたのである。

この柄の下端の移動可能域の拡張は、実際の筆では毛のしなりによる若干の柄の位置の遊びに疑似的に対応する。

次に毛先の位置を基準とする代わりに、柄の下端を基準と考えると上で述べた移動可能域の拡大は次のようになる。

モデル中の棒の長さが可変となったことから、柄の位置、高さ、傾きが与えられたときの質点の位置の候補は、図 5 の円で表される内側となる。ここで、円の中心は柄の下端の直下、円の半径は  $l$  を斜辺とし、柄の高さをもう一辺とする直角三角形の残りの辺の長さである。円内のどの位置に毛先が存在すれば良いか分かれば、柄の状態を入力として、毛先を制御できることになる。

ある時刻での柄の位置、高さ、傾きが与えられた時、モデルの系全体の持つエネルギーを毛先の質点の位置でグラフ化すると図 6 となる。毛先の存在可

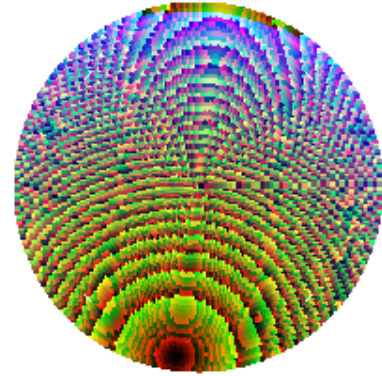


図 6: モデルの系全体のエネルギーを柄の位置に対する毛先の相対位置で表したグラフ

能域である円内で一番エネルギーが小さくなる地点が実際に毛先の存在する位置となる。シミュレーションではその位置を柄の状態が変化する毎に計算して求めている。

## 5 しなりとしなる方向の変化

本節では、図 1(C) の動作において、毛先のしなる方向が維持される場合とされない場合とがある点について、筆モデルで再現することを検討する。

毛筆等で用いられる筆にも毛の長短、太さ、腰、房の形状等様々な特性があるが、おおむね筆の先端部分のみが用いられている場合には、房のしなる方向は筆の移動に対して遅れながらついて行くように変化する。一方、筆を広く接地させるように柄を深く下ろして使う場合には、筆を移動させてもしなりの方向は始めにしなりを入れた方向を保つ。例として、書道で一を書く場合は書き始めのしなり方向を保ちつつ線が描かれる。一方で、ダルマの目を塗りつぶすときは、しなる方向が変化する。

このような観察から、図 5 で示された筆のモデルのエネルギー計算式にさらに図 7 で示される回転角の相対変化角を表す変数  $\theta_r$  を用いた回転しやすさを表すエネルギー関数の項を加えることとする。新たな項の関数をしなり回転角維持エネルギー関数と呼び、回転角を大きく変化させる場合には大きなエネルギーを必要とする抵抗の仕事として定義する。さらに、しなりの回転角を変化させる時の抵抗は、しなりの度合に対応する  $\theta_b$  の大きさによって変化すると考えられる。そこで、今回は回転角維持エネルギー

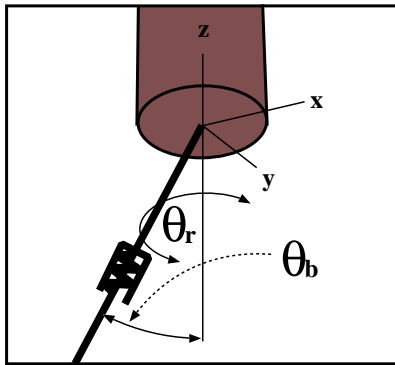


図 7: しなりの回転角の相対変化角を表す変数の定義

関数  $E_r$  を次のように仮定する。ここで、 $R(\theta_b)$  は  $\theta_b$  による単調増加関数であり、今回は  $k_r x^2$  としている。

$$E_r = \int_0^{\theta_r} R(\theta_b) x dx = \frac{1}{2} R(\theta_b) \theta_r^2 \quad (1)$$

## 6 描画実験

第 4 節および第 5 節における改良の結果を報告する。

### 6.1 描き始めの問題点に対する改善結果

力覚的なフィードバックがなく、視覚的な応答のみという状況は以前と変わらない中で主観的な実験結果であるが、描き始めの際に毛先の位置のずれが大きく減少したことが確認された。現実では房の乱れが発生してしまうような、毛を押し戻すような応答が減ったため、以前のモデルと比較して実際の筆使いに近い反応を示せるようになったと言える。ペンタブレット装置のドライバの改造に関しては、ペンをタブレットに接地させずに描画する方が、ストロークの描き始めでユーザが位置と高さを同時に制御しやすいようであった。しかし、今回の実装では、時間平均により高さ情報の量子化数を増やしているために、たえず柄の高さが大きく変化している場合には良いが、変化が遅い場合には、量子化数は上げることが出来ない。メーカーには高さ情報の検知能力の向上に関して今後期待したい。

### 6.2 しなりの回転角の保存性に関する結果

書道での一の書き始めについての描画例を図 8 に示す。書き始めで斜めに太く入り、その太さのまましなり角度を保ちつつ横方向へ移動し、終端でもその角度を保っているために終端の輪郭部分の勾配も斜めに描画することができている。一方で、止めで現れる、筆の持ち上げにより生じる三角の止めの再現が完全には出来ていない。実際の筆では持ち上げる時に、しなりの回転が生じるのであるが、その動作の部分でのモデルの反応が異なっているためと考えられる。式 (1) の改良が必要であると考えられる。



図 8: 一の例

## 7 おわりに

本稿では、ペインティングシステムのためのリアルタイムで計算可能な三次元筆モデルに関して、よりの確な制御が可能となるようにモデルの改良とペンタブレットデバイスにおける高さ情報の検知の重要性について述べた。

改善が見られる一方で、6.2 節の結果のように筆モデルの応答は若干実際の筆と異なる点が存在することも判明した。今後は、より実際の筆に近い応答をする筆モデルを構築することが簡易なモデルで可能であるか検討を行い、描画結果及び、柄の軌跡データの両面から評価する予定である。

## 参考文献

- [1] Guo, O., "Generating realistic calligraphy words", *IEICE*, Vol.E78A, No.11, pp.1556-1558, 1996
- [2] Lee, J., "Simulating Oriental Black-Ink Painting", *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.19, No.3, pp.74-81, 1999
- [3] 齋藤 豪, 中嶋 正之, "インタラクティブペインティングのための力学的三次元筆モデル", *情報処理学会論文誌*, Vol 41, No.3, pp.608-615, Mar (2000)