5D－3

描画の複雑さと時間的性質に基づく手描き線画のゆらぎ評価モデル

神前暁　八木啓介　池田克夫
京都大学

1 はじめに

線画理解において扱われる手描きの線画では，接続関係など線同士の論理構造が必ずしも正確には表現されていない．これは，線がフリーハンドで描かれるときにゆらぎを含むためである．したがって手描き線画を構造解析して理解するためには，描かれた線に含まれるゆらぎを評価することが重要である．

従来のゆらぎを評価する研究では描かれた線画のみを利用する静的な処理が主流であった．しかし，線のゆらぎがその描かれる速度によっても変化すると考えると，描き終わった線画を利用するだけでは十分にゆらぎを評価できない．そこで本研究では，描画に要する時間を利用してゆらぎを評価するモデルを検討する．

2 ゆらぎと許容度

本稿では，描画者が描こうとイメージした理想の線と実際に描かれた線とのズレの大きさを，ゆらぎと考える．しかし，単に描かれた線を観測するだけでは描画者が描こうとした理想の線が判らないため，ゆらぎを測定することができない．

そこで本研究では描画者に対して，理想とする線を生成してゆらぎとしての許容度を加えた描画例を提示し，これを描くのに要する時間を測定する．すなわち，ある形状の線を許容度wのもとで描画するのに時間Tを要したとすると，逆に時間Tで描かれた同じ形状の線にはゆらぎwが含まれているとみなすのである．

3 複雑さ

3.1 許容度・時間・複雑さ

描画例をもとにして線を描く方法には，描画例をなぞる方法，別画面に表示された描画例を見ながら描く方法などが考えられる．これらのうち本研究では，描画例を枠として表示し，描画者にその中をペンでなぞらせる方法を用いる．

このように，定められた枠の中を通過するのに要する時間を評価する研究はCHIの分野などでも行われている[1]．[1]では，直線に幅を設けた帯状の枠と曲率が小さくなるにつれて幅が広がる螺旋状の枠について個別にモデル立てて，その中を通過するのに要する時間を評価している．

本研究では，描画者が自由に描く曲線を対象とするため，描かれる線は直線や螺旋状の線だけでなくあらゆる形状をとりうる．しかし，あらゆる形状に対して[1]のような個別のモデルを立てて評価することは不可能である．そこで本研究では，描かれる自由曲線を一つのモデルで統一的に評価する方法を考える．

一般に複雑な形状の線を描こうとすると，描画には長い時間がかかる．逆に，単純な形状の線ならば，短時間で描くことができる．そこで本研究では，線の複雑さを考慮することで，線の複雑さと描画時間に基づいて自由曲線のゆらぎを統一的に評価するモデルを構築できると考える．そのために本稿ではまず線の複雑さについて検討し，描画時間・許容度との関係から，その妥当性を実験検証する．

3.2 折れ線近似に基づく線の複雑さ

3.2.1 線のデータ構造

本研究ではオンラインで描かれる線画を対象とする．このとき観測されるデータは，ある時刻でのペン先の位置（クリッピングポイント）とその位置をペン先が通過した時刻である．線はクリッピングポイントを順に繋いだ折れ線で近似される．以下，このクリッピングポイントを繋ぐ線分をセグメント，このセグメントが繋がった折れ線をストロークと呼ぶ．ストロークはセグメントが次々に方向転換しながら繋がったものと考えられるので，ストロークの複雑さはセグメントの長さ・方向転換の大きさ・方向転換の頻度などで決まるものと考えられる．これらのうち，従来研究[1]では扱われていなかったセグメントの方向転換の大きさとその頻度についてまず考える．

3.2.2 ストロークの複雑さ

我々はまず，セグメントの方向転換の大きさの総和をストロークの複雑さとして定義し，複雑さと描画の所要時

A vagueness model of freehand drawings based on geometrical complexity of drawn lines and elapsed time to draw.
KOSAKI Satoru, YAGI Keisuke, IKEDA Katsuo.
Kyoto University.
Yosida Hon-mati, Sakyo, Kyoto city, 606, Japan.

間との関係を調べる実験を行った．しかしながら，セグメントの方向が転換していく系列が考慮されていないためか，有意な結果を得ることができなかった．

そこで次に，形は限定されるが以下のように系列を考慮した複雑さを考える．いま，あるストローク上の i 番目のセグメント s_i の方向 θ_i を以下のように定義する．

$$\theta_i = \theta_0 + i \cdot r_0 + \frac{1}{2} i(i-1) \cdot d \qquad (1)$$
$$\theta_0, r_0, d : \text{一定}$$

このとき,θ_0は先頭セグメント s_0の方向，r_0は s_0と s_1が成す角,d は r_{i+1}と r_iの差分となる．従って,$d = 0$ のときストロークは円弧になる．r_0と d が同符号でそれらの絶対値が大きいとき，ストロークは進むにつれて曲率が小さくなる螺旋状となる．さらに $d = r_0 = 0$ のときストロークは直線になることから，r_0と d がストロークの複雑さを決めているといえる．

4 実験

4.1 実験環境

ストロークの許容度・長さ一定のもとで，複雑さを表す $r_0 \cdot d$ と所要時間 Tの関係を明らかにするため，以下のような実験を行った．

入力には液晶ペンタブレットを用いる．この液晶ペンタブレット上に式 (1) に基づいて生成するストロークに一定の幅を与えたパスを描画例として表示し，このパスをなぞるのに要する時間を測定する．ただしこのパスの幅は 12 画素，各セグメントの長さは 20 画素，セグメントの個数は 20 個とした．

4.2 実験結果と考察

r_0と d の値を様々に変化させて Tを測定した結果を図 1 に示す．r_0及び d の単位はπラジアン,Tの単位はミリ秒である．

図 1 のグラフは Tの値によって r_0-d 平面上で図 2 のように大きく 3×3 の領域に分けることができる．図 2 中の各セルは対応する領域での Tの値の相対的な大きさを表している．

まず Tの値が最も小さい領域ではパスがほぼ直線であることから，この結果は妥当なものといえる．次に Tの値が比較的小さい領域では，初めは大きかったパスの曲率が次第に小さくなり，パスは直線に近くなっている．従ってこの結果も妥当なものといえる．逆に Tの値が大きい領域では，パスの曲率が初めから大きいうえに更に増加していくことから，この結果もまた妥当なものといえる．

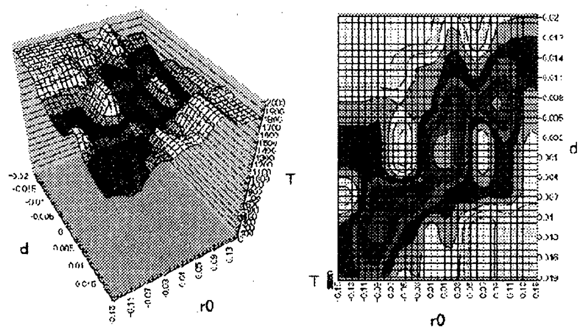

図 1: 実験結果

-0.05 0.05

大	中	小
中	最小	中
小	中	大

-0.007 0.007
d
r0

図 2: 各領域での所要時間

これらに対して Tの値が中程度の領域では,$d \cdot r_0$の値によって傾向が異なる．まず,$-0.05 < r_0 < 0.05$ の領域では，初めは小さかったパスの曲率が徐々に大きくなるため直線に近い部分が少ない．従って Tの値がやや大きくなることは妥当といえる．一方パスがほぼ円弧となる $-0.007 < d < 0.007$ の領域では，平均すると中程度の値をとるものの，突出して大きな値をとっている部分が存在する．これが測定誤差により生じたものか，円弧を描くときの傾向なのかについては更に検討を要する．

5 おわりに

本研究では，描画の複雑さと時間に基づいて手描き線画のゆらぎを評価するモデルについて検討した．その中で特に本稿では，ゆらぎを一定にした場合にストロークの複雑さとそれを描画するのに要する時間とが示す関係に着目し，これを明らかにする実験を行った．

実験の結果はストロークの曲率に応じて所要時間が増加するというほぼ妥当なものであった．ただし，ストロークの形状が円弧の場合については必ずしも一定の傾向がみられなかったため，さらなる検討が必要である．

参考文献

[1] Johnny Accot, Shumin Zhai : “Beyond Fitts’Law: Models for Trajectory-Based HCI Tasks” ,CHI97 Electronic Publication:Papers