

筆圧・傾き推定のための ペングリップ型デバイスの提案と実装

近藤 杏祐^{1,a)} 寺田 努^{2,3,b)} 塚本 昌彦^{1,c)}

概要：スタイラスペン（ペン型入力デバイス）はタブレット端末上でのデジタルイラスト作成などに使用されるケースが増えつつある。一般的に普及しているスタイラスペンは、筆圧や傾きの検知機能をもたず、単に指先のかわりのポインティングデバイスとして使用されており、ペン型である利点を十分に活かしていない。そこで、本研究では特にデジタルイラスト作成者に向けた、一般的なスタイラスペンに筆圧や傾き情報を付与するための、着脱可能なペングリップ型デバイスを提案し、性能を評価した。

1. 研究背景と目的

ペンは古くから我々が慣れ親しんだツールの一つであり、ペンによる筆記は手軽で、完成された情報生成手段である。スタイラスペン（ペン型入力デバイス）もその特徴をもち、タブレット端末の入力デバイスとして使用されるケースが増えつつある。現在、スタイラスペンはタブレット端末などでのデジタルイラストの作成や手書き文字入力など幅広い用途で利用される。しかし、一般的に普及しているスタイラスペンは、静電容量方式のものが多く、これは筆圧や傾きの検知機能をもたず、単に指先のかわりのポインティングデバイスとして使用されており、ペン型である利点を十分に活かしていない。筆圧や傾きの検知機能をもつ、電磁誘導方式、アクティブ ES 方式などの方式を採用したデジタルスタイルラスもあるが、それら是对応製品でしか使えないという問題点がある。

特にデジタルイラスト作成において、筆圧やペンの傾き（仰角）の情報は重要である。筆圧はデジタルイラストにおけるインクの濃淡やブラシの太さなどを表現するために用いられ、ペンの傾きはデッサンなどでの鉛筆を寝かせた表現などに利用されるパラメータである。

重田はペンを把持する指先の力と筆圧との関係について、把持力が増加すれば筆圧も増加する傾向が見られた [1] と

述べる。このことから、ペンの状態は把持する力と関係があると考えられる。ペンの状態と把持する力に関する研究として、山下らはペンの把持力の時系列変化から、ペンと紙面との接触・非接触を判別することで、筆記量を推定するシステムを提案している [2]。このシステムからもペンの状態とユーザの把持力には関係があることがわかる。しかし、このシステムではペンの筆圧や傾きといった詳しい状態は推定できていない。

そこで、本研究では特にデジタルイラスト作成者に向けた、一般的なスタイラスペンに筆圧や傾き情報を付与するための、着脱可能なペングリップ型デバイスを提案し、性能を評価した。

2. 提案システム

2.1 システム構成

本研究で提案するペンの状態の推定システムでは、図 1 に示すように、3D プリンタによって作成したホルダーに 3 つの 3 軸力覚センサ（タッチエンス社、ショックチップ SP タイプ）を手の母指・示指・中指の 3 指それぞれに当たるように格納したペングリップ型デバイスをペンに装着する。3 軸力覚センサは 3 軸方向の力を検知できるセンサである。実装したデバイスは太さの合うペンであれば取り付けや取り外しが容易にでき、汎用性が高い。

ペングリップ型デバイス内のセンサから出力電圧を評価基盤が測定し、そのセンサ値を PC で分析し、ペンの筆圧と傾きの推定を行う。

2.2 推定手法

筆圧の推定は、k 近傍法を基にした手法で行う。センサ

¹ 神戸大学工学部
Faculty of Engineering, Kobe University

² 神戸大学大学院工学研究科
Grad. School of Engineering, Kobe University

³ 科学技術振興機構さきがけ
JST PREST

a) kondo-kyosuke@stu.kobe-u.ac.jp

b) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tuka@eedept.kobe-u.ac.jp

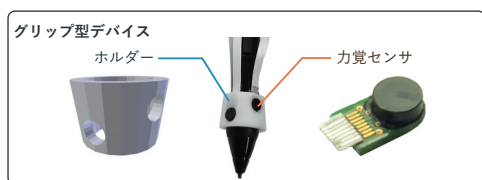


図 1 提案デバイス

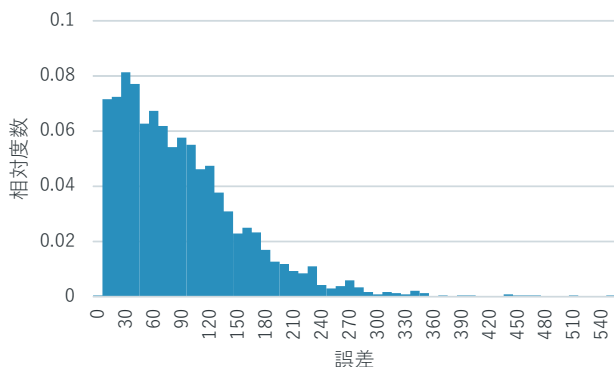


図 2 評価実験における推定筆圧の誤差のヒストグラム

から取得する 9 個 (3 指 × 3 軸) のセンサ値に 0.25 秒 (5 サンプル) の平均・分散を加えた合計 27 個を特徴量とする。正解データとして、センサからの特徴量セットとペンタブレットによって取得した正解筆圧値を対応付け、記録する。テストデータが与えられた場合、正解データとテストデータで特徴量の 27 次元ユークリッド距離を算出する。ユークリッド距離が短い k 個の正解データを抽出し、それらの正解筆圧値の平均を推定筆圧とする。

傾きは、取得した 9 個のセンサ値をランダムフォレストを利用して推定する。デジタルイラスト作成において傾き情報が利用されるシチュエーションとして、鉛筆や筆のようなブラシでの寝かせた表現やマーカーなどの面によって太さが違うブラシでの表現などがあげられるが、これらの多くは 1 つのストロークが概ね一定の角度である。よって傾きを 10° ずつに区切って分類を行う。ペンの傾きの正解データは筆圧と同様にペンタブレットで事前に正解仰角を取得し、学習器を作成する。

3. 評価実験

提案した推定手法の性能を評価するための実験を行った。

3.1 筆圧推定

筆圧推定において、正解データとして、5 回、合計 30 分のイラスト描画時における特徴量セットとそれに対応する正解筆圧値を取得し、テストデータとしては約 7 分のイラスト描画時における特徴量セットを取得した。正解筆圧値測定用のペンタブレットは Wacom 社の Intuos4 を使用した。正解データにおいて、筆圧値の低いデータサンプル数が少なく、データの不均衡が見られたため、オーバーサン

	Prediction							Recall
	a	b	c	d	e	f	g	
a = thirty	0	104	23	6	12	0	0	0.00
b = forty	2	61	50	8	20	0	0	0.43
c = fifty	0	53	174	50	4	0	0	0.62
d = sixty	0	5	46	44	61	0	0	0.28
e = seventy	0	12	13	87	29	0	0	0.21
d = eighty	26	9	18	0	32	26	0	0.23
e = ninety	0	0	0	0	5	0	0	0.00
Precision	0.00	0.25	0.53	0.23	0.18	1.00	0.00	0.34

図 3 傾き推定の Confusion Matrix

プリングを行った。テストデータにおける正解筆圧値と推定筆圧値との絶対誤差を算出した。

$k=38$ とした場合の推定筆圧と正解筆圧との絶対誤差のヒストグラムを図 2 に示す。テストデータにおける正解筆圧は 0~769 の範囲であり、平均絶対誤差は 85.2 とテストデータにおける最大正解筆圧値の 11.1% の誤差となった。また、最大正解筆圧値の 20% 以内の誤差になったデータが全体の 85% であり、多くの場合で提案手法が有効であることが確認でき、最小誤差は 0 と正解筆圧値と同じ筆圧が推定できたが、一方で最大誤差は 542 と大きくなった。

3.2 傾き推定

傾きは、実験で今回使用したペンタブレットで取得可能な筆記中の仰角 $30^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で 10° ずつ (30° 以上 40° 未満, 40° 以上 50° 未満, ..., 80° 以上 90° 未満, 90°) の分類をする。正解データおよびテストデータは 30° 台となるように意識して 10 回のストローク, 40° 台となるように意識して 10 回のストロークと 80° 台まで描画した。

ランダムフォレストによって分類した結果を 10-fold cross-validation で推定精度を評価した。推定結果を図 3 に示す。実験で行った分類では、F 値は 0.341 と低い値になっているが、隣接するセルにデータが多く存在しており、おおまかには推定できていることがわかった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、ペンの筆圧・傾きを推定するためのペンダグリップ型デバイスを提案した。筆圧推定の評価実験より、平均誤差が最大正解筆圧の 11.1% の認識精度で推定できることを確認した。傾き推定の評価実験により、F 値で 0.341 の認識率を得られた。今後は把持状態には現れにくいペンの状態の変化をアプリケーション上で補正するなどの対策や特徴量の検討が必要と考えられる。

参考文献

- [1] 重田定義: いわゆる ONE HAND WRITING の負荷について-複写枚数と筆圧・握圧との関係, 産業医学, Vol. 15, No. 3, pp. 254-255 (May 1973).
- [2] 山下真由, 伊藤雄一, 高嶋和毅, 尾上孝雄: ペン把持力のセンシングによる筆記量推定手法, ヒューマンインタフェース学会研究会研究報告集, Vol. 18, No. 5, pp. 3-8 (June 2016).