

微細な筆圧変化を用いたシート判別手法の提案

瀬崎 夕陽¹ 関口 祐豊¹ 中村 聡史¹

概要: ペンで筆記をする際、筆圧には必ず微細な変動が生じる。この変動は筆記対象物の表面特性により異なる特有のパターンを示すが、こうした表面特性と筆圧変動に着目した研究は十分に行われていない。本研究では、この微細な筆圧変動を利用して筆記対象物を識別可能とする手法の実現を目指す。具体的には、一定間隔で溝を設けたシートをディスプレイ上に配置し、筆記時の筆圧変化をもとにシートの識別を行う。既存のディスプレイとデジタルペンのみで実現可能な新しい筆記対象識別手法を提案する。本稿では、まずこの識別機構の精度と実用性を評価するため、溝の幅が6種類のパターンからなるシートを作成し、筆圧のピークに基づき判定する手法の精度検証から、適切な溝の幅について検討を行った。その結果、1.0mmと2.0mm幅は識別可能であるが、1.0mmと1.5mmが共存する場合に識別は困難であることなどがわかり、3種のシートに限定すると精度0.98、4種のシートに限定すると精度0.90で推定可能であることなどがわかった。

1. はじめに

タブレット上でのペン入力、ペンの色、太さ、ブラシパターン、レイヤ操作、画像挿入など、多様な機能が、単一のソフトウェア環境に統合され、ユーザは従来の紙上では困難だった幅広い表現が可能になるなど、紙媒体を超える表現手段となりつつある。しかし、この多機能化は同時に、ツールバーやメニューといった階層的なUI要素への頻繁なアクセスを伴う。その際、ユーザはツール名やアイコンの記号意味を認識し、小さなUI要素を誤操作なく選択する必要があり、操作の手間や認知的負荷がかかってしまう。これらの過程は、児童や高齢者などの初心者層にとって習得および操作の難易度が高いのはもちろんのこと、熟練者層にとってもスムーズな創作活動を阻害しうるものである。

こうした課題に対する有効なアプローチとして、実世界の物理インタフェースを介してデジタル表現を行う手法に関する研究が進められている [1–3]。Rekimoto らの DataTiles [4] は、透明なタイルに埋め込まれた無線タグ (RFID) を用いて物理的な操作と視覚的なインタフェースを融合させたシステムであり、タイルをディスプレイ上に配置するだけで対応する機能が起動し、視覚情報と物理的操作を統合して使うことが可能となる。ユーザはタイルを移動させたり、組み合わせたりするだけで複雑な機能を簡単に操作できるため、視覚的でわかりやすい操作感が得ら

れる。しかし、これらを含めた従来の研究は、外部カメラや電子デバイスの導入を前提としており、手間や製造コストが課題としてあげられる。もしこれらの追加デバイスを不要にできれば、システムの普及が一層進み、結果として多様な分野での利用が期待される。

ここで、筆記時にペンが筆記対象物の凹凸に引っかかると、微細な筆圧の変化が生じる。例えば、筆記を行う際に筆記対象物がザラザラした表面のものでは筆圧変化が小刻みに起こる一方、滑らかな表面では筆圧変化が少なくなることが予想される。このシステムが感知可能な筆圧変化が、ユーザにとって不快でなく、またその表現行動を阻害しないものであれば、その筆圧変化自体をシステムへの入力として用いることができると考えられる。

そこで本稿では、ペン入力時に生じる微細な筆圧変化に着目し、追加デバイスに頼らず、物理インタフェースのみを用いたデジタル表現手法を実現する第一歩として、シートに施した浅い溝 (テクスチャ) のみを活用したシート識別手法を提案する。具体的には、Rekimoto ら [4] が示した DataTiles における Grooved Widget のコンセプトをさらに簡素化し、極めて浅い溝を有するシートを敷くことで、電子タグやカメラシステムを一切用いずに、ペン入力時の微細な筆圧変化を活用してシートの識別を可能とすることを旨とする。

本稿では、「浅い溝を有するシートのテクスチャごとに、ペン先が受ける微細な筆圧変化にもとづいてシートの識別が可能となる」という仮説を立て、異なるテクスチャを有する複数のシートを用いて、ペン入力時の筆圧変化の特性

¹ 明治大学
Meiji University

を分析することで仮説を検証する。ここでは特に、6種類のシートを試作し、そのシート上で筆記した際のピークのパターンから、識別可能性を高める溝の幅のパターンについて検証を行う。

2. 関連研究

2.1 物理的なデバイスを用いた操作支援に関する研究

タブレットのインタラクション強化を目指した研究は様々行われており、タブレット上に物理デバイスを配置して操作を支援する手法や、ペン型デバイスで手書きを支援する手法が提案されている。

Fitzmaurice [2] はタブレット上に箱型の物理的なハンドルを配置し、それを介して電子的または仮想的なオブジェクトを直接制御することが出来る「Bricks」という物理的アーティファクトを提案した。Bricksはx-y平面上の位置と方向情報を提供し、それに応じてディスプレイ内のオブジェクトの配置や向きを制御する。また、複数のBricks使用によってスプラインカーブや図形の拡大・縮小など、様々な操作を実現した。

青木ら [5] は、枠型物理オブジェクトによる詳細情報閲覧のための操作方式「くるみる」を提案した。ドーナツ状の物理オブジェクトに複数の導電部を配置し、枠の内側に表示されているオブジェクトの移動および方向制御、また画面に対して拡大縮小を可能にした。

同様に、Neng-Haoら [6] は物理的なオブジェクトを用いるが認識の方法に高周波のタッチ間隔を用いた「TUIC」を提案した。小さな回路を用いたTUICはその複数箇所タッチおよびアンタッチ動作を実現し、位置および方向を制御している。同時に、指やペンによるタッチ動作も併用可能にしている。高速での移動には課題を残したものの、平行移動と回転の信頼性の高いトラッキングをサポートしている。

2.2 筆圧を用いた研究

筆圧の変化を分析し、個人の特性や心理状態を推定する研究も行われている。関ら [7] は筆圧変化の特徴を利用して筆記鑑定を行い、筆記者を特定することを試みた。その結果、有意差は得られなかったものの、筆圧変化と筆跡の形態に一定の相関関係があることを示した。さらに、加藤ら [8] は、筆圧の微小な変化をもとに作業タスクによる疲労度を測定する手法を提案し、肉体的負荷が強い作業では正の値、精神的負荷が強い作業では負の値を示している。これらの研究ではユーザの意識の外における筆圧変化を分析しており、筆圧からユーザ自身が認識できない情報を特定しようとしている。筆圧は個人ごとに異なり、非常に多種多様なものであるが、筆記対象物や筆記物によっても異なる特徴を示すものである。

筆圧を活用して平坦なディスプレイ上に触覚的なフィー

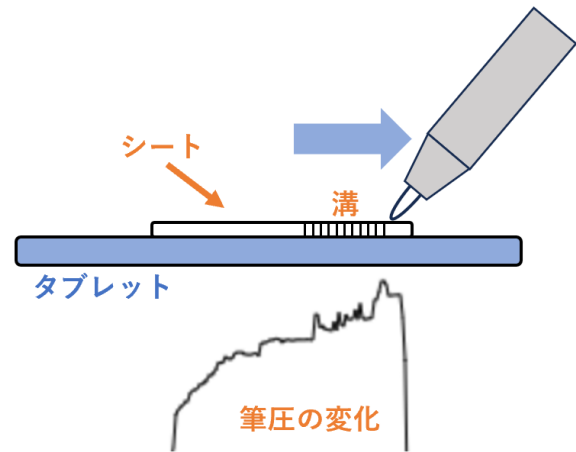


図 1: 溝による筆圧の変化

ドバックを提供し、筆記を支援する研究も存在する。安藤ら [9] は知的発達に遅れのある中学生を対象に、音によるフィードバックを通じて適切な筆圧感覚を獲得させる手法を検証した。その結果、有意差は得られなかったものの、取り組み意欲の向上が観察された。

以上のように、筆圧変化に関する研究は多く存在するものの、筆記対象物そのものに着目した研究は少ない。また、筆記者の特定を目的とした研究は試みられている一方で、筆記対象物の判定に焦点を当てた研究はほとんど存在しない。本研究では、筆圧変化を多面的に捉える視点から、筆記対象物による筆圧変化に焦点を当て、その判定を可能とする手法を提案し、有効性を検証するものである。

3. 提案手法

3.1 概要

本研究では、タブレットのディスプレイ上に規則的な溝のあるシートを敷き、その上で筆記する際に生じる微小な筆圧変化を利用したシート識別手法を提案する。具体的には、規則的な溝のあるシートを筆記対象物とし、その溝上をペンが直角に通過する際に生じる微小な筆圧変化を活用する。この筆圧変化に基づき、一定距離での変化回数や間隔の規則性を利用して、どのシートが使用されたかを判別することを旨とする。筆圧変化の量は、溝の幅や規則性に応じて異なる特徴を示すと予想される(図1)。例えば、間隔幅が1.0mmのシートでは、1.0mmごとに特徴的な筆圧変化が発生すると考えられる。このようにして、筆記時の筆圧変化データから溝による変化箇所を推測し、その間隔を測定することで溝の規則性を明らかにし、シートの種類を判別するための基礎データを構築する。

本研究の展望として、リアルタイムでのシート識別の実現を目指しており、本稿では、その基礎調査として、筆記後のストロークデータを対象として分析を行う。具体的には、規則的な縦溝のあるシートを用いて取得した筆記データから、溝間隔の規則性などを特徴量として抽出し、シー

トの種類を判別する手法を提案する。この判別にはランダムフォレストモデルを用い、複数のユーザによる多様な筆記行動に対しても有効性を検証するための実験を行う。

3.2 特徴量とその前処理

筆記対象物を推定するためには、筆圧変化からピークを検出し、その回数や規則性を利用する必要がある。本研究では、これらの情報を特徴量化し、筆記対象物の推定に利用する。具体的には、筆圧の微分値が正から負に変化する地点をピークとみなし、ストローク中のピーク回数を計測する。また、ピーク間の X 軸方向の距離をもとにピーク間隔幅を算出し、このピーク間隔幅の頻度を利用することで、シートの推定を行う。さらに、1 ストローク内での筆圧変化の標準偏差を算出し、筆圧の変化特性も特徴量として利用する。

これらの特徴量を用いることで、デバイスから取得した筆圧データをもとに、筆記対象物の種類を推定する。

3.3 シート試作

本研究で使用するシートを決定するにあたり、異なる溝特性を持つシートを試作し、段階的に選定を進めた。最初に溝の形状を検討し、次に溝の間隔や適切な溝の深さについて検討を行い、最終的に実験で使用するシートを決定した。

まず、溝の形状については、格子、直線、斜め線、円の 4 種類を比較した。筆圧変化を単純化し、その特徴を明確にするため、平面上で 1 軸方向に限定できる単純な縦線を選択した。他の形状は単純ではあるものの、x 軸と y 軸の両方向の動きを考慮する必要があり、取得データが複雑化しすぎると判断し除外した。また、今回は特に x 軸方向（縦溝）に限定して検討を行った。

次に、縦溝の間隔幅について検討した。等間隔での比較を行った結果、溝間隔が 0.5mm 以下の場合、筆圧変化が生じにくく、ピークの間隔が適切に測定できないこと、3mm 以上ではデータの取得が不安定な場合が多かった。このため、溝間隔を 1.0mm~2.0mm に絞り込んだ。また、等間隔な溝だけでなく、1.0mm と 1.5mm、1.0mm と 2.0mm など間隔の異なる溝を交互に配置する組み合わせについても検討し、これらの条件を満たすシートを試作した。

試作した 6 つのシートを以下に示す (図 2)。

- シート 1: 1.0mm 等幅
- シート 2: 1.5mm 等幅
- シート 3: 2.0mm 等幅
- シート 4: 1.0mm と 1.5mm が交互
- シート 5: 1.0mm と 2.0mm が交互
- シート 6: 1.5mm と 2.0mm が交互

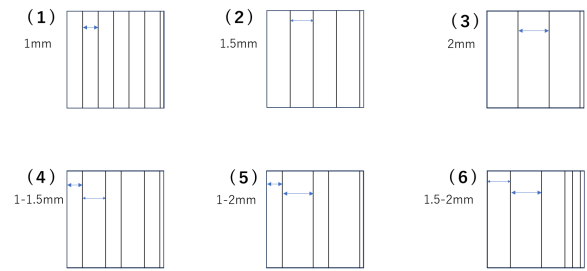


図 2: 実験で用いるシート

シートの素材には、一辺 50mm、厚さ 3mm の透明な正方形のアクリル板を使用した。溝の作成には光学レーザーカッター (Trotec) を用い、縦方向に 50mm の長さで刻んだ (図 3)。

規則的に溝が入ったシート上での筆記は、筆圧変化がその溝の規則性に従って周期的に発生すると考えられる。例えば、間隔が等幅で 1.0mm のシートを使用した場合、筆圧変化も溝と同様に 1.0mm の間隔で発生すると予測される。この 1.0mm に相当するディスプレイ上のピクセル数ごとに筆圧変化が記録されることで、物理的な溝の間隔がデータとして明らかとなる。このようにして、筆記時の筆圧変化データから溝による筆圧変化箇所を推測し、その間隔 (ピクセル数) を測定することで溝の規則性を明らかにし、シートの判別に用いる。本稿では、上述の 6 つのシートを用い、それぞれの筆圧変化データを取得し、判別手法の精度を検証する。

4. シートを用いた筆圧データセット構築

4.1 データセット構築用システム

筆圧データセットを構築するため、特徴量と正解データを収集するシステムを Web システムとして、JavaScript を用いて実装した (図 4)。なお、この画面上の黒背景の部分 (縦横 250px) にちょうど試作したシートが収まるようになっており、シートをこの黒背景の部分に図 5 のように配置し、手書き入力を行ってもらおう。

システムは以下の手順で動作する。

- (1) シート番号を選択
- (2) 筆記画面の表示
- (3) 筆記タスクに必要回数取り組む

各シートで筆記が終了すると、システムは次のシートに自動で移行する。この手順を繰り返し、全てのシートについて必要回数分のストロークデータを収集する。

4.2 予備検討と対象とする描画ストローク

実験で使用するシートには縦に溝が入っているため、縦の筆記がメインの形では溝の影響を受けない可能性がある。そこで、横方向に一定距離以上の筆記があるものが重

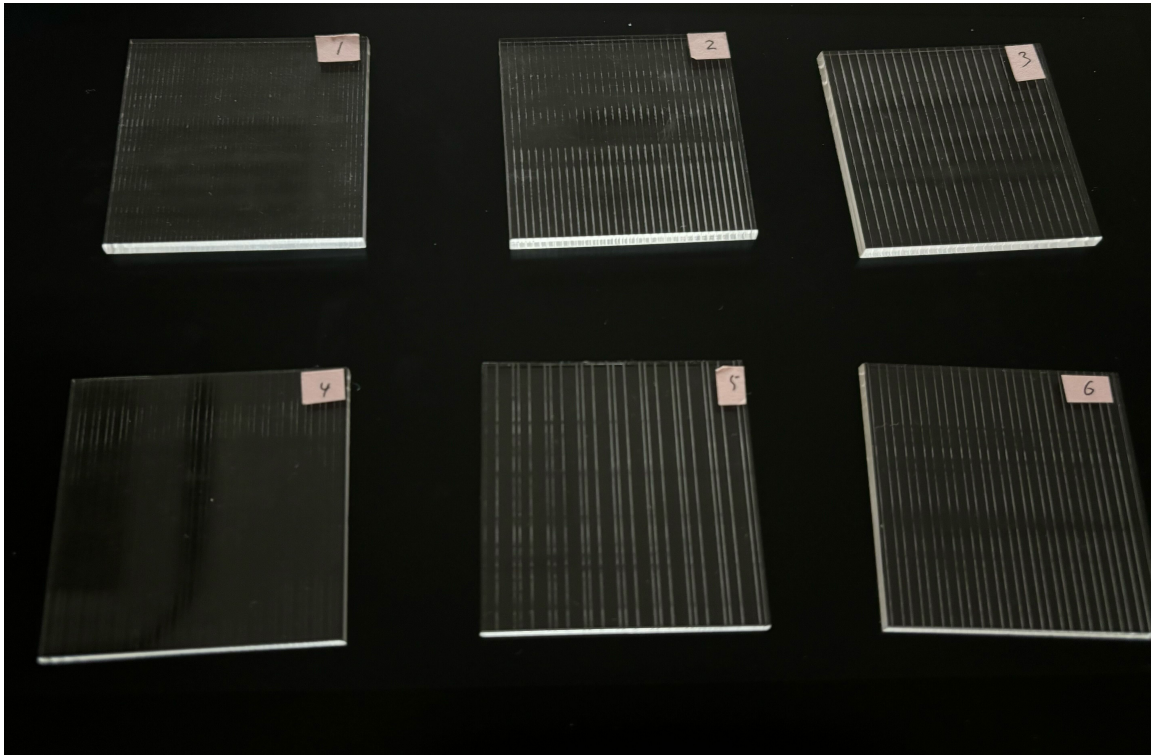


図 3: 試作した 6 つのシート

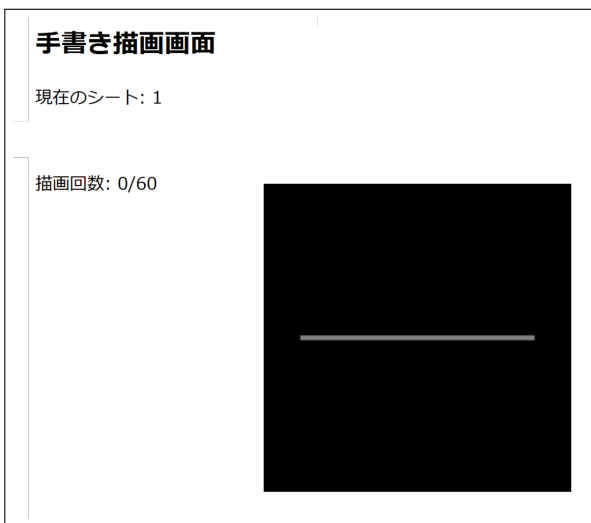


図 4: 手書きストローク収集システム

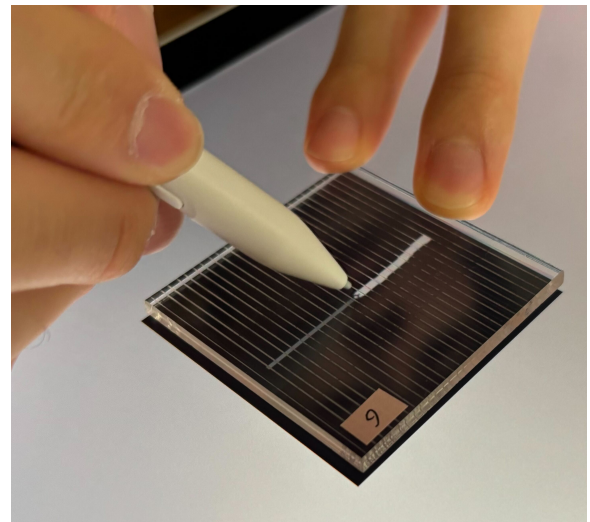


図 5: シートの上で筆記する様子

要である。これを踏まえ、データセットの構築に先立ち、予備検討として、長さの異なる横線と直径が異なる円について、3章で示した 6 種類のシートを用い、提示された形をなぞるタスクを実施した (図 6)。このタスクには 5 人の参加者が参加し、2 種類の異なる筆記速度で手書きを行ってもらった。

ここで、手書きストローク収集システムを JavaScript で実装していたため、データ取得頻度が想定より低いという課題が発生した。特に筆記速度が速い場合、データ点が飛んでしまい、筆圧変化が十分に記録されないという問題があった。また、横線 1 本だけの筆記ではシートの物理的な



図 6: 予備検討における筆記形状と書き順

長さの制限により筆圧の変化が十分に観測されず、判別精度が不十分であることがわかった。一方、円形を用いた場



図 7: 本タスクで用いる筆記の形

合は横線に比べ精度が高く、ストロークの長さが重要な要因であると考えられる結果が得られた。

そこで本研究では、横直線を2往復（元の4倍の長さ）で筆記し、ストロークに伴う筆圧のデータを収集することとした（図7）。また、1つのシートにつき60回の筆記タスクを設定し、全6枚のシートを使用して合計360ストローク分のデータを収集した。

ストロークデータセット構築の詳細を以下に示す。

- 筆記形状：横直線（192px）
- 筆記サイズ：2往復（768px）
- 筆記回数：1シートにつき60回（計360回）

なお、手書きを行うユーザによるデータの違いは大きくなかったため、今回のストロークデータセット構築は筆頭著者自身で行うこととした。

データセット構築においては、タブレット上に配置したシートを非利き手で固定し、シートを選択した後、横直線をなぞるタスクを実施した。

4.3 データセット構築環境

データセット構築は、十分な明るさの室内で行い、同一の机で行うことで筆記環境による筆圧への影響を最小限に抑えるよう配慮した。また、PCに接続したWacom One拡張ディスプレイを使用し、フルスクリーン表示で実装したWebシステムを表示し、筆記には付属のデジタルペンをを用いた。

5. 結果

5.1 推定方法

筆記対象物のテクスチャによる筆圧変化を用いてシートの種類を推定するため、収集した筆圧データをもとに特徴量を算出し、ランダムフォレストを用いた分類を行った。ここでは特徴量として下記のものを選定した。

表 1: 実験の分類確率

		推定したシート					
		1	2	3	4	5	6
正解シート	1	0.60	0.22	0.00	0.17	0.00	0.00
	2	0.23	0.58	0.17	0.02	0.00	0.00
	3	0.00	0.15	0.85	0.00	0.00	0.00
	4	0.05	0.07	0.00	0.80	0.07	0.02
	5	0.02	0.00	0.00	0.02	0.82	0.15
	6	0.00	0.00	0.00	0.02	0.20	0.78

- ストローク内の筆圧の標準偏差
- ストローク内のピーク回数
- 1.0mmに相当するX軸方向のピクセル間距離（4.0px～6.25px）のピーク回数
- 1.5mmに相当するX軸方向のピクセル間距離（6.25px～8.75px）のピーク回数
- 2.0mmに相当するX軸方向のピクセル間距離（8.75px～11.0px）のピーク回数

今回のシステムおよびディスプレイ設定において、1.0mmが約5.125pxであったため、前後1.125px分を範囲とした。

各シートにつき60件のデータを収集し、そのうちランダムに8割を学習データ、2割をテストデータとして分割し、5分割交差検証を行った。推定には、1ストローク分のデータをグループ化して特徴量を計算した。

5.2 推定結果

全データについて検証を行った結果、正解率が0.74、平均の適合率・再現率・F値が0.74であった。また、6種類のシートに対する推定分類確率を表1に示す。表から、すべてのシートにおいて0.58以上の精度で正しく分類できていることがわかった。特に、シート3においては0.85の分類精度が得られ、他のシートよりも安定した識別が可能であることがわかった。

次に、筆記速度による正解率の違いを検証した結果、比較的ゆっくりな筆記速度の方が正解率が高いことが明らかとなった（表2、表3）。筆記速度でデータを上位、下位7.5割を速め、遅めとして正解率を求めた結果、速めが0.74、遅めが0.76の正解率となった。また適合率・再現率・F値も同様に、速めが0.73付近、遅めが0.75付近であった。速めでは、シート3以外では正解を正しく推定したデータが多くみられ、シート1・4・5においては0.71以上の正解率が出ている。また遅めでは、全てのシートにおいて正解と予測したものが多く、シート1・2以外では0.73以上の正解率を出している。どちらの場合においてもシート4・5は比較的高い正解率を出しており、最低でも0.76であるこ

表 2: 平均速度が速いストロークの分類確率

		推定したシート					
		1	2	3	4	5	6
正解シート	1	0.71	0.12	0.00	0.14	0.02	0.02
	2	0.33	0.60	0.03	0.03	0.00	0.00
	3	0.00	0.75	0.25	0.00	0.00	0.00
	4	0.14	0.02	0.00	0.76	0.08	0.00
	5	0.02	0.00	0.00	0.02	0.83	0.14
	6	0.00	0.00	0.00	0.05	0.25	0.69

表 3: 平均速度が遅いストロークの分類確率

		推定したシート					
		1	2	3	4	5	6
正解シート	1	0.56	0.32	0.00	0.12	0.00	0.00
	2	0.17	0.67	0.13	0.03	0.00	0.00
	3	0.00	0.13	0.87	0.00	0.00	0.00
	4	0.09	0.03	0.00	0.82	0.06	0.00
	5	0.00	0.02	0.00	0.00	0.81	0.16
	6	0.00	0.00	0.00	0.08	0.20	0.73

表 4: 上位および下位の評価結果 (3 組以上)

順位	組み合わせ	正解率	適合率	再現率	F 値
1	(1, 3, 5)	0.98	0.98	0.98	0.98
2	(1, 3, 6)	0.98	0.98	0.98	0.98
3	(3, 4, 5)	0.96	0.96	0.96	0.96
4	(3, 4, 6)	0.94	0.94	0.94	0.94
5	(2, 3, 5)	0.92	0.92	0.92	0.92
38	(1, 2, 4, 5, 6)	0.75	0.76	0.75	0.75
39	(1, 2, 3, 4, 5, 6)	0.74	0.74	0.74	0.74
40	(1, 2, 3, 4)	0.73	0.73	0.73	0.73
41	(1, 2, 3)	0.73	0.73	0.73	0.73
42	(1, 2, 4)	0.72	0.72	0.72	0.72

とがわかる。さらに、各シートごとの正解シートの正解率

ここで、今回のシート選定は、すべてのシートを使用することを前提としたものではなく、どの程度のシートの種類であれば認識が可能かを明らかにすることを目的としている。そこでシートの組み合わせ (3 つ以上の組み合わせで計 42 組と、4 つ以上の組み合わせで計 22 組) を選定し、それぞれの推定精度について検証を行った。その結果、3 組以上の正解率上位および下位 5 組ずつの評価結果を表 4 に、4 組以上の正解率上位および下位 5 組ずつの評価結果を表 5 に示す。表が示すように、3 つ組であれば上位の組み合わせでは F 値が 0.9 を超えていることが明らかとなった。また、4 つ組の場合は (1, 3, 4, 6) のみが正解率および F 値が 0.9 を上回っていることがわかる。一方、下位の組み合わせでは F 値が 0.70 程度にとどまる場合もあった。

表 5: 上位および下位の評価結果 (4 組以上)

順位	組み合わせ	正解率	適合率	再現率	F 値
1	(1, 3, 4, 6)	0.90	0.90	0.90	0.90
2	(1, 3, 4, 5)	0.89	0.89	0.89	0.89
3	(2, 3, 4, 6)	0.87	0.88	0.87	0.87
4	(1, 3, 5, 6)	0.87	0.88	0.87	0.87
5	(2, 3, 4, 5)	0.87	0.88	0.87	0.87
41	(1, 2, 5, 6)	0.76	0.77	0.76	0.76
42	(1, 2, 4, 6)	0.76	0.77	0.76	0.76
38	(1, 2, 4, 5, 6)	0.75	0.76	0.75	0.75
39	(1, 2, 3, 4, 5, 6)	0.74	0.74	0.74	0.74
40	(1, 2, 3, 4)	0.73	0.73	0.73	0.73

6. 考察と展望

6.1 考察

全体の適合率と再現率が 0.73 程度であったことから、本手法が一定の精度でシートの予測を行うことができていると考えられる。また、F 値が 0.73 であることから、今回のモデルがバランスよく機能していることが示された。今後、最適化やデータの改善を行うことで、さらに精度を向上させる余地があることも示唆された。

表 4 の判別可能なシートの組み合わせに着目すると、3 つのシートの組み合わせであっても高い精度のものがあった。ここでシート 1 (1.0mm 等幅)、3 (2.0mm 等幅)、4 (1.0mm と 1.5mm 交互)、5 (1.0mm と 2.0mm 交互) または 6 (1.5mm と 2.0mm 交互) の組み合わせが適切である一方で、シート 2 (1.5mm 等幅) は精度を下げる要因となっていること、またシート 5 (1.0mm と 2.0mm 交互) と 6 (1.5mm と 2.0mm 交互) の組み合わせも精度を下げることがわかった。この結果から、今回の手法では 1.0mm 幅と 1.5mm 幅が共存する場合に判別が難しくなることが示唆される。溝の幅が近い場合、筆圧変化の特徴が類似するため、モデルが区別するのに困難を伴っている可能性があることが考えられる。

シートごとの識別の困難性について、シートごとのピーク間距離に基づく頻度を求めたものが図 8 である。この結果より、シート 1 および 2 のピーク検出精度が悪く両者の識別が困難であること、またシート 5 と 6 も類似しており、検出が難しいことがわかる。この問題については、今回の JavaScript を用いたストローク点検出に問題がある可能性がある。そこで今後は、ネイティブアプリケーションとしてシステムを実装し、より高頻度に点を取得することにより検証を行う予定である。また、シートのパターンについてもさらに検討を行い、試作していく予定である。

筆記距離と精度の関係を片道分 (25%)、1 往復分 (50%)、1 往復半 (75%)、2 往復 (100%) での正解率を比較した表を示す (表 6)。この表より、ストロークの長さが増加す

表 6: 長さ比率ごとの正解率

長さ比率	正解率
25%	0.54
50%	0.68
75%	0.67
100%	0.74
平均	0.66

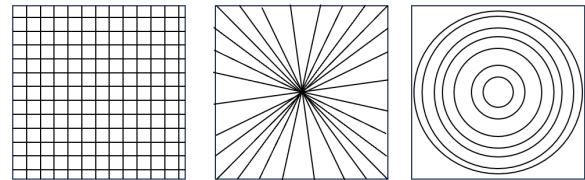


図 9: シートのパターン

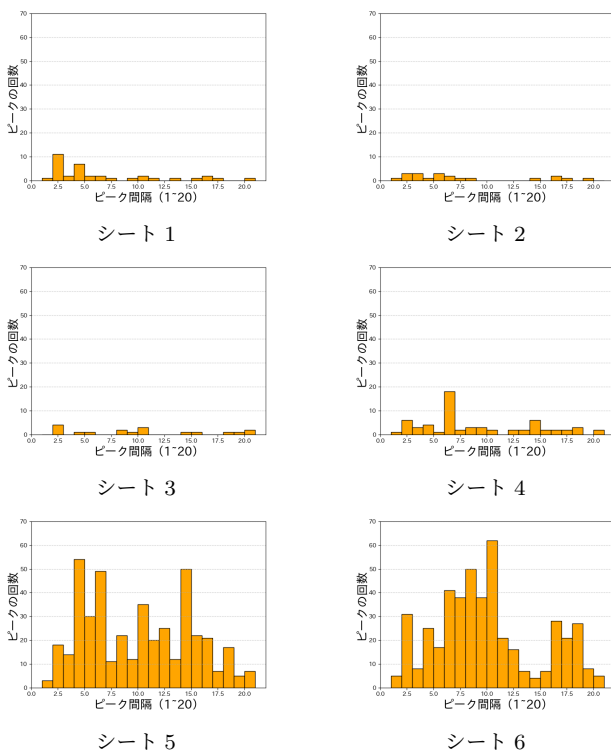


図 8: シートごとのピーク間距離に基づく頻度の違い

るにつれ正解率が上昇する傾向にあることが明らかとなった。これらのことから、識別精度の向上には適切な筆記距離が重要であり、ストロークが長い方が良いことが示唆される。ただし、これらの比率は1ストローク分の距離に基づくものであり、複数ストローク分の距離を活用することで、識別精度の向上につながることを期待される。

6.2 今後の課題と展望

今回期待通りに精度が出なかった理由は、ストロークの描画において取得できる点の数が少なかったことが原因である。そこで今後は、より高頻度に点を取得可能とする仕組みを実現する予定である。なお、今回は筆圧のみを利用していたが、ペン先が凹凸を通る際に音が生じていた。そのため、この音を認識し、組み合わせることによって精度向上を図ることも可能と考えられる。

今回は縦に溝を掘るというシンプルなパターンであったが、今後は縦横方向または斜めの向き、さらに円状など様々なパターンのシートを試作し、その可能性について検討を行っていく予定である (図 9)。

本研究は、浅い溝を有するシートのテクスチャに対するペン入力時に生じる微細な筆圧変化を用いたデジタル表現手法の実現を検討するものである。将来的には、この手法を活用することで筆圧変化をシステムへの入力として用いることが期待される。

例えば、現在普及しているデザインソフトウェアでは、ツールバーが多様化かつ階層化しており、操作に手間がかかる場合がある。そこで、本システムを応用し、異なる溝パターンを持つ複数のシートを作成し、それぞれのシートごとに特定の機能を割り当てることで、ソフトウェア操作の簡易化が可能になると期待される。また、図 10 のように1つのシート上に複数のパターンの溝を掘り、その溝ごとに半透明の色を設定しておき、その色の上を何度かペンで往復させることで色を変更可能とするようなインタ

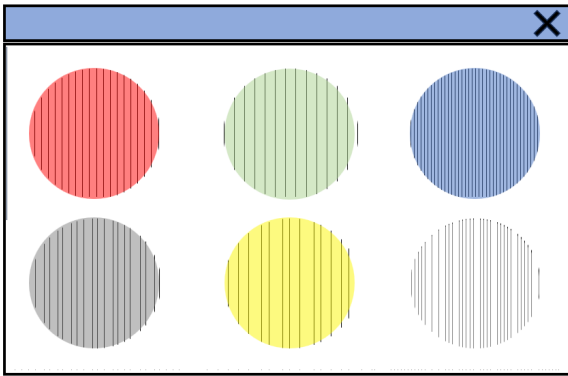


図 10: パレットインタフェースとしての応用

フェースを作成すると、子どもでも手軽に利用できるものになると期待される。なお、こうしたインタフェースにおいては、左右の往復操作より、円状に操作する方が適切である可能性もある。そうしたパターンの適切性については今後検討していく予定である。

7. まとめ

本研究では、既存のデバイスのみでその筆記対象を推定可能とするため、シートに溝をパターンを掘り、そのシートの溝に基づく筆圧変化を用いたシート推定手法を提案した。シートの推定においては、筆圧変化の標準偏差とピーク検出回数、またそのピークの間隔を特徴量として用いる手法を提案し、構築した筆記データをもとに分類を行った。その結果、適合率、再現率、F 値いずれも 0.7 以上であったが、精度としては不十分であった。一方、シートを 3 組以上とすると 0.98 以上、4 組以上に限定すると 0.90 の精度が得られることが分かり、溝のパターンの組み合わせの重要性が示唆された。

今後は、実験データ取得の方法について再検討し、分類予測モデルの精度向上を目指す。また、リアルタイムでシートを識別するシステムの開発に取り組み、それを応用したソフトウェア操作の支援を行うシステムの実現を目指す。

参考文献

- [1] Wellner, P.: The DigitalDesk calculator: tangible manipulation on a desk top display, *Proceedings of the 4th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '91, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 27–33 (1991).
- [2] Fitzmaurice, G. W., Ishii, H. and Buxton, W. A. S.: Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '95, USA, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., p. 442–449 (1995).
- [3] Li, J., Suzuki, R. and Nakagaki, K.: Physica: Interactive Tangible Physics Simulation based on Tabletop Mobile Robots Towards Explorable Physics Education, *Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '23, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1485–1499 (2023).

- [4] Rekimoto, J., Ullmer, B. and Oba, H.: DataFiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 269–276 (2001).
- [5] 青木良輔, 宮下広夢, 井原雅行, 大野健彦, 千明裕, 小林稔, 鏡慎吾: くるみる: 複数導電部もつ枠型物理オブジェクトを用いたタブレット操作, 技術報告 6, 日本電信電話株式会社 NTT サイバースリユーション研究所/東北大学情報科学研究科 (2011).
- [6] Yu, N.-H., Chan, L.-W., Lau, S. Y., Tsai, S.-S., Hsiao, I.-C., Tsai, D.-J., Hsiao, F.-I., Cheng, L.-P., Chen, M., Huang, P. et al.: TUIC: enabling tangible interaction on capacitive multi-touch displays, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2995–3004 (2011).
- [7] 関陽子: 筆圧変化パターンにおける個人性, 日本教育心理学会総会発表論文集 第 63 回総会発表論文集, 一般社団法人日本教育心理学会, p. 493 (2021).
- [8] 加藤貞夫: 筆圧特性の基礎的研究, 日本経営工学会誌, Vol. 31, No. 4, pp. 424–427 (1981).
- [9] 安藤明伸, 板垣翔大, 佐々木健太郎, 齋藤弘崇: 特別支援学校における筆圧感覚の獲得のための miyagiTouch の改良, 日本デジタル教科書学会発表予稿集 日本デジタル教科書学会第 6 回年次大会, 日本デジタル教科書学会, pp. 29–30 (2017).