

導電性インクを利用した読書行為推定手法の提案

田口克哉^{†1} 塚田浩二^{†1}

概要：近年、導電性素材を用いたインタラクション研究が盛んに行われており、特に導電性インクが注目されている。導電性インクは、一般的な家庭用のプリンタに導入して印刷によって容易に電子回路を作成できる点が特徴である。一方、導電性インクは単一の紙に印刷して利用されることが多く、複数枚の紙に印刷し、重ね合わせて利用した例は少ない。本研究では、導電性インクを複数枚の紙に印刷して重ね合わせたブック型デバイスと、センサデータの記録／振り返り用のアプリケーションを実装し、「ページのめくり方」「本の持ち方」といった読書行為の認識を試みる。さらに、読書の癖や読み方といった、読書状況の推定の可能性について議論する。

1. 背景

近年、導電性素材を用いたインタラクション研究が盛んに行われており、特に導電性インクが注目されている。導電性インクは、一般的な家庭用のプリンタに導入して印刷によって容易に電子回路を作成できる点が特徴である。これらは、基板やセンサ等の試作はもちろん、様々なインタラクション研究にも活用されている[1][2][3]。一方、従来の導電性インクの活用例は単一の紙に印刷しているものが多く、複数枚を重ね合わせた活用例は少なかった。

本研究では、書籍のように複数の紙を束ねた媒体の一部に導電性インクを用いてセンサを構築する。さらに、紙同士の接触状況や静電容量の変化等を検出することで、「ページのめくり方」「本の持ち方」といった読書行為の認識を試みる。

2. 関連研究

本章では、本研究に関する研究事例について、「導電性インクを用いた研究」と「読書行為の分析」の領域を紹介する。

2.1 導電性インクを用いた研究

加藤らは、導電性インクを用いて、静電容量式タッチパネルから認識可能なマルチタッチパターンや、それを活用した多様な入力インタフェースを提案した[1]。

池田らは、2次元コードを印刷した紙と導電パターンを印刷した透明フィルムの2枚を重ね合わせることで、カメラ／静電式タッチディスプレイのどちらからも認識可能な2次元コードを提案した[2]。

趙らは、導電性インクを用いた回路印刷技術と立体形状を簡単に構成できるポップアップカードを組み合わせることで、即時にタンジブルインタフェースを構築する手法を提案した[3]。

2.2 読書行為の分析

布山らは、読者の姿を録画／分析することで、熱中状態の変化を観察した[4]。特に、ページ単位の読む速度と身体

動作に注目し読む速度の変化から読書中の熱中状態が段階的に起こること、および各段階に特徴的な動作が伴うことを発見した。

また、布山らは、身体動作と心拍数による読書中の熱中状態観測手法を提案した[5]。具体的には、読者の映像と心拍データを取得／分析することで、熱中時には読者の心拍数が高く、緊張状態にあることが示唆された。

本研究では、導電性インクを本の一部に印刷してセンサとして活用することで、読書行為の推定手法を提案する。

3. 提案

本章では、提案手法の概要について述べる。本研究では、導電性インクを印刷した紙を重ね合わせてブック型のセンサを構築し、それを用いた読書行為の認識を試みる。例えば、「ページをめくる」「本を支える」といった行動やその特徴の認識を行う。



図1 提案システムの利用例。「ページをめくる」「本を支える」といった読書行為を、導電性インクを用いたタッチセンサで記録しつつ、動画と共に振り返ることができる。

本システムの利用例を図1に示す。センサが搭載されて

^{†1} 公立はこだて未来大学

いるブック型のデバイスを利用している状況を録画し、検出したセンサの値とデバイスの利用状況を比較することで読書中の動作認識を行いつつ、読者の癖や読み方などの分析を試みる。



ブック型デバイス
タッチセンサで本に対する行動を検出



動作記録アプリケーション
センサの値を保存
映像の録画
振り返り用アプリケーション
録画した動画の表示
センサ値のグラフ化
本持ち方やめくり動作の認識/視覚化

図2 システム構成図

4. 実装

本章では、プロトタイプハードウェアとソフトウェアについて説明する。

4.1 ハードウェア：ブック型デバイス

「ページをめくる」「本を支える」という読書行為の認識には、ユーザの手指が本の表紙や各ページの周囲に触れている状態を検出することが必要であると考えた。そこで、図3のように表紙と各ページの上部/下部/側面部に合計5つのタッチセンサを配置した。タッチセンサのサイズは、側面部が1cm×4cm、上下部が5cm×1cmである。このように設計したパターンを導電性インクの専用シート(NB-TP-3GU100)50枚に印刷し、ブック型デバイスのプロトタイプを実装した(図4)。プロトタイプのサイズは、幅10.5cm×高さ13.2cmである。このサイズは、文庫本を意識しつつ、A4サイズの専用紙のシートを4分割するように設定した。各ページは、3Dプリンタで自作したクリップ上の固定具でまとめている。表紙/裏表紙の一部にはハトメを打ち込み、ケーブルをはんだ付けすることで、ブレッドボードへ配線している。なお、表紙/裏表紙は配線部に直接手が触れないように、普通紙で表面を覆っている。なお、タッチセンサはArduinoのCapSenseライブラリ[6]を使用し構築している。

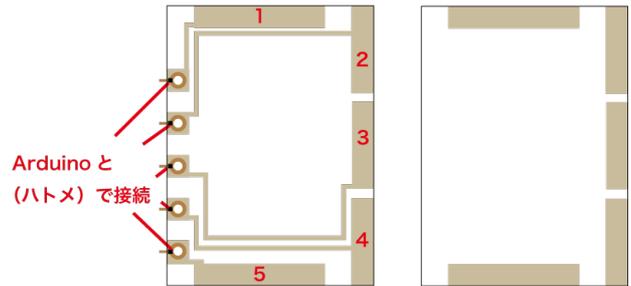


図3 ブック型デバイスの導電性インクのパターン。1~5は個別のタッチセンサを表す。左：表紙、右：各ページ。

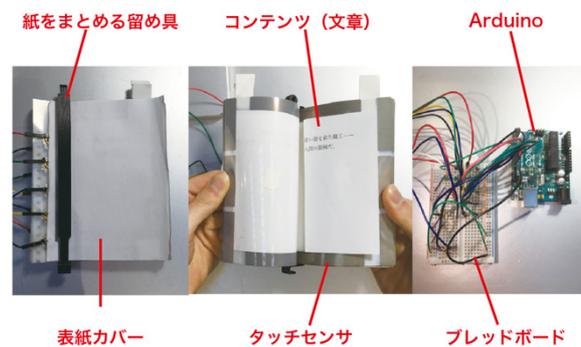


図4 プロトタイプの外観

4.2 ソフトウェア

ソフトウェアは、動作記録アプリケーションと振り返り用アプリケーションから構成される。これらは、ArduinoとProcessingで実装している。

動作記録アプリケーションは、各タッチセンサの入力値を、Arduinoを介してシリアル通信でホストPCに送信する。ホストPC上で動作するProcessingアプリケーションでは、受け取ったセンサ値をCSVファイルに書き出し保存する。さらに、デバイスの利用状況をPCの内蔵カメラで録画し併せて保存できる。

振り返り用アプリケーションは、動作記録アプリケーションによって書き出したCSVファイルをグラフ化し、録画したデバイス利用中の動画と比較/分析できる(図5)。図中の1は、録画した動画を再生する箇所である。図中の2と4は、タッチセンサのデータを視覚化している。2ではすべてのタッチセンサの生データをまとめて一つのグラフとして表示する。4では各タッチセンサの閾値を超えた部分のみを個別のグラフとして表示する。図中の3は、タッチセンサとグラフの対応付けを表している。

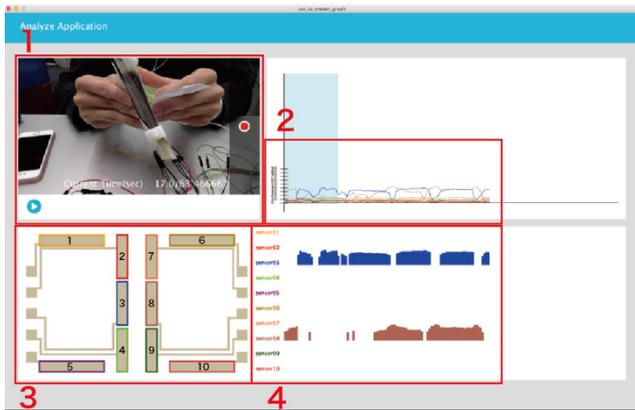


図5 振り返り用アプリケーションの外観

5. 予備実験

本章では、提案したブック型デバイスの基礎的な動作を検証する予備実験について述べる。検証方法は、以下の4つの読書行為を行い、センサデータを検証する。

- (a) 実験者は、デバイスを起動後、3秒間手を触れずに待機する。
- (b) 特定のページを開く。
- (c) ページを開いた状態で3秒間待機する。
- (d) ページを一枚ずつめくる。

なお、(d)の操作は約3秒間隔で3回繰り返した。

結果を図6～9に示す。図6は、(a)、(b)、(c)の読書行為を写真で示したものである。図7は、すべての読書行為を横軸を時間、縦軸をタッチセンサの入力値としてグラフ化したものである。ここでは、表紙側のデータは表側、裏表紙側のデータは裏側と呼ぶことにする。

まず、図7(a)のデバイス起動直後の状態は、表側は10付近、裏側は70付近で安定しており、ほとんどぶれがない。次に、図7(b)の特定のページを開く動作は、センサ部に手が触れた瞬間から、表側／裏側共に同じような傾きで波形が立ち上がる。表側は一度指を離れた影響で、一度0に近づくが、すぐに元の値に戻っている。図7(c)は、ページを開いたまま両手で保持している状態であり、表側／裏側共に30付近で安定している。図7(d)は、ページを一枚ずつめくる行為であり、本システムで特に正確に検出したいものであるため、詳細に分析する。

図8に(d)「めくる」行為(図7の黄枠部分)を拡大したグラフを示す。センサデータを分析すると、大きく3つの動作がめくる行為に存在することが分かる。まず、図8の(1)は、右手の親指で押さえていたページを離し、中央に送る動きである。親指を右側にずらしてページをはじくような動作をしているため、裏側のタッチセンサに力が加わり、値が上昇している。次に、図8の(2)は、左手でページを受け取る際に、一度指を離す段階である。親指を表側のタッチセンサから離す形になるため、表側の値が一度大きく下降している。最後に、図8の(3)は、左手の親指で中央のペ

ージを抑え、しっかり表紙側のページに密着させた状態である。(c)の手順とほぼ同様の状態となり、表側／裏側共に値は安定している。

このように、本システムを用いることで、「めくる」という行為を3段階の詳細な動作として分析することができた。

こうした動きは読者毎に特徴が出る可能性があるため、今後は多くの被験者で実験を進めていきたい。



図6 予備実験の手順(a), (b), (c)の状態。

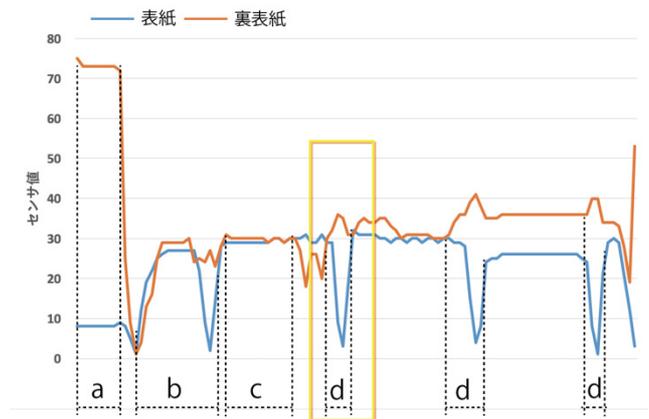


図7 予備実験の結果



図8 予備実験の手順(d)「めくる」動作の詳細

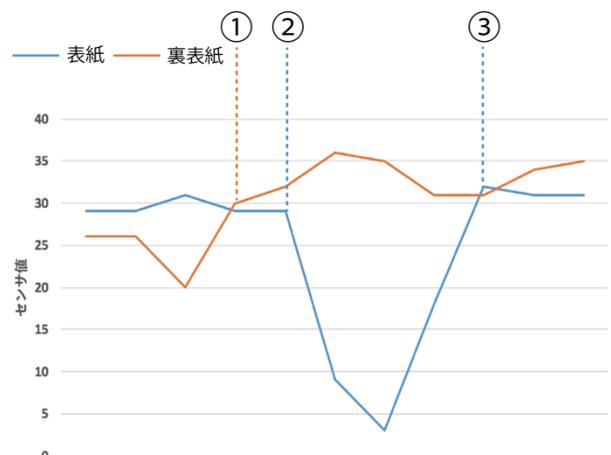


図9 「めくる」動作の結果。図7の黄枠部分を拡大しており、各数字は図8の動作と対応する。

6. 議論

本章では、現在のプロトタイプの問題について述べる。

まず、ブック型デバイスのタッチセンサの個数についてである。現状ではブック型デバイスの表紙と裏表紙にそれぞれ5個ずつの計10個取り付けられている。「ページをめくる」「本を支える」といったデバイスの試用を通して、読書行為の検出に不足する可能性が出てきた場合、追加することも検討する。その際は、Arduinoのピン数の制約が起こる可能性があるため、マルチプレクサなどを用いて対応する。

次に、ブック型デバイスの紙のサイズについてである。現状のブック型デバイスのサイズは13.2cm×10.5cmである。このサイズもA4を4分割するという実装上の都合で設定したものであるため、今後は小説や新書サイズの複数種類のブック型デバイスの製作を検討する。

さらに、現在の振り返り用アプリケーションは単純に記録したデータをグラフ化/分析を行うシステムとなっている。今後は、分析結果をもとに「ページをめくる」「手を持ち変える」といった読書行為の検出ルールを策定し、自動的にハイライト表示するような振り返り支援機能を実装していく。

7. まとめと今後の展望

本研究では、導電性インクを複数枚の紙に印刷して重ね合わせたブック型デバイスと、センサデータの記録/振り返り用のアプリケーションを実装し、読書行為の推定を試みた。実際に、プロトタイプを用いて、「めくる」という動作の特徴が現れることを確認した。

今後の展望として、機械学習を用いた更なる読書行為の検出や読書速度や熱中度などのメタ的な読書状況の推定手法の検討を進めていく。さらに、多様なユーザの読書行為の分析を通して、提案手法の有効性を調査し、応用例を模索する。たとえば、読書行為の特徴から読者の識別を試みたり、読書中の癖を定量的に判定する可能性について調査したいと考える。

参考文献

- [1] 加藤 邦拓, 宮下 芳明. 導電性インク複合機を用いたマルチタッチパターン生成手法. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 2014-HCI-157(29). pp1-6. March 2014.
- [2] 池田 昂平, 塚田 浩二, 沖 真帆. 接触認識可能な2次元コードを用いたインタラクション手法の研究. 情報処理学会論文誌 58(5). pp1037-1048. 2017-05-15.
- [3] Yan Zhao, Yuta Sugiura, Mitsunori Tada, Jun Mitani. InsTangible: A Tangible User Interface Combining Pop-up Cards with Conductive Ink Printing. ICEC 2017: Entertainment Computing – ICEC 2017 pp 72-80.
- [4] 布山 美慕, 諏訪 正樹. 読書行為の熱中過程-読書中の映像分析による熱中状態変遷の観察. 第16回身体知研究会予稿集. pp26-34. 2013.
- [5] 布山 美慕, 日高 昇平, 諏訪 正樹. 身体動作と心拍数によ

る読書中の熱中状態観測手法の構築. 知識共創第4号. pp64-73. March 2014.

- [6] CapSense - Arduino Playground . <https://playground.arduino.cc/Main/CapacitiveSensor?from=Main.CapSense> . (参照 2018-07-17)