

# 博士論文審査報告書

## 論文題目

User Interfaces and Data Analysis  
on Digital Handwriting Environment

デジタル手書き環境における  
ユーザインタフェースとデータ解析手法  
に関する研究

申請者

Hiroki	ASAI
浅井	洋樹

情報理工学専攻 並列・分散アーキテクチャ研究

2015年12月

近年のモバイルコンピューティングの急速な普及に伴い、スマートフォン、モバイル PC、タブレット端末など、携帯可能な情報機器が広く利用されるようになってきた。2015年度「情報通信白書」によれば、スマートフォン市場やモバイル PC 市場だけでなく、タブレット端末市場も、デスクトップ PC 市場を上回っている。こうしたモバイル端末では、入力装置として、ディスプレイ上を直接指で触れて操作することができるマルチタッチインタフェースが一般的に用いられている。マルチタッチインタフェースでは、従来マウスで行っていた操作に対して、タッチ操作が採用され、キーボードで行っていた情報入力に対して、ディスプレイ上に再現出力されたソフトウェアキーボードを直接タッチする方式が採用されている。しかし、図や電子ドキュメントの作成において、モバイル端末における入力装置は、従来のキーボードやマウスでの入力に比較すると制約が大きくユーザへの負担も大きい。

こうした背景のもと、ペン入力を可能とする「デジタル手書き」が、タッチ操作やソフトウェアキーボードに代わる入力装置として注目されている。本論文は、デジタル手書き実用化のキラーアプリケーションとなり得る「手書きアノテーション」を実現する上で必要不可欠なアノテーション認識モデルと、デジタル手書きデータの解析による応用の広がりをも明らかにすることを目指したものである。

本論文の貢献は、以下の二点に集約される。

最初の貢献は、手書きアノテーション認識モデルとそのインタフェースを提案し有効性を示したことである。本論文では、従来の基礎的な手書きデータ処理技術を踏まえ、手書きアノテーションの支援およびデータ可用性向上の基盤となる「手書きアノテーション認識モデル」を提案している。また、本モデルの有効性を示すため、手書きアノテーションを支援する「知的アノテーションフレームワーク」および手書きドキュメントに対する「要約スニペット」を実現している。

二つ目の貢献は、デジタル手書きデータからの情報抽出により様々な応用の広がりがあることを示したことである。具体的には、デジタル手書きデータとして得られる筆跡に加え、時系列上の筆記データ（オンライン手書きデータ）であるストローク、筆圧、筆記速度を活用し、教育環境における「学習者のつまずきの検出」と、漢字や英単語といった暗記学習時の「記憶度推定」を実現している。

本論文は、序論において本研究の位置づけと成果について述べた後、二部構成をとる。第一部では、デジタル手書きを扱う上で必要不可欠となる「手書きアノテーション認識モデル」とそのインタフェースを提案している。第二部では、デジタル手書きデータからの情報抽出による応用の広がりを2つのアプリケーションにより示している。そして、結論において二部をまとめ

ている。

以下、各部各章の概要と成果について説明する。

第一部第1章は、序論である。

第2章では、デジタル手書き環境におけるユーザインタフェースとして、主要なアプリケーションである「電子ドキュメントに対する手書きアノテーション」を対象に、認識モデルを提案している。手書きアノテーションは、情報付加や強調を目的に広く行なわれている行為であり、電子ドキュメント上への手書きアノテーションでは、検索や共有といった可用性の向上やこれを支援するインタフェースが課題となっている。同章では、ドキュメント上のコンテンツを選択・強調するアノテーションと、情報を付加するアノテーションとを自動的に区別すると共に、選択・強調箇所を認識するモデルを提案し、筆記者のアノテーション支援、およびデータの可用性向上が可能となることを示している。

第3章では、「手書きアノテーション認識モデル」を用いたアプリケーションとして、電子ドキュメント上へのアノテーションを支援する「知的アノテーションフレームワーク」を提案している。電子ドキュメントを対象とした従来の手書きアノテーションシステムでは、アノテーション時にメニュー選択や特種なジェスチャーといった付加的な操作をユーザに要求する。これに対し、提案手法では、ユーザのアノテーション意図を推定することにより、自動的な操作変更を可能とすると共に、ユーザ評価によりその有効性を確認している。

第4章では、二つめのアプリケーションとして、手書きドキュメントから「要約スニペット」を生成する手法を提案している。コンピュータ上で、ドキュメントを探索したり閲覧したりする際には、元ドキュメントを縮小したサムネイルや、要約テキストを出力するテキストスニペットが、一覧表示の方法として一般的に用いられる。これに対し、本章では手書きノート記述時に一般的に行なわれる下線や囲い込みといった強調アノテーションに着目し、手書きノート中の重要箇所を自動抽出しサムネイルを再構成する手法を提案している。手書きドキュメントを対象とした探索課題において、従来手法に比較して探索に必要な時間を半減させることに成功している。

第5章は第一部のまとめと今後の展望である。

第二部第1章は、序論である。

第2章では、学習環境におけるオンライン手書きデータの活用事例として、「学習者のつまずき検出手法」を提案している。生徒が学習している際に、つまずき悩んでいる状態を発見することは、学習指導における学習者個々の理解度把握において重要である。従来、指導者は、学習者一人ひとりの解答の様子を観察することや、問題演習の答案を確認することで、多大な負担と

引き換えに学習者個々の理解度を把握している。本章では、オンライン手書きデータを解析することで学習者のつまづきを検知する手法を提案し、その可視化例を示している。

第3章では、オンライン手書きデータを用いた学習者の「記憶度推定手法」を提案している。漢字や英単語を記憶する暗記学習は、忘却せず再生可能となるよう記憶を定着させることが目標であり、より効率的に記憶を定着可能な学習システムが求められる。本章では、暗記学習時のオンライン手書きデータを解析することで、学習者が今後忘却する可能性が高い暗記項目を推定する手法を「記憶度」という数値で表現する手法を提案し、記憶度が低い暗記項目を優先的に学習することにより、効率的に暗記可能な学習支援システムの構築が実現可能とした。特に、学習者が覚えていないにも関わらず、覚えたと判断している約20%の暗記学習項目をも検出できる仕組みを実現した貢献は大きい。

第4章は、第二部のまとめと今後の展望である。

以上を要するに、本論文では、デジタル手書き環境における新しいインタフェースとなる手書きアノテーション認識モデルの提案を行っただけでなく、同モデルが幅広い応用分野で適用可能であること、そして、時系列上の筆記データであるオンライン手書きデータの解析により、従来の紙と鉛筆という学習環境を一変させ、学習のつまづき検出や暗記学習の効率化を行うことができることを示しており、高く評価できる。よって本論文は、デジタル手書きインタフェースの発展に大いに貢献するものであり、博士（工学）早稲田大学の学位論文として価値あるものと認める。

2015年11月

審査員

主査 早稲田大学教授

博士（工学）（早稲田大学）

山名 早人

早稲田大学教授

工学博士（早稲田大学），Ph.D.（オックスフォード大学）

松山 泰男

早稲田大学教授

工学博士（慶應義塾大学）

中島 達夫