

氏名（本籍）	西田 好宏（大阪府）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第44号
学位授与日付	平成23年3月25日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	二次元移動方向に基づく空中手書きひらがな文字認識に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 教授 瀧 寛和 (副査) 教授 呉 海元 教授 内尾 文隆

## 論文内容の要旨

パソコンから、モバイル、ウェアラブル、ユビキタス、クラウドへと情報環境が大きく変化しても、人々がこれらを利用する主たる目的は、情報の記録・蓄積、情報の検索と、人とのコミュニケーションである。これらには、ヒューマンインタフェースとしてテキスト情報つまり文字入力が必要であり、「いつでもどこでも」使える文字入力機能が益々重要になっている。そこで、必要なときはいつでも、片手で簡単に文字を入力できるように、空中に書いた文字を認識する空中手書き文字入力方法を検討した。

空中手書き文字入力において、利用者からみた重要なポイントは、下記の通りである。

- 自由な姿勢で、特に片手でも非目視でも扱える操作性の良さ
- 使用方法が習得し易く、誰にでも簡単に使える
- デバイスの装着など、従来と異なる条件を必要としない

従って、従来の手書き入力のように筆記対象となるタブレットやタッチパッドを使用せずに任意の空間に書いた筆記情報を検出することにした。また、「Graffiti」のようにシステム専用書き方を決めてユーザーに新たな訓練を強いるのではなく、普段通りの字の書き方での認識を目標にした。

まず、第1ステップとして、ペン型入力デバイスに内蔵したカメラの映像信号から検出した動きベクトル情報の移動方向に注目した認識方法を検討した。動きベクトルの移動方向をコード化して、この方向コードが変化した時のみ、方向コードを時系列情報として蓄積し、蓄積した方向コードと辞書データとを DP (Dynamic Programming) マッチングにより照合して最も類似した辞書データを筆記した文字として判定する。ただし、動きベクトル検出は原理的に2次元平面上の動きの検出には適しているが奥行き方向の検出には適さないため、文字のストロークの区切りとなるペンのアップダウン操作の検出は別途指定する構成とした。USBカメラとマウスを用いた試作評価機で実験した結果、ひらがなや数字など合計83文字に対して約90%の認識率が得られた。これにより、ペン先に内蔵したカメラの映像信号から動きベクトルを検出してペン先の平面上の動きが検出できることと、ひらがなや数字などの文字に限定すれば、移動方向の変化のみに着目することで、空中に書いた文字を認識できることを確認した。しかし、筆記におけるペンのアップダウン情報をボタン操作で行っていたため、実際に手書き入力した時の操作性が良くないという問題があった。

そこで、第2ステップとして、ペンのアップダウンのボタン操作を廃止して1文字の開始と終了のみボタン操作する一筆書き入力の検討を行った。1文字を一筆の連続ストロークで書くようにして、同様に空中手書き文字認識の評価実験を行った結果、認識率が約60%に低下した。そこで、黒板モデルを参考にした複合判定手法を採用したところ、約80%まで認識率を改善できることが確認できた。しかし、ここで利用した DP マッチングのペナルティと標準的な文字ベクトル辞書データは経験的、試行錯誤的に決定したため、文字を書くときの癖など個人差の影響を受けやすいという問題があった。尚、この第2ステップからは、空間マウスが市販されて空中で空間マウスを動かした時のポインタ座標が簡単に、かつ少ないパソコンリソース消費量で検出できるようになったことから、ペンの動き検出は空間マウスを利用する方法に変更した。

次に、第3ステップとして、文字を書く操作者や癖などの個人差の影響を受けずに共通的に使える適切なペナルティの値を効率良く見つけるために遺伝的アルゴリズムを利用した学習を行った。その結果、共に標準的な文字ベクトル辞書

データを用い、標準ペナルティから学習で得られた共通ペナルティ（平均化した学習ペナルティ）に変更した場合の認識率の改善は、被験者1：79.7%から88.4%、被験者2：82.2%から87.4%、被験者3：51.7%から60.0%と大幅に改善することができた。しかし、被験者によって認識率に大きな違いがあり、実際に癖や書き方の違いによる個人差の影響を受けて、入力コードは被験者によって大きく異なっていた。そこで、学習で得られた共通ペナルティの値と各被験者の入力したデータを用いて、各被験者に合わせた辞書データの学習を1文字単位で行った。その結果、学習データで得られた認識率と評価データで得られた認識率は、被験者1：94.3%と88.7%、被験者2：94.9%と88.0%、被験者3：89.9%と71.7%となり、辞書の学習に用いた学習データに対しては改善効果が大きい、学習データと異なる評価データに対しては改善効果が少ないことがわかった。以上から、ペナルティの学習により操作者にも辞書にも依存度が低く認識率の高い共通ペナルティを得ることができた。また、辞書の学習により特に学習前に認識率の低かった被験者の認識率を改善できることが確認できた。しかし、「う」と「ら」と「ろ」などの類似文字で誤認識が多く発生する傾向があった。

最後に、第4ステップとして、1文字の筆記中においては筆記する文字の大きさや筆記のスピードの変化は少ないと考えて、1文字の全ストローク長に対する各方向コード区間の長さの比率に応じて方向コードを連続してコード化する方式の改善効果を確認した。その結果、ストローク長の比率を利用することで「う」と「ら」と「ろ」だけでなく全体的に認識率が良くなり、同じ入力条件で認識率が約85%から93%に向上する効果が得られた。また、ストローク長の比率を利用する場合にはペンの微小移動による検出ノイズの影響が無くなるため、そのための対策を省くことができるメリットがあった。さらに、このアルゴリズム改善は、数字や濁点・半濁点を含めた認識できる文字数（辞書データの数）の追加に対して有効であり、文字以外の「スペース」、「リターン」や「バックスペース」等ファンクション機能の手書き認識に対しても有効である。

今後の課題として、現在の1文字単位で認識する方式において、第3ステップで改善効果の少なかった辞書データの学習や癖など個人に合わせたカスタマイズ方法、アルファベット等の多くの文字の対応、候補文字の選択方法を含む手書き文字認識処理の前後で行う操作の検討等が考えられる。

さらに、文字を1文字単位で認識するだけでなく、連続して入力した場合には単語単位で文字認識を行う単語認識へと発展させて行きたい。特に、アルファベットで英文を入力する場合には、単語単位が不可欠と考えられる。この場合は、1文字の書き始めと書き終わりの区切り検出が重要で、この文字の区切りを間違えると単語を正しく認識できないと考えられる。しかし、逆によく使う単語に限定すると、単語全体でのマッチングや部分的なエラーを考慮する等インテリジェントな「かな漢字変換」とうまく組み合わせることで、むしろ認識率を高くできる可能性があると考えられる。

## 論文審査の結果の要旨

論文内容について審査し、博士論文として、必要条件を満たしていることが認められた。研究内容は、空中でジャイロマウスなどによりラフに一筆書きで文字を描くことで「ひらがな」を入力するインターフェースの実現を目的としている。Dynamic Programmingによる文字判定と遺伝的アルゴリズムによる識別基準や辞書を学習することで、認識率を向上させた点が評価された。ジャーナル論文1編、国際会議論文の2編の業績と関連特許をまとめており、予備審査において指摘された事項（論文タイトルの修正など）も十分に反映されていると判定された。

## 最終試験の結果の要旨

公聴会・最終試験を2010年2月9日に実施した。研究の発表内容と論文に関して、以下の項目についての質疑応答が行われ、最終試験に合格していると判断された。

1. 関連研究に関する内容について
2. 実現技術に関する内容について
3. 実験条件に関する内容について

なお、3の実験について、文字ストローク評価は、現在の内容で問題はないものの、実験データ数を増やし、補足事項として追加することが望ましいことの指導がなされた。