

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00455

研究課題名(和文)自由手書きされた重ね書き文字の分離と認識処理の実現

研究課題名(英文)Separation and recognition of handwritten superimposed characters

研究代表者

松尾 賢一 (Matsuo, Ken'ichi)

奈良工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：10259913

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、自由手書きされた重ね書き文字の分離と認識処理の実現である。研究成果として、模擬答案データセットの構築ならびに認識辞書(採点記号パターン「○, ×, チェック」, 部分点「0」～「9」)パターンの作成, 採点記号の分離抽出手法の提案と提案手法に対する性能評価, 手書きされた採点記号と数字認識精度の検証, 採点ミス発見支援システムの試作等があげられる。今後の課題は、重ね書き文字の分離精度の向上である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is separation of handwritten superimposed characters and realization of recognition processing. The research results are as follows: Construction of simulated answer data set and creation of recognition dictionary pattern. Proposal of separation extraction method of grading symbols and performance evaluation for proposed method. Verification of handwritten scoring symbol and number patterns recognition accuracy. Prototype of scoring error detection support system. Future work is improvement of separation accuracy of superimposed characters.

研究分野：画像処理

キーワード：答案画像 支援システム 採点記号パターン 採点数字パターン 文字認識 文字切り出し 分離文字

## 1. 研究開始当初の背景

我々は、背景と文字を瞬時に見分け、文字同士の重なりを認識し、かつ、重なりあう文字同士の意味も理解する高度な視覚処理能力を備えている。

しかしながら、画像内の重ね書き文字を計算機で認識・理解させることは、現状困難であった。文字認識手法については、これまで様々な手法が提案され、現在までに自由手書き漢字で 95% 程度の認識率が得られるまでに至っている。特に、日本語は世界中でも文字種が多く、手書きによる文書の時代が長いことから、手書き文字の認識精度においては国内外において日本は最高峰レベルにある。

これに対して、文字認識技術を応用したシステム開発も盛んになり、郵便番号読み取り装置や市販 OCR (Optical Character Reader) として実用化されている。

この文字認識技術が実用化できた理由として、以下の 3 つの制約を満たすパターンを認識処理の入力とするためである。

(1) 文字パターンと背景が分離もしくは領域分けされていること。

(2) 一文字単位で切り出された文字パターンであること。

(3) 認識対象の文字パターンが限定されていること。

特に、重ね書き文字は、制約(1)から(3)までを満たさないことが多く、特に活字でなく自由手書きで重ね書きされた文字に対する分離や認識に関する有効な手法は、国内外で提案なされておらず技術的に困難な課題の一つである。

## 2. 研究の目的

重ね書き文字に対する文字同士の分離と認識処理の実現に向けて、制約(1)から(3)を緩和させる研究課題として、文字パターンと背景領域の分離と文字パターン切出し、文字パターンの文字同士の分離抽出、文字パターンの認識と非文字・誤分離パターンの棄却があげられる。

ここで、文字認識技術の適用が困難である複雑背景上に存在する自由手書き重ね書き文字に、答案採点記号 4 種類 (○, , x, ✓) ならびに 9 種類の採点数字 ('0' ~ '9') を研究対象文字パターンとして取り上げ研究を遂行する。自由手書き重ね書き文字は、文字同士の一部の文字線が互いに接触している文字、文字の上からさらに文字が書かれた文字、背景上パターンと文字パターンが融合された文字の呼称である。

本研究は、この「自由手書きされた重ね書き文字の分離と認識処理の実現」させる手法の提案を目的とし、提案処理を利用した「採点ミス発見支援システム」を開発することで、

提案手法の有効性とシステムの実用性を明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究は、以下に示す研究課題からの順で研究を実施する。

模擬答案データセット構築ならびに辞書パターンの作成

採点記号と部分点の切出しと重ね書き文字を個別文字に分離させる手法の提案と性能評価

分離した採点記号と部分点に対する認識性能評価と棄却判定の実現

上記の成果を実装した「採点ミス発見支援システム」を開発と実用性の評価

上記の 4 つの研究計画に対して、課題 は、答案画像データを本経費の謝金を用いて研究協力者を募り、模擬採点答案用紙を作成し、本経費で購入予定のスキヤナによってデジタル画像化し、データセットを構築する。辞書パターンについては、文字パターンと筆跡情報の収集が必要であることからスマートペンとズームカメラの異なるデータ収集方法で作成する。なお、研究協力者は、本校所属の教職員、学生、ならびに一般人に協力依頼する。

課題 は、模擬採点答案用紙から抽出した採点記号と採点数字の重畳の有無の判定方法と重畳と判定された採点記号に対する分離手法を提案し、高精度な分離性能が得られるまで手法の改良を繰り返す。

課題 は、開発済みの単一の採点記号ならびに採点数字の認識手法を用いて、分離した個々の採点記号および採点数字に対する認識率を明らかにする。さらに、認識処理で算出される評価値を参照し、誤分離の可能性が高いパターンを棄却判定し、再度分離処理にフィードバックさせる処理を実現させる。

課題 は、課題 と の成果を利用して、文字認識技術の適用範囲の拡大を実現した実用的な応用システムとして、採点者に採点結果に誤りの有無が存在するか否かの注意喚起を行う「採点ミス発見支援システム」を実現させる。

上記の研究計画に対する本経費での設備整備として、課題 では、謝金で募った研究協力者に模擬答案の作成を依頼し、答案画像データセット数の増加を図る。課題 と では、現状の研究費範囲内で購入が困難な A3 サイズの答案を高速で大量にデジタル画像化できるイメージスキヤナ、部分点の認識に必要な自由手書き文字ライブラリ、データセット構築用大容量ハードディスクを導入し、基幹設備内に研究環境を構築する。課題 では、課題 の分離処理、課題 の認識処理のルーチンレベルは、既存の基幹設備で開発を進める。各ルーチン完成後にそれらを組み合わせ

たシステム開発並びに実用性評価を、本経費で導入する高性能パソコンで実施する。

研究体制は、研究代表者が研究遂行およびシステム開発全体のマネジメントを担当しながら、研究全般を遂行する。遂行上でのアシスタントとして、本研究室所属の専攻科生と情報工学科 5 年生を研究協力者として、各課題に関するデータ収集、実験プログラム作成、システム開発におけるルーチン作成に携わる。

次に研究方法について述べる。模擬答案データセットを収集する課題は、答案 1 枚当たり採点記号として約 50 文字、部分点として 5~10 ヶ所を基本的な文字数として、研究協力者を募り、模擬答案を作成する。この模擬答案は、解答欄に鉛筆による解答の記入、採点者による採点作業と部分点および総点を記入して作成させる。この模擬答案の電子化は、本経費で購入するイメージスキャナによって模擬答案を画像として大容量ハードディスクに保存する。

本研究では、採点済みの答案上の採点文字および採点数字が認識対象となるオフラインの自由手書き文字認識である。このオフラインでの自由手書き文字認識は、筆跡情報が得られるオンライン自由手書き文字認識と比較して重ね書き文字の分離精度、ならびに文字の認識率の低下が予想されることから、筆跡情報ならびにオンライン自由手書き文字認識結果を取得可能とするために、ズームカメラを用いて模擬答案作成の様子を撮影し、動画のフレーム間での筆跡差分を抽出し筆跡情報を取得する方法と、採点中の筆跡情報を Wi-Fi 経由で逐次送信できるスマートペンで取得する方法によって得た筆跡情報も大容量ハードディスクに保存する。なお、収集された採点記号や採点数字パターンは、課題の認識に用いる辞書パターンにも利用する。

#### 4. 研究成果

まず、課題の実現に向けて、課題からの研究を実施した。課題の初期の実験データとして、模擬答案を作成した。この模擬答案は、高専入試で用いられた解答用紙に、実験協力者によって採点記号と部分点を赤ペンで記入したものである。模擬答案用紙では、8 つの大問ごとに、解答欄が分割された書式であり、各大問に対して 2 つから 4 つの解答欄が存在する。この各解答欄に採点記号が実験協力者によって赤ペンで手書きされている。次に、模擬答案用紙内の右端に、大問ごとに部分点記入欄があり、各大問の部分点が実験協力者によって赤ペンで手書きされている。手書きされた採点記号は、' '、' '、' x '、' / ' の計 4 種類、部分点は ' 0 ' から ' 9 ' の 1 桁の数字に限定する。また、手書きの場所については、解答欄や部分点記入欄の枠線との接触、重畳を許容しながらも、

記号や数字の中心位置が欄外にならないよう記入されている。模擬答案用紙に対してイメージスキャナを用いて解像度 300dpi で電子化して図 1 に示す模擬答案画像を作成した。

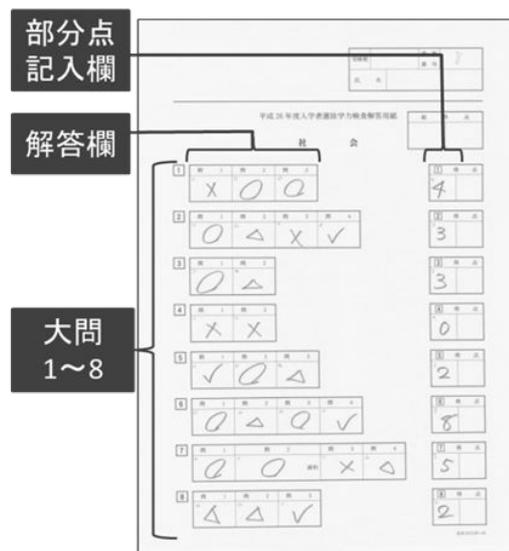


図 1 模擬答案画像例

次に、模擬答案画像内の採点記号や部分点は、重ね書きされていないが、課題として、答案に書かれた採点パターンの抽出精度を調査した。採点した筆記具の色情報に基づいた採点パターン抽出法を提案し、表 1 の実験結果から、模擬答案上の全 175 個の採点パターン全てが抽出成功であり、採点パターン抽出率は 100%であった。

表 1 抽出実験結果

| 採点パターン数<br>[個] | 抽出成功数<br>[個] | 抽出率<br>[%] |
|----------------|--------------|------------|
| 175            | 175          | 100        |

次に、採点記号パターンに対して、従来の手書き文字手法を利用して採点記号および部分点の認識精度を調査した。調査では、2 人の採点協力者 A, B によって、1 人あたり 10 枚、計 20 枚の模擬答案を作成した。ここで、認識対象である採点パターンは 1 人あたり部分点 80 個と採点記号 250 個である。採点パターン認識に用いる辞書は、部分点と採点記号で個別に作成する。辞書作成には、MNIST 手書き数字データベースから入手した 1000 個の数字パターン(' 0 ' から ' 9 ' 各 100 個)を利用した。一方、採点記号の辞書作成は、模擬答案採点者とは異なる 5 人の筆記者によって記入された採点記号パターン 2000 個(' '、' '、' x '、' / ' 各 500 個)である。これらの部分点および採点記号を階層型ニューラルネットワークに学習させた辞書を「汎用辞書」とする。不特定の採点者の採点パターンの認識には、この汎用辞書を用いた。表 2 に示す汎用辞書による部分点の認

識実験の結果として、学習パターンで 97.6%、未知パターンで平均 83.8%の認識率が得られた。

表 2 汎用辞書での部分点認識率

| 採点者 | 認識率[%] |        |
|-----|--------|--------|
|     | 学習パターン | 未知パターン |
| A   | 97.6   | 90     |
| B   |        | 77.5   |
| 平均  | 97.6   | 83.8   |

続いて、汎用辞書を用いた採点記号の認識率を表 3 に示す。

表 3 汎用辞書での採点記号認識率

| 採点者 | 認識率[%] |        |
|-----|--------|--------|
|     | 学習パターン | 未知パターン |
| A   | 100.0  | 100.0  |
| B   |        | 97.2   |
| 平均  | 100.0  | 98.6   |

次に、実際の採点作業においては、1 人の採点者が一定枚数の答案を採点することが多い。このような状況下では、採点者が既知であることから汎用辞書でなく、個人辞書を用いることが可能である。そこで、個人辞書を用いた認識実験を実施した。

まず、採点者によって書かれた部分点および採点記号を階層型ニューラルネットワークに学習させた「個人辞書」を作成する。個人辞書の作成には、同一の採点者が筆記した部分点パターン 100 個( ' 0 ' から ' 9 ' 各 10 個 )、採点記号パターン 40 個( ' ' , ' ' , ' ' , ' x ' , ' / ' 各 10 個 )を用いた。

個人辞書を用いたときの部分点認識率を表 4 に示す。

表 4 個人辞書での部分点認識率

| 採点者 | 認識率[%] |        |
|-----|--------|--------|
|     | 学習パターン | 未知パターン |
| A   | 100.0  | 86.3   |
| B   | 100.0  | 90.0   |
| 平均  | 100.0  | 88.2   |

表 4 に示す個人辞書による部分点の認識実験の結果として、学習パターンで全て 100.0%、未知パターンで平均 88.2%の認識率が得られた。続いて、個人辞書を用いたときの採点記号の認識率を表 5 に示す。

表 5 個人辞書での採点記号認識率

| 採点者 | 認識率[%] |        |
|-----|--------|--------|
|     | 学習パターン | 未知パターン |
| A   | 100.0  | 97.2   |
| B   | 100.0  | 98.8   |
| 平均  | 100.0  | 98.0   |

表 5 に示す個人辞書による採点記号の認識実験の結果として、学習パターンで全て 100.0%、未知パターンで平均認識率 98.0%の認識率が得られた。

以上の結果から、課題 から についての単一手書き採点記号における課題 の実現に向けた知見が得られた。これらの知見を踏まえて、データセット数を増やし、課題 を実現するためにシステム開発を実施した。開発を目指すシステムを、「採点ミス発見支援システム」とした。このシステムは、採点された答案において、手書き文字認識結果を用いて採点記号と部分点間で採点結果の相違の有無を調べ、採点結果に相違があれば、採点者にその旨を提示する。

認識部に用いた不特定多数の採点者の採点パターンの認識を対象とした汎用辞書と既知の採点者を対象とした個人辞書の 2 種類に分けてシステムの採点ミス提示精度の評価した。大問の数は合計 1 万個 ( 模擬答案 1 枚あたり大問 10 個 × 100 枚 × 10 人 ) であり、採点ミスは答案内に合計 162 個存在する。答案用紙の書式は既知とする。また、システムによる採点ミス提示は大問ごとに行う。ここで、システムの採点ミス提示精度の指標として、再現率 R を用いた。この再現率 R は、システムが提示するべき正解群の中で採点ミスの正提示を表す。開発したシステムを性能評価した結果を表 6 に示す。

表 6 採点支援システムの再現率

|          | 辞書   |      |
|----------|------|------|
|          | 汎用辞書 | 個人辞書 |
| 再現率 R[%] | 94.4 | 95.7 |

表 6 に示すように、汎用辞書で再現率 R は平均 94.4%、個人辞書で平均 95.7%の結果が得られた。この結果を踏まえて、課題 の解決に向けたプロトタイプシステムを実現させた。

最後に、このプロトタイプシステムにおいて、本研究の目的であり、かつ、答案によく見られる図 2 に示す接触重畳採点記号を含んだ答案画像に対する「採点ミス発見支援システム」を実現させる処理手法について検討した。基本的に、接触重畳採点記号を正確に分離抽出するには、接触重畳採点記号を 2 つのパターンに分離して、表 3 あるいは表 5 で示した採点記号認識率を有する認識ルーチンを用いて各々を認識する処理が考えられる。

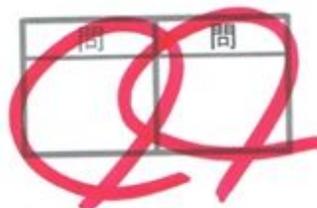


図 2 接触重畳採点記号

すでに答案用紙に筆記済みの接触重畳採点記号の分離抽出は、研究開始当初の背景でも述べたように制約(1)(2)を満たさないことから、筆記済みの接触重畳採点記号の認識は、非常に困難である。そこで、採点作業の様子をカメラで動画として取得し、その採点動画から採点記号の筆跡情報を抽出することで、接触重畳採点記号を正確に分離抽出する処理が実現可能であるかを明らかにする。

調査では、単一の採点記号を筆記した採点動画において、採点記号パターンが抽出できるかを実験した。実験では、解答欄1つが中央に配置された用紙を用い、筆記者は赤ペンを用いて図17の解答欄付近に採点記号' '、' '、'x'、'/'のどれか1つ筆記する風景を「採点映像」とする。「採点映像」として、14名の右利き筆記者から各採点記号700回、合計2800回の筆記を撮影する。

まず、提案手法で得られた採点記号パターン' '、' '、'x'、'/'において、ストロークに欠損や断線がなく、答案に筆記された形状同様に再現されたパターンを「正取得」としたとき、全採点記号パターン数と正取得数の割合である筆跡情報の正取得率を表7に示す。

表7 筆跡情報の正取得率

| 正取得率[%] |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|
|         |      | x    | /    | 平均   |
| 81.4    | 95.2 | 93.4 | 97.7 | 91.9 |

次に、正取得したオンラインパターンと従来手法で抽出したオフラインパターンの認識精度評価実験を実施する。7名分を学習パターン、残り7名分を未知パターンとして辞書に用いて認識処理する。このときの採点記号に対する学習パターンと未知パターンでの認識率を表8に示す。

表8 採点記号認識率

| パターン<br>種別    |    | 認識率[%] |      |      |     | 平均   |
|---------------|----|--------|------|------|-----|------|
|               |    | ✓      |      | x    | /   |      |
| オフ<br>ライ<br>ン | 学習 | 100    | 100  | 100  | 99  | 99.8 |
|               | 未知 | 99.4   | 100  | 100  | 100 | 99.9 |
| オン<br>ライ<br>ン | 学習 | 100    | 100  | 99.7 | 100 | 99.9 |
|               | 未知 | 78.2   | 97.3 | 77.2 | 100 | 88.2 |

表8の認識率から、学習パターンにおいて認識率の差が0.1%と極めて小さいが、未知パターンにおいては差が11.7%と大きいことが

明らかになった。この結果から画像から抽出した採点記号パターン(オフラインパターン)も、筆跡情報で抽出したそれ(オンラインパターン)に対しても、両者間で認識率の差がない結果となった。この結果を踏まえ、筆跡情報を利用して図2の接触重畳採点記号を各々の採点号に分離が実現できれば、表6に近い採点支援システムの再現率が得られると予想される。しかしながら、筆跡情報のみでの接触重畳採点記号を各々の採点記号に分離については、表7の各採点記号パターンの正取得率からして、現状困難であると言えることから、接触重畳採点記号を含む採点支援システムの実現に向け、表7の筆跡情報の正取得率の精度向上が今後の課題といえる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

西川雅清, 松尾賢一, “採点ミス発見支援システムの開発～部分点と採点記号の認識を用いた採点ミス発見手法～”, 第14回情報科学技術フォーラム講演論文集, 査読有, Vol.4, pp.141-148

〔学会発表〕(計8件)

三上徹朗, 松尾賢一, 接触採点記号の分離抽出に対応した採点ミス発見支援システムの開発, 2018年 電子情報通信学会 総合大会 学生ポスターセッション, 2018

三上徹朗, 松尾賢一, 採点作業映像からの採点記号筆跡情報の取得, 電子情報通信学会 関西支部学生会 第23回学生会研究発表講演会, 2018

三上徹朗, 松尾賢一, 採点ミス発見支援システムの開発～採点映像からの筆跡情報の取得～, 平成29年電気関係学会関西連合大会, 2017

三上徹朗, 松尾賢一, 西川雅清, “採点ミス発見支援システムの開発～汎用性を向上させる処理部の導入～”, 情報科学技術フォーラム(FIT: Forum on Information Technology), 2017

三上徹朗, 松尾賢一, 採点映像からの採点記号パターンと筆跡情報の抽出”, 2017年 電子情報通信学会 総合大会, 2016

西川雅清, 松尾賢一, 採点ミス発見支援システムの性能評価”, 2015年 電子情報通信学会 総合大会, 2016

三上徹朗, 西川雅清, 松尾賢一, カメラによる採点記号の筆跡情報取得の高精度化, 電子情報通信学会関西支部学生会 第21回学生会研究発表講演会 講演論文集, 2016

西川雅清, 松尾賢一, 採点ミス発見支援システムの開発～部分点と採点記号の認識を用いた採点ミス発見手法～, 情報科学技術フォーラム(FIT: Forum on Information

Technology) 2015, 2015

〔その他〕

ホームページ等

平成27年度成果報告

<http://www.info.nara-k.ac.jp/~matsuo/MYSELF/kakenhi2015.html>

平成28年度成果報告

<http://www.info.nara-k.ac.jp/~matsuo/MYSELF/kakenhi2016.html>

平成29年度成果報告

<http://www.info.nara-k.ac.jp/~matsuo/MYSELF/kakenhi2016.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松尾賢一 (MATSUO Ken-ichi)

奈良工業高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：10259913

### (4) 研究協力者

西川雅清 (NISHIKAWA Masakiyo)

三上徹朗 (MIKAMI Tetsuro)