

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03143

研究課題名（和文）自由手書きされた重ね書き文字認識を可能する前処理の実現

研究課題名（英文）Preprocessing to enable recognition of handwritten and overwritten characters

研究代表者

松尾 賢一（KEN'ICHI, Matsuo）

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）：筆者は、開発済みの採点ミス発見支援システムに対して、自由手書きされた重ね書き採点記号や部分点パターンを認識できる前処理を開発した。さらに、認識部の高精度化によるシステムの実用性向上に向けた改良、採点に用いる筆記具や答案用紙などの制約を取り除く処理を追加した。これによって、本システムの実用性と汎用性向上させる改良を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究において、記述式試験における採点や部分点の集計ミスを現在の文字認識技術を用いて、人間と同等あるいはそれ以上の採点ミスの発見能力や採点ミスを指摘するセカンドオピニオンの役割を持つ採点ミス発見支援システムを開発済みである。本システムはこれまで単色単一の採点記号や部分点パターンが存在する採点済み答案のみが処理対象であった。よって、採点に用いられる様々な筆記具で書かれた重ね書き文字や試験用紙にも対応できる前処理部の開発、および、採点ミス発見の精度向上に向けた認識処理の改良によって、本システムの実用性と汎用性を向上させることで、さらなる採点業務負荷の低減支援を目指す。

研究成果の概要（英文）：The author has developed preprocessing for an already developed error detection support system, enabling recognition of freely handwritten overlaid scoring symbols and partial credit patterns. Furthermore, improvements were made to enhance the accuracy of the recognition component, thereby improving the practicality of the system. Additionally, processing was added to remove constraints such as the type of writing utensil or answer sheet used for scoring. These enhancements have achieved improvements in both the practicality and versatility of the system.

研究分野：パターン認識理解

キーワード：重畳文字 答案画像 採点ミス発見支援システム 部分点 文字認識 文字パターン分離処理 画像処理

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、各種試験の効率化、採点業務の簡素化、採点ミス防止の対策として、マークシート、CBT (Computer Based Testing)、選択式の試験形式が増加している。しかしながら、思考力を問うためにはこれまでの記述式の試験がなくなることはないと考えられる。入試レベルでは採点ミスは許されないため、ミスが発生させないプレッシャーを背負いながら、多くの人材を採点業務に投入して採点ミスの発見に努めているのが現状である。また、学力を測る定期試験レベルやレポート評価では、採点者と採点ミスの発見を一人の教員でこなすことが一般的であり、ひいては、教員の業務負担の一端となっている。そこで、研究代表者は、前述の採点や部分点の集計ミスを現在の文字認識技術を用いれば、人間と同等あるいはそれ以上の採点ミスの発見能力や採点ミスを指摘するセカンドオピニオンの役割を持たせることが可能であると考えた。これとは別に、現状の文字認識技術が学習された文字パターンに対して 99%以上の認識率を有するにも関わらず、一部の応用・実用システムの実現にとどまっているのが現状である。本研究では、この文字認識技術の適用範囲を拡張させる手法もしくは前処理を提案し、それらを導入して改良を加えた採点ミス発見支援システムを開発したいとの着想に至った。

2. 研究の目的

本研究課題では、図1に示す先行研究で開発済みの採点済み答案画像内で採点記号パターンと部分点パターン間の正解に対する関係性で不一致が認められたとき採点者に再チェックを促す採点ミス発見支援システム(従来システム)に対して、自由手書きされた重ね書き採点記号や部分点に対する認識を可能するため、図2に示す前処理手法(図2の重畳文字分離部内の . 重畳採点記号検出, . 分離抽出, . 分離切り出し)の従来システムの と 間への追加,ならびに, の文字認識部の改良(図2のV. 文字認識部)が目的である。

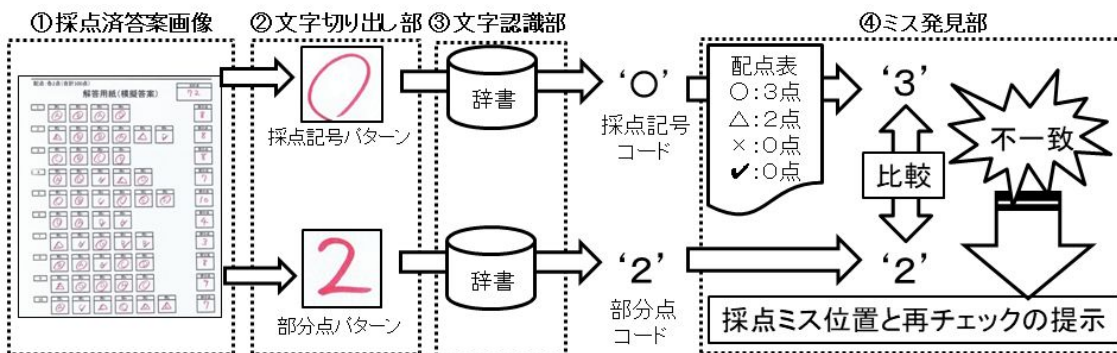


図1 開発済みの採点支援システムの概要図(従来システム)

図2は、従来システムに前処理として重畳文字分離部を導入することで単一文字パターンの制約手書き文字のみならず、自由手書き文字にまで従来システムが対応できるようにする。

さらに、図1の の文字認識部に対して、膨大な画像データを用いた学習によって従来の文字認識技術での認識率を上回る精度が報告されている深層学習を導入することで、システムの実用性と汎用性を向上させる。

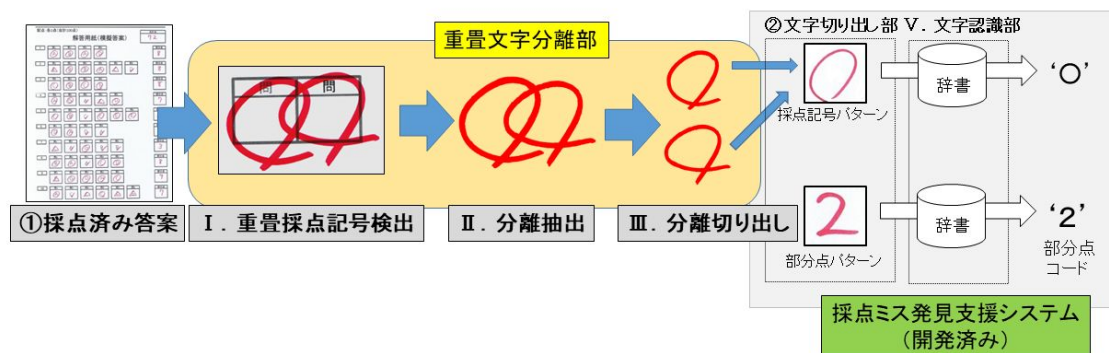


図2 従来システムに導入する前処理部(本システム)

3. 研究の方法

研究目的の達成に向けて、本研究課題を以下のように分類する。

- (1) 課題 : 重ね書き文字の認識を可能にする前処理(図2の重畳文字分離部)の実現
- (2) 課題 : 従来システムの実用性向上に向けた改良
- (3) 課題 : 従来システムの汎用性向上に向けた改良

上記の各課題に対して研究代表者(研究全体の統括)と研究協力者(システム開発)と共同で、3年の研究期間内に課題 ~ を同時に遂行する。

課題 1 では、従来システムでは図1に示す採点済答案画像に対して重ね書きされた単一の採点記号パターンと部分点パターン(以後、文字パターン)を色情報に基づいて同図の文字切り出し処理をしていた。ここでの色情報は、事前に調査した採点で使用された筆記具の色情報(主に、色相と彩度値)に対して、固定パラメータを用いてパターンの抽出と切り出しがなされていた。ここで書かれている文字パターンは、答案の枠内に単一で書かれており、これらはある程度文字パターンの筆記に制約をかけていることから「制約手書き文字」と呼ばれる。

これに対して、本研究課題ではこの採点文字を「自由手書き文字」にまで対応できるように改良を加えることで、課題 1, 2 のシステムの実用性と汎用性を向上させることを目指している。この自由手書き文字の一種として、文字同士が接触、あるいは、重なった状態である「重畳採点文字」にも対応できるように、図2に示すように従来システムに冗長文字分離部と呼ばれる前処理の実現と追加を実施する。

次に、課題 3 は、従来システムの実用性を向上させる上で、採点記号と部分点間での不一致判定の精度を向上させるために、図2の文字認識部における認識精度の向上を図る。図1の従来システムでの文字認識部では、文字切り出し部で得られた採点記号と部分点パターンに対して、特徴抽出と階層型ニューラルネットワークを用いて認識結果であるコードを得ていた。これに対して、課題 3 では、画像認識の精度向上への大きな成果をもたらした深層学習(Deep Learning)の核である畳み込みニューラルネットワークCNN(Convolutional Neural Network)を図2のVの文字認識部に導入し、本システムにおける文字認識精度を従来システム以上に向上させる。この導入に向けて、膨大な学習データが必要であることから、自由手書きされた重ね書き文字パターンを継続的に収集するために、研究協力者によって模擬答案データセット構築ならびに辞書パターンのデータベースを作成する。

最後に、課題 4 では、従来システムの汎用性を向上させるために、これまでの採点用の赤色筆記具(筆記色、種類、線幅など)や答案用紙の質(上質紙やわら半紙など)の制約のない多様な状況にも従来システムが対応できるようにアルゴリズムを改良する。主となる改良として、これまで固定パラメータを用いていた図1の文字切り出し処理を色クラスタリング処理に置き換える。この処理の置き換えでパラメータに依存しない分離抽出や文字切り出しの実現が可能であると考えられる。

4. 研究成果

本研究成果について述べる。

(1)色クラスタリング手法の有効性についての研究成果

図1の従来システムでは、HSV色空間内から単色単一文字パターンの色クラスタを固定パラメータによって採点済み答案画像から文字パターンを分離抽出していた。この手法では、筆記具、答案用紙、採色が変化すると対応できない、あるいは、固定パラメータの再設定が必要であった。そこで、課題 1 で従来システムの適応範囲を拡大させて汎用性を高めるために、色クラスタリング手法であるk-meansクラスタリング法をベースに改良を加えた。k-meansクラスタリング法で、採点済み答案画像内の色情報を、採点領域、重畳領域、背景・印刷領域の3つ(k=3)の色クラスタに分類する。しかしながら、固定パラメータとは異なり、クラスタリング手法を導入すると図2の処理において、背景・印刷領域と採点記号パターンが存在する採点領域との重畳領域において採点記号文字のストローク欠損が発生した。その欠損の発生は、重畳領域における筆記色と枠線色の混色による筆記色クラスタの枠線クラスタ内への入り込みが原因であった。

当初の仮説では、重畳領域の色情報は、筆記色と枠線色との線形和になる見込みであったが、画素単位で重畳領域付近の色情報の分析を実施したところ、筆記具の種別、枠線を印刷したプリンタ特性、答案用紙の材質などによって、重畳領域の色クラスタが様々に変化することが明らかとなった。この新たな問題が発生したことから、当初の計画予定であった図2の処理の実現が困難と判断した。このストローク欠損を防止するために、ノンローカルミン(NLM)フィルタを用いて、類似性の高い領域同士のフィルタリング処理後にクラスタリングを実施することで、図3に示すように3つの色クラスタの分散を抑制させて、重畳領域クラスタの背景・印刷領域の色クラスタ内への入り込みを防止する手法を提案した。

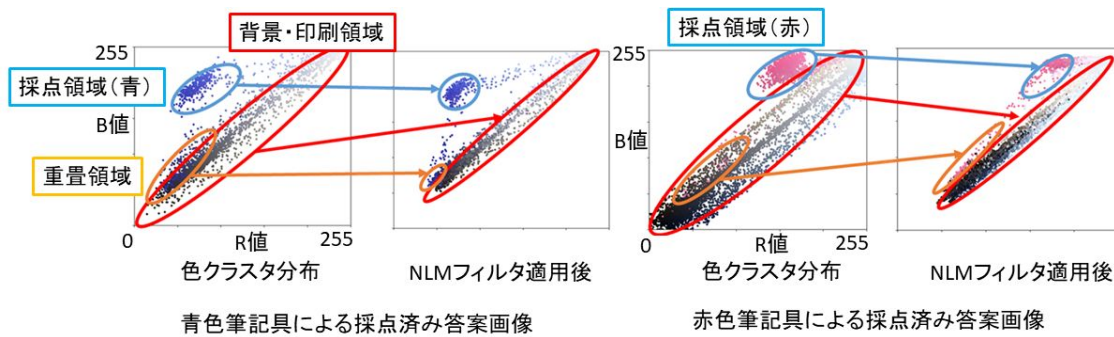


図3 NLM フィルタ適用後の色クラスタ形状の変化

この提案手法によって、図2の1で生じた重畳領域付近のストローク欠損が防止でき、良質な採点記号パターンを得ることを可能にできる。研究成果として、図2の .での分離抽出処理に提案手法を導入することで、重畳文字の分離抽出を可能にすることができた。

(2) 重ね書き文字の抽出率と認識率についての研究成果

課題 で、従来システムを色クラスタリングによる採点（採点記号，部分点）パターン抽出・切り出し手法に改良を加えた抽出性能結果を表1に示す。また、課題 ， の実用性と汎用性向上を明らかにするために、筆記具に青色を加えての色クラスタリングの改良の有効性を示す。

表1 採点パターン抽出性能結果(未知パターン) 文献

採点筆記具色	採点パターン数 [個]	抽出成功数 [個]	抽出率 [%]
赤色	1,538	1,453	94.45
青色	354	343	96.8

次に図2のV.文字認識部(従来システムでは図1)に畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を導入して認識処理部に改良を加えた。表2に学習パターンに対する文字認識部の性能評価結果を示す、表3に抽出された未知の各採点記号と部分点パターンに対する認識結果を示す。

表2 CNNによる採点パターン認識性能結果(未知パターン) 文献

パターン種別	対象データ数 [個]	認識率 [%]
部分点パターン	10,000	99.2
採点記号パターン	200	99.5

表3 CNNによる採点パターン認識性能結果(未知パターン) 文献

パターン種別	正認識数 [個]	総パターン数 [個]	認識率 [%]
○	874	1,000	87.4
	974	1,000	97.4
✓	995	1,000	99.5
×	987	1,000	98.7
部分点	989	1,000	98.9

表1の結果からは、多色の筆記具への対応を可能にすることで実用性の面では抽出率の低下が見られたが、採点用の筆記具色が変わっても、各々の抽出率に大きな変化が見られないことから汎用性の向上は実現できたといえる。また、表2では、従来システムでは部分点パターンで平均83.8%、採点記号パターンで98.6%の認識率であったが、表2、3に示すようにCNNを導入した認識手法に改良することで従来システムを上回る高い認識率を得ることができており、実用性の向上が図られたといえる。

(3) 従来システムの改良についての研究成果

単一文字単位に分離抽出した文字パターンに対しての認識結果を得る従来の方法から、重畳状態での文字パターン認識方法についても検討した。

2つの採点記号パターンを用いて様々な重畳採点記号パターンを生成し、これらの生成パターンによる機械学習モデルを用いた認識処理手法を提案する。提案手法では、10人の筆記者による単一採点記号パターン3種類(' ', ' ', '✓')を用いて、各採点記号間の距離を4パターン(20, 40, 60, 80pixel)、各採点記号間の角度を4パターン(0, 45, 90, 135°)に設定し、

重畳採点記号パターン生成する．生成した重畳採点記号パターンは，120,000 個の学習パターンと 60000 個の未知パターンである．学習パターンに対する認識結果は，全ての重畳パターンに対して 100%の認識結果が得られた．次に，未知パターン認識実験結果を表 4 に示す．

表 4：重畳採点記号認識結果(未知パターン) 文献

重畳文字パターン種別		正認識数	パターン総数	認識率 (%)
○	○	8,579	10,000	85.79%
		8,588	10,000	85.88%
○		8,663	10,000	86.63%
○	✓	8,903	10,000	89.03%
	✓	9,847	10,000	98.47%
✓	✓	9,916	10,000	99.16%
総数		54,496	60,000	90.83%

今後の課題として，図 2 の 以外は，改良での効果が得られていることから，システム全体での性能評価を実施する必要がある．さらに，従来システムで実施済みの支援効果に対する評価についても明らかにしていきたい．

< 引用文献 >

村本 幸次郎，松尾 賢一：”採点ミス発見支援システムにおける分離抽出精度向上に向けた改良”，情報科学技術フォーラム (FIT: Forum on Information Technology) 2022, CH-014 (2022/09/13)

村本幸次郎，松尾賢一：”採点ミス発見支援システム内の抽出処理の改良”，2022 年電子情報通信学会 総合大会 ISS 特別企画「ジュニア & 学生ポスターセッション」,ISS-P-012 (2022/03/15) オンライン発表

村本幸次郎，松尾賢一，徳田義行：”採点ミス発見支援システム実用化に向けた重畳文字認識部の高精度化，令和 3 年電気関係学会関西連合大会，G12-7，(2021/12/05) オンライン発表

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 村本幸次郎, 松尾賢一
2. 発表標題 採点ミス発見支援システム内の抽出処理の改良
3. 学会等名 2022年電子情報通信学会 総合大会ISS特別企画「ジュニア&学生ポスターセッション」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村本 幸次郎, 松尾 賢一
2. 発表標題 採点ミス発見支援システムにおける分離抽出精度向上に向けた改良
3. 学会等名 情報科学技術フォーラム (FIT: Forum on Information Technology) 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村本 幸次郎, 松尾 賢一
2. 発表標題 採点ミス発見支援システムにおける分離抽出精度向上に向けた改良 ”
3. 学会等名 2023年電子情報通信学会 総合大会ISS特別企画「ジュニア&学生ポスターセッション」
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村本幸次郎, 松尾賢一, 徳田義行
2. 発表標題 採点ミス発見支援システム実用化に向けた重畳文字認識部の高精度化
3. 学会等名 令和3年電気関係学会関西連合大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

科研費成果報告用ページ(2022年度版) https://www.info.nara-k.ac.jp/~matsuo/MYSELF/KAKEN/kakenhi2022.html 科研費成果報告用ページ(2021年度版) https://www.info.nara-k.ac.jp/~matsuo/MYSELF/KAKEN/kakenhi2021.html 科研費成果報告用ページ(2020年度版) http://www.info.nara-k.ac.jp/~matsuo/MYSELF/KAKEN/kakenhi2020.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	徳田 義行 (TOKUDA Yoshiyuki)		
研究協力者	村本 幸次郎 (MURAMOTO Koujiro)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------