

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：34104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K01123

研究課題名（和文）記述式答案用紙を対象とした文字認識と文章理解による採点支援システム

研究課題名（英文）Marking support system by character recognition and sentence understanding for description-type answer sheets

研究代表者

鶴岡 信治（Tsuruoka, Shinji）

鈴鹿医療科学大学・医用工学部・教授

研究者番号：30126982

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自由記述文で書かれた手書き答案用紙を対象に、自動採点システムを作成するための基礎研究を行った。すなわち罫線で解答欄が区切られた手書き答案用紙を対象に、解答欄ごとの解答領域を自動分割し、筆記された複数行の分離と個別文字領域の分割を高精度で行うシステムを開発した。次に、個別文字領域に書かれた文字画像を高精度で文字認識した。そして、自動採点システムの可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、デジタルトランスフォーメーション（DX）を推進するために必要となる答案用紙に手書きで書かれた自由記述文の文字認識に関する研究である。大学入試の共通テストでも手書き文字の導入が検討されたが、現在の文字認識の技術では手書き文字はコンピュータで認識することは難しく、断念された。この技術が完成すれば、自動採点は可能となり、初等教育、中等教育、高等教育において教員は宿題、レポート、答案などの採点業務から開放され、教員の過労を防止することができ、教育革命が起こる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we conducted basic research to create an automatic scoring system for handwritten answer sheets written in free text. That is, we have developed a system that automatically divides the answer area for each answer column for the handwritten answer sheet whose answer columns are separated by ruled lines, and separates the written multiple lines and the individual character area with high accuracy. Next, the character image written in the individual character area was recognized with high accuracy. Then, the possibility of an automatic scoring system was examined.

研究分野：画像認識

キーワード：文字認識 システム 文書理解 データサイエンス デジタルトランスフォーメーション（DX） 画像認識 教育シ

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

印刷文字や住所、氏名、商品名などの事前に学習した文字の範囲で文字認識するシステムはかなり発展しており、郵便区分機、帳票読み取りシステム、かんばん読み取りシステムなどは実用化され、生産革命・物流革命が起こり、今日のデジタルトランスフォーメーション(DX)の基盤を支えている。しかし、出現する単語が限定されていない手書きの自由記述文の答案用紙の自動採点システムは進展していない。

手書きの自由記述文の答案は学生の文章作成能力を向上させるには不可欠であり、多くの大学では論理的な文章を記述させる小テストや定期試験が多くの授業科目で行われている。しかし、自由記述文である手書き文章を文字認識するには、現在の技術だけでは十分な読み取り精度とならず、自動採点システムを作成することはできない。革新的な新技術を研究開発する必要がある。そのため、手書きの自由記述文を自動認識するための新たな文字認識システムを開発し、その文字認識システムの特徴を使用した新しい自然言語の解析システムを開発しなければ、記述の適切性と論理性を自動採点するシステムは開発できないことが文字認識の研究者から指摘されている。

2. 研究の目的

(1)本研究では、革新的な新技術により、手書き答案用紙に筆記された複数行の文章を高精度で文字認識し、世界初の手書き文章の意味理解を実現させ、授業データベースを使用し、自動採点システムを作成することを目指す。

(2)本研究は、学生の文書作成能力を数量的に把握し、どの程度能力が向上したかを客観的に計測するために、期末試験の複数の行が筆記できる解答欄付きの記述式答案用紙を対象に独自の自動採点システムを構成する。

3. 研究の方法

(1)解答欄(図1)からの解答領域(部分画像)の分離: 罫線認識を基に処理プログラムを新たに作成し、罫線で分割された領域を切り出す処理システムを作成する。

(2)複数行からの行画像の分離: 新規の区分的頻度分布解析法により行分離プログラムを新たに作成し、解答領域の画像を行単位の画像(行画像)に分割した。

(3)行画像からの個別文字画像の分離(引用文献): 垂直投影法と背景領域細線化法で基本セグメントを作成し、制限条件と評価値を使用した動的計画法により、合成セグメントを作成し、個別文字画像を作成する。

(4)個別手書き文字認識: 文字輪郭の頻度分布(96次元ベクトル)を深層学習法に使用する「特徴入力型深層学習法」を開発(プログラムを作成)・評価実験を繰り返し、認識精度向上を目指す。

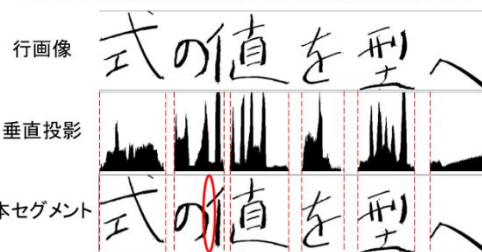
(5)キーワード認識: 授業で出現するキーワードを辞書に登録し、キーワード認識を実施する。

(6)文章理解に関する教員との一致度(理解度): 授業科目のキーワード辞書を使用し、文章の形態素と構文解析を高度化し、出題者による採点結果との一致度を検討する。

1.	
(1)	プロジェクトは1つのプログラムで構成しているファイルの集合であり、Visual C#のプロジェクトで動作させるためのファイルを含めておいたものがよく。
(2)	指定した画像(あるいは文章)を表示するためのファイル上の領域。
(3)	画像の色要素RGBのGの値を処理し白色に濃度値を近づける処理を行う。
(4)	画像の色要素RGB8256階調濃度値で表現したcolor構成体の集合で画像処理の標準形式データ

図1 手書き自由記述文の解答欄の例

垂直方向の黒画素が0になる位置で線形に分割する。



重なり文字の切り出しが不可能。

切り出し失敗例: 構造物本 数名 宣言

図2 従来の個別文字分離方法(文献)

4. 研究成果

(1)解答欄からの解答領域(部分画像)の分離:

処理プログラムの元となる分離プログラムは、黒板に書かれた文字のように罫線がない画像に対する処理プログラムであったため、文字の書き方が異なっていた。そのため、本研究のように罫線が存在する画像では、罫線除去で削除された部分の取り扱いなどの種々の

修正を行った。すなわち、視覚心理学の研究成果を組み入れるために多変量の統計的な判別分析法を組み合わせ、解答欄の罫線を水平方向と垂直方向のヒストグラムにより、罫線の候補位置を確率的に検出し、罫線位置から、解答領域（部分画像）に分割した。その後、罫線からはみ出して筆記された部分修復し、解答領域の分離率を95%以上の精度で推定し、記入した文字を含む解答領域を検出するシステムを作成することができた。

(2) 解答領域（複数行）からの行画像の分離：個別文字認識するためには、まず文字の書かれている行を分離する必要がある。解答欄内で複数行が記入される解答領域を対象に、文字行が曲がって筆記された文字列、上下の行で文字の接触がある文字列の分離を含める領域設定型の個別行分離方法を多変量解析の手法を改良して処理プログラムを開発した。その性能を評価するために、実際の大学生が手書きで書いた解答用紙90枚に対して行分離率95%以上を達成できた。

(3) 行画像からの個別文字画像の分離：垂直投影法と背景領域細線化法を組み合わせた文献の個別文字分離法により、細分化された基本セグメント（図3）を作成した。次に、文献を改良した制限条件と評価値を使用した動的計画法により、合成セグメントを作成し、個別文字画像を作成した。

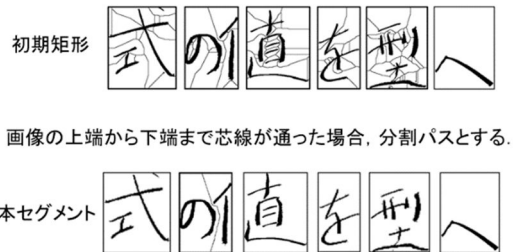


図3 行画像からの個別文字画像の分離方法

(4) 個別手書き文字認識：計画では「特徴入力型深層学習法」を開発する予定であったが、予備実験をするための試作システムを作成したら、学習過程が従来のニューラルネットの学習方法では文字認識の認識率の向上が見込めない理由が多く、認識結果のメカニズムを解析することにより、明確となった。

それで、物体認識で認識精度の高い実験結果が報告されている「畳み込みニューラルネットワーク」に関する学習モデルである「残差ネットワーク（ResNet）」を基本モデルとした。

本研究で使用している特徴量は、残差ネットワークが提案された特徴量と異なるので、特徴量に合うように修正し、多数の筆記者の文字を使用し、残差ネットワークでの問題点を明確にした。すなわち、残差ネットワークでは、初期値の乱数の与え方により、認識精度が大きく変化し、初期値の乱数の与え方に関して、特

筆記者 (認識率)	筆記者 #18 (100%)	筆記者 #2 (100%)	筆記者 #50 (60%)
正読された文字	ぜ ぜ ぜ ぜ ぜ ぜ	ぜ ぜ ぜ ぜ ぜ ぜ	せ せ せ せ せ せ
誤読された文字			せ → ち せ → ぎ せ → ぎ せ → だ

図4 ResNetの認識結果：正読と誤読の文字画像の例

徴量の統計的な分布系との依存性が大きいという問題が明確となった。そこで、従来から提案されている「フルスクラッチ法」を基に、大脳生理学の視覚野に関する知見を使用し、新しい畳み込みニューラルネットの学習方法を考案した。すなわち、人間の視覚野での物体の輪郭を抽出する機能を事前に設計者が与え、その後の学習に対して、重み計数を変化させない「畳み込みフィルタ固定法」を新たに開発した。そして、学習方法の差が明確に出る手書きひらがなの文字データベースを本研究の対象となる大学生と大学院生計52名の文字から作成した。そして、このデータベースを使用し、提案した学習方法で、文字認識した結果、平均文字認識率97%を98%に向上させ、誤読率を33%減少させることができ、大きな向上となり、本方式の有効性が明確となった。

さらに、「畳み込みフィルタ固定法」で誤読した文字を統計的に分析し、課題を解決する学習方法として、すでに提案されている「ファインチューニング法」を修正した学習方法を考案した。この方法は「畳み込みフィルタ固定法」に比べ、さらに学習時間は40%削減され、正読率は同程度となった。しかし、筆記者による文字認識率は、図5に示すように、「畳み込みフィルタ固定法」と「ファインチューニング法」は似た傾向を示し、すでに提案されている「フルスクラッチ法」に比べ、大きく変動する。そのため、実際の手書き答案用紙の自動採点システムにおいて、文字認識モジュールとして使用するするには、もう一段高いレベルの考え方をシステム化した方法の開発が期待される。

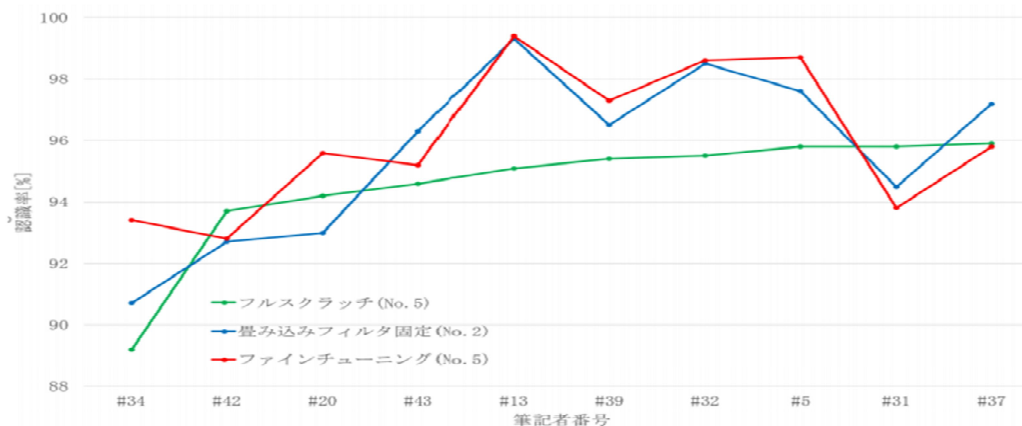


図5 手書きひらがな文字に対する3種類のResNetの筆記者別文字認識率

- (5) キーワード認識と教員との一致度：解答文にキーワードが入っているかどうかにより、自動採点を試みたところ、自由記述による説明問題では、出題した教員による採点結果との一致度は高く、有効性があることが明確となった。しかし、まだ1名の出題した教員による1授業科目についての問題に関してしか実験を行っていない。今後は、より多くの出題者による問題、異なる種類の問題に関し有効性の検討を行う必要がある。

<文献>

Shohei Okuyama, Haruhiko Takase, Hiroharu Kawanaka, Shinji Tsuruoka, . H. Chinthaka N. Premachandra Handwritten Keywords Extraction on Blackboard for Searching Lecture Scenes, International Workshop on Advanced Image Technology 2013 (IWAIT2013) , p.785, 2013

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Naoki Hayashishita, Shinji Tsuruoka, Hirogaru Kawanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Estimation Method of Personal Dictionary for Handwritten Hiragana Character Recognition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of 4th International Conference on Information Technology (ICIT2019)	6. 最初と最後の頁 pp.250-255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoki Hayashishita, Shinji Tsuruoka, Hiroharu Kawanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Deep Residual Network(ResNet) with Fixed Filters on Handwritten Hiragana Character Recognition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of The 9th International Symposium for Sustainability by Engineering at Mie University (Research Area C)	6. 最初と最後の頁 pp. 39-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoki Hayashishita, Shinji Tsuruoka, Hiroharu Kawanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Handwritten Hiragana Character Recognition using Convolutional Neural Network (CNN) with Fixed Convolution Filters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of The 11th International Workshop on Regional Innovation Studies 2019 (IWRIS2019)	6. 最初と最後の頁 pp. 73-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Naoki Hayashishita, Haruhiko Takase, Hiroharu Kawanaka, Hisanori Yagami, Shinji Tsuruoka	4. 巻 1
2. 論文標題 Estimated Personal Dictionary for Handwritten Hiragana Character Recognition Using Neural Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of the 10th International Workshop an Regional Innovation Studies (IWRIS2018)	6. 最初と最後の頁 79-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 林下 直樹, 川中普晴, 高瀬治彦, 鶴岡信治
2. 発表標題 ニューラルネットワークによる筆記者に適応した手書きひらがな文字認識
3. 学会等名 平成30年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林下 直樹, 川中普晴, 高瀬治彦, 鶴岡信治
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた手書きひらがな文字認識のための推定個人辞書の作成方法と効果
3. 学会等名 第8回地域イノベーション学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 諏訪貴紀, 鶴岡信治, 高瀬治彦, 川中普晴
2. 発表標題 部分画像の周辺分布の谷位置に着目した手書き答案からの文字列の抽出
3. 学会等名 平成29年度電気電子情報関係学会東海支部連合大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	高瀬 治彦 (Takase Haruhiko) (10283516)	三重大学・工学研究科・教授 (14101)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	八神 寿徳 (Yagami Toshinori) (10402554)	三重大学・地域イノベーション推進機構・准教授 (14101)	
研究分担者	川中 普晴 (Kawanaka Hiroharu) (30437115)	三重大学・工学研究科・准教授 (14101)	

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