

令和 2 年 7 月 11 日現在

機関番号：33306

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00456

研究課題名(和文)劣化した点字図書の復元システムの構築

研究課題名(英文)Construction of restoration system for degraded Braille books

研究代表者

川邊 弘之(Kawabe, Hiroyuki)

金城大学・社会福祉学部・教授

研究者番号：60249167

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)：本研究の目的は、劣化した点字図書を再び点字プリンタで印刷可能にすることである。視覚障害者は点字を指の腹で触り読んでいく。そのため、経年使用で点字が汚れ、穴が開き、つぶれていく。そこで、本研究では点字図書を機械可読電子データ化した。まず、点字図書をスキャナするのに適したスキャナを検討し、それをを用いてイメージ化した。次に、点字ページより点を画像認識技術で検出し、それらをまとめて、1マスずつ点字とした。そして、深層学習の手法を用い、点字を分類・識別した。さらに、点字の誤検出や誤識別などの訂正を行った。最後に、文字コードで保存した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新規に印字された点字を検出・識別するシステムに関する研究はあるが、経年劣化した点字、両面印刷された点字を対象にした研究事例は無い。そこに、この研究の独創性がある。点字図書は印刷物の図書の点字だけではない。電子データ化されず点字図書としてだけでしか存在しないものや印刷物の図書に対して、巻頭扉や巻末にオリジナルの文章を追加したものもある。また、点訳本であってもオリジナルが失われたものもある。そのような点字図書が廃棄されると、その内容も失われてしまう。機械可読電子データ化することで、内容を保全するだけでなく、その内容を健常者に周知することも可能になる。ここに、この研究の社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to make it possible to print a deteriorated Braille book on a Braille printer again. Visually impaired people read Braille by touching their braces with their finger pads. As a result, Braille will become dirty, holes will open, and it will collapse as it ages. Therefore, in this research, we converted the Braille books into machine-readable electronic data. First, we examined a scanner suitable for scanning Braille books and used it as an image. Next, dots were detected from the braille page by image recognition technology, and they were put together into braille one by one. And Braille was classified and identified using the method of deep learning. In addition, corrections such as erroneous detection and misidentification of Braille were made. Finally, I saved it as a character code.

研究分野：福祉工学

キーワード：点字 視覚障害者 画像認識 復元

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究に関する研究動向及び位置づけ

点字図書は通常の印刷による図書とは異なった劣化の過程をたどる。点字は触読文字であり、視覚障害者は突点を指の腹で触り読んでいく。そのため、頻繁に読まれる点字図書では経年使用で点字が汚れ、穴が開き、つぶれていく。古い点字図書では書庫での左右の書籍からの圧力で点字がつぶれ、劣化してゆく。

点字図書出版時の点字エディタによる機械可読データが残っているのならば、その点字図書を点字プリンタで再度印刷することが可能である。だが、IBM による社会貢献事業である「てんやく広場」が開始される 1988 年以前の点字図書には、機械可読データはない。また、それ以降に出版された点字図書であってでも、必ずしも機械可読データが残っているとは限らない。残っていたとしても、出版当時の機械可読データが現在の点字プリンタで使えるとは限らない。点字図書を機械可読電子データ化すれば、点字プリンタで再度印刷できる。

点字図書館は点字図書の保存に苦慮し、古い資料を廃棄処分にするか否かの選択に迫られている。理由は 2 つある。1 つ目は、点字図書の機械可読電子データ化が進んでいないことである。スキャナによる電子化では、点字でないので視覚障害者はそれを読めない。2 つ目は、点字図書はかさばり、書庫の収納空間を圧迫することである。点字図書では、点字の高さの分だけ各ページ面が厚くなる。そのため、点字図書は必然的に厚くなる。ここでも、点字図書の機械可読電子データ化が求められている。

劣化した点字の検出・識別に関する先行研究等はないが、状態の良好な点字に関しては先行研究がいくつかあり、点字データの画像認識ソフトウェアも発売されている。これらの研究やソフトウェアが対象にしているのは、真っ新の紙に点字プリンタで印刷されたばかりの点字である。劣化した点字や紙面に湾曲があることを前提とした図書を対象としていない。試みに劣化点字を市販の点字データ画像認識ソフトウェアで処理したところ、検出・識別に問題があった。また、通常の点字プリンタでは片面印刷だが、点字図書では両面印刷されている。両面印刷では、表紙面の点字(凸点)と裏紙面の点字(凹点)がページに同時に存在している。先ほどの市販の点字データ画像認識ソフトウェアでは、処理結果に問題があった。従って、両面印刷された劣化点字を処理した研究事例は無い。

(2) これまでの研究成果と着想にいたった経緯

近年、筆者及び、共同研究者は視覚障害者・聴覚障害者支援の研究に携わってきた。そこでは、画像識別や検出等、画像処理を利用するシステムを構築した。また、機械学習を取り入れた研究もある。劣化点字に関し、共同研究者の下村は点字の影による復元研究を行った経験がある。このように、本研究を遂行するための基盤は既に経験済みである。

本研究に先立つ研究で、我々は視覚障害者・聴覚障害者支援の研究に携わってきた。そこでは、画像識別や検出等、画像処理を利用するシステムを構築した。また、機械学習を取り入れた研究もある。さらに、点字の影による復元を行った経験もある。

今回の研究は、(1) 劣化した点字図書をスキャナで読み込み、(2) 点字を検出し、(3) その種類で分類し、誤り訂正を行い、機械可読データ化することである。筆者らのこれまでの画像識別、画像検出、機械学習、点字処理についての研究成果から、このテーマは頭の片隅にあったのだが、実現可能性の低かったため、放置しておかれていた。だが、近年の画像処理技術の発達と普及により、潮目が変わった。(1)の図書の読み込みに関して、近年、安価な図書画像入力装置(オーバヘッドスキャナ)が登場し、非破壊入力が可能になった。(2)に関して、画像処理ライブラリ、OpenCV の普及で画像の検出が容易になった。(3)に関して、Deep-Learning に代表される機械学習によって画像識別が容易に手の届くところになった。このように、現在では、実現可能なのである。

2. 研究の目的

(1) 目的の概要

本研究の目的は、劣化した点字図書を再び点字プリンタで印刷可能にすることである。頻繁に読まれる点字図書、古い点字図書は危機的状況にある。視覚障害者は点字を指の腹で触り読んでいく。そのため、経年使用で点字が汚れ、穴が開き、つぶれていく。また、各地の点字図書館は点字図書の保存に苦慮し、古い点字図書を廃棄処分にするか、残すのかの選択に迫られている。そこで、本研究では点字図書を機械可読電子データ化する。まず、点字図書をスキャナでイメージ化する。次に、点字ページより 1 マスずつ点字を画像認識技術で検出する。そして、点字を分類・識別する。さらに、点字の誤検出や誤識別などの訂正を行う。最後に、文字コードで保存する。

(2) 目標

【1】点字の検出

古い劣化した点字図書を非破壊スキャンした後、スキャン画像から一マス毎の点字を、表裏を区別しないで検出する。過去の研究で表裏合わせ約 15,000 マスの点字画像を得ている。それに加え、点字ではない画像を集める。これらを材料に機械学習で画像分類器を作成し、点字の検出を行う。このとき、疑わしきは点字と解釈させる。検出漏れ防止と検出精度の向上のために、劣

化した点字・非点字画像を追加する。

【2】点字の識別・分類と表裏判定

各マスの点字に対して、突点の凸凹識別（表裏判定）のために、機械学習で分類器を作成し、各点字マス画像を表裏、各 63 種に分類する。上の過程で過剰な検出を仮定しているため、点字でないマスも処理する必要がある。その際の判定と分類に工夫が必要になる。

【3】誤り訂正

上の過程において、識別・分類誤りは当然ある。誤り訂正に多くの工夫を凝らす。そのために、点字文法や日本語文法を援用する。点字が両面印刷されている場合、表裏、二度スキャンを受けるので、点字は、表画像と裏画像の二度読み取られている。これらは同一の文章を与えるので、文章の再現に際して、表裏冗長性がある。これも誤り訂正に利用する。

3. 研究の方法

本研究を以下の手順で行う。

(1) 点字図書のスキャン：

図書の破損を防ぐため、書籍入力用の非破壊スキャナを用いる。

(2) スキャン画像からの点字の検出：

点字の検出に OpenCV を用いる。検出用学習器を作成するためのデータとして、過去に作成した約 15,000 文字の点字画像を用いる。

(3) 検出した点字の識別・分類：

分類済みの点字画像と深層学習による画像分類器を用いる。

(4) 識別・分類誤りの訂正：

点字を仮名文字や英数字・記号に変換した後、点字文法規則や日本語文法との整合性、表裏 2 回のスキャンによる冗長性を利用し、確認・訂正する。

【1】点字の検出

まず、点字図書をスキャンして画像イメージとする。このとき、図書の破損を防ぐため、書籍入力用の非破壊スキャナを用いる。非破壊スキャナにはオーバーヘッド型とフラットベッド型があるので、使い勝手とその後の解析作業の効率を検討し、以降の標準スキャナとする。

画像検出には多くのポジティブ画像（検出させたいオブジェクトを含む画像）とネガティブ画像（検出させたいオブジェクトを含まない画像）が必要になる。我々は既に約 15,000 文字の点字画像（ポジティブ画像）を持っている。また、点字の無い部分の画像（ネガティブ画像）も持っている。この画像は点字の検出や識別・分類に利用可能である。点字画像の検出には、画像処理ライブラリの OpenCV を用いる。検出において「疑わしきは点字」を原則とし、検出漏れが無いように調整する。偽画像は後の「【2】点字の識別・分類と表裏判定」でネガティブ画像と判断されるからである。

【2】点字の識別・分類と表裏判定

【1】点字の検出」で検出された画像には、ポジティブ画像に加えネガティブ画像も含まれている。点字図書が両面印刷されている場合、スキャン画像には表点字（凸点からなる点字）と裏点字（凹点からなる点字）が混ざっている。まず、これらを識別・分類できる学習器を OpenCV で作る。

学習器を作るためには、分類された点字画像が必要である。表点字の画像を 180° 回転させると、光の当たり具合が逆になり裏点字となる。先ほど述べた約 15,000 文字の表点字画像のそれぞれを 180° 回転させて、約 15,000 文字の裏点字画像とする。そして、点字画像を突点の分布で表裏、各 63 種（一マスは 6 個の突点を含むので、突点無しを除いて $2^6 - 1$ ）に分類する。また、点字図書イメージから点字のない部分をランダムに切り出し、ネガティブ画像とする。

こうして得られた点字画像と OpenCV から識別・分類の学習器ができる。つぎに、この学習器を用いて「【1】点字の検出」で検出された画像を表裏判定し、識別・分類する。

【3】誤り訂正

まず、「【2】点字の識別・分類と表裏判定」の結果を仮名文字・英数字・記号に変換する。そして、訂正作業を行う。利用するのは、点字文法規則、日本語文法、表裏冗長性である。

点字での文章には独特の文法規則がある。それから逸脱していたならば誤りなので、その箇所をマークアップする。その際、点字文法規則や点字の形を参考に、正解候補として挙げておく。

点字の文章は分かち書きで表現されているので、それを日本語文として解析することは、それほど困難では無い。文意を解釈しないのであれば、日本語文法のみで誤りを指摘できる。

点字図書が両面印刷されている場合、表裏 2 回のスキャンにより、全てのページから表点字画像と裏点字画像が得られる。これらは同一の点字列、同一の文章である。これが表裏冗長性である。この表裏 2 回のスキャンによる冗長性を利用すると、表裏一致しない点字は誤りになる。

4. 研究成果

(1) スキャナの選択

古い点字本から劣化した点字をうまく読み取るためにどのタイプのスキャナーが適切であるか

についての比較実験を行った。候補は、GT-S 650 と Plustek OpticBook 4800 の 2 台のフラットベッドスキャナーと、スタンドスキャナーの ScanSnap SV600 である。各スキャナーで、3 種類の点字用紙、新刊、古本、古書をスキャンした。認識率の向上を目指し、読み取りに適したスキャナーオプションも採用した。次に、点字用紙のドットを認識して識別するために、画像処理機能としての OpenCV の Haar 分類器と、Google の TensorFlow による深層学習の 2 つの方法を使用した。

結果から、点字シートの読み取りにはフラットベッドスキャナーを勧める。点字の劣化が進む場合は、読み取り後の画像が灰色になるようにスキャンパラメーターを設定することを勧める。私たちがテストした古い点字本には汚れがたくさんある。しわ紙が劣化し、点字が壊れていた。しかし、OpticBook は紙の点と点字を区別することができ、点が途切れた場所を認識することができた。この段階では、OpticBook は点字のスキャンに適している。ただし、OpticBook は上からスキャンするフラットベッドスキャナーである。今回使用した古い点字よりも劣化が進んだ点字シートを読んだことはない。また、貴重な点字図書を捨てることはできない。その場合、非接触型スキャナーを使用する必要がある。DNN を使用すると、1 点も落とさずにスキャナーで点字を正確に読み取ることができる場合があった。

実験結果から、総じてフラットベッドスキャナーが読み取りに適していることを示している。

(2) ドットの検出と分類

この研究では、劣化した古い点字本を非破壊でスキャンした後、スキャンした画像から点字を表と裏で区別せずに検出した。これまでの研究で、正常な形と逆の形の点字画像を約 15,000 個取得していたので、これらを用いて、画像処理技術を用いた機械学習により、点字本の点を検出し、分類した。

円検出のハフ変換アルゴリズムと OpenCV のカスケード検出器を使用することにより、点字本のスキャン画像のドットを検出した。次に、ディープラーニングによる正逆ドット分類を試みた。我々は DIGITS 4 で Caffe 0.15.13 を採用した。分類のトレーニングでは、通常各ドットの参照として 10,000 枚の画像を選択し、ドットと背景を反転させ、AlexNet で分類した。トレーニングは 30 エポック以内に終了した。99.8% から 100% の範囲の正しい予測であった。

(3) セルの検出と分類

古い劣化した点字本を非破壊でスキャンした後、OpenCV が提供する画像処理技術を使用して、スキャンした画像から点字本のドットを検出した。点字の配置について日本工業規格を参考にしながら、ドットの分布の自己相関関数を計算することにより、ドットの平均間隔とセルの平均間隔を決定した。セルの配置は、ドットの密度を使用して決定される。ドット検出の過程で、いくつかのドットを見落とししたり、誤認したりする可能性がある。このようなエラーを回避するために、検出されたセルをディープラーニングでチェックして修正した。ディープラーニングでは、約 15,000 の点字セルを準備し、そのセルで畳み込みニューラルネットワーク (Google Net) をトレーニングした。北米点字コンピュータコードが、結果のセル画像から生成された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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 Hiroyuki Kawabe, Yuko Shimomura, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto	4. 巻 2
2. 論文標題 Application of Deep learning to Classification of Braille Dot for Restoration of Old Braille Books	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of the 12th International Conference on Management Science and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 913-926
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 Yuko Shimomura, Hiroyuki Kawabe, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto	4. 巻 2
2. 論文標題 The translation system from Japanese into Braille by using MeCab	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of the 12th International Conference on Management Science and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 1125-1134
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 Hiroyuki Kawabe, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto, Yuko Shimomura	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection and classification of cells in old Braille Book by image processing technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems, APIEMS2018	6. 最初と最後の頁 -
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 Yuko Shimomura, Hiroyuki Kawabe, Shuichi Seto, Hidetaka Nambo	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a system that beginner volunteers can translate Japanese into Braille	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems, APIEMS2018	6. 最初と最後の頁 -
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 Hiroyuki Kawabe, Yuko Shimomura, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental Study on Scanning of Degraded Braille Books for Recognition of Dots by Machine Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of the 13th International Conference on Management Science and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 -
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 Yuko Shimomura, Hiroyuki Kawabe, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto	4. 巻 -
2. 論文標題 Braille translation system using neural machine translation technology I - Code conversion -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of the 13th International Conference on Management Science and Engineering Management	6. 最初と最後の頁 -
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 Shimomura, Y., Kawabe, H., Nambo, H., Seto, S.	4. 巻 1
2. 論文標題 Construction of Restoration System for Old Books Written in Braille	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of the Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management, 2018	6. 最初と最後の頁 469-477
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 Shimomura, Y., Kawabe, H., Seto, S., Nambo, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 Braille translation system in Japan -Past and Now-	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of the 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems, 2018	6. 最初と最後の頁 -
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 Kawabe, H., Nambo, H., Seto, S., Shimomura Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Detection and classification of dots in Braille Book by image processing technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceeding of the 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems, 2018	6. 最初と最後の頁 -
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 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Hiroyuki Kawabe, Yuko Shimomura, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto
2. 発表標題 Application of Deep learning to Classification of Braille Dot for Restoration of Old Braille Books
3. 学会等名 The 12th International Conference on Management Science and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Kawabe, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto, Yuko Shimomura
2. 発表標題 The translation system from Japanese into Braille by using MeCab
3. 学会等名 The 12th International Conference on Management Science and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroyuki Kawabe, Yuko Shimomura, Hidetaka Nambo, Shuichi Seto
2. 発表標題 Experimental Study on Scanning of Degraded Braille Books for Recognition of Dots by Machine Learning
3. 学会等名 The 13th International Conference on Management Science and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimomura, Y., Kawabe, H., Nambo, H., Seto, S.
2. 発表標題 Construction of Restoration System for Old Books Written in Braille
3. 学会等名 The Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management Conference, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kawabe, H., Nambo, H., Seto, S., Shimomura Y.
2. 発表標題 Detection and classification of dots in Braille Book by image processing technique
3. 学会等名 The 18th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018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