

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02796

研究課題名(和文) 視覚障害者のための触図に関する総合的な学習支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of an inclusive learning system with respect to tactile graphics for aimed to assist the visually impaired

研究代表者

高木 昇 (Takagi, Noboru)

富山県立大学・工学部・教授

研究者番号：50236197

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：課題別に研究成果の概要を述べる。

(1) 音声ガイド付触図作成システムの開発：スマートフォンを用いた音声ガイド付触図作成システムを試作し、そのユーザビリティ評価を実施、音声ガイドの有効性を確認した。(2) 視覚障害者のための触図作成システムの開発：DV2を用いた作図支援システムの開発、及びTeXを用いたインタラクティブな作図支援システムを試作しその有効性を評価した。その結果、全盲のユーザに特化した作図言語の開発の検討を行った。(3) 晴眼者のための触図作成システムの実用化：コンピュータに不慣れなユーザのために、マルチタップジェスチャーによる自然な描画のインタフェースを有する作図システムを開発した。

研究成果の概要(英文)：There are the three research issues in this study and the result of each issue is described below.

(1) Development of tactile graphics production system with audio guidance: A tactile graphics production system has been developed, the system was implemented in smartphones. Then, the experiment on usability evaluation was conducted and the effectiveness of the system was verified. (2) Development of tactile graphics production system for aimed to assist blind users: A tactile graphics production system has been developed and we have then expand the system by adding a function of assisting users interactive drawing using TeX and its effectiveness was evaluated. (3) Practical application of tactile graphics production system for sighted users: For users unfamiliar with computers, we have developed a drawing system with a natural drawing interface based on multi-tap gestures.

研究分野：福祉情報工学

キーワード：教育工学 学習支援 障害者支援 触図 コンピュータ支援システム

1. 研究開始当初の背景

視覚障害者は、一般に学習が困難な立場にある。特に、理数系科目については重度に学習困難な立場にあると言える。なぜならば、

- 晴眼者向け理数系科目書籍の極一部が、点字書籍として翻訳されているに過ぎない、
- 理数系科目の学習では図やグラフの使用は不可欠であるが、使用できる触図は限られている、

などの理由が挙げられる。これらの理由を背景に、筆者らは盲学校教員などコンピュータ操作に不慣れな晴眼のユーザでも気軽に使える触図作成システムの開発を始め、視覚障害者の学習を支援する情報処理システムの開発に関する研究に従事してきた。これまでの研究開発の経験から、視覚障害者が理数系科目を学習する上で、次に挙げる更なる困難があることが判明した。

- 触図の触察は両手 10 指の指腹を使用する。10 指の触察のみで触図を正しく理解することは、経験を積んだ障害者でもかなり難しい作業である。
- 例えば、理工系大学院で学んでいる視覚障害者は、プレゼンテーションなどで使用する図を自ら作成することを望んでいる。しかし、現状は晴眼者に作図を依頼する以外に術はない。

以上、これまでの筆者の経験から、触図に関する総合的な学習支援を目的として、これまで開発した技術を基盤に、次の 3 つの項目を本研究の具体的な目標として定めるに至った。

- (1) 音声情報を含む触図作成システム (以後、音声ガイド付触図作成システムと呼ぶ) の開発
- (2) 視覚障害者のための触図作成システムの開発
- (3) 晴眼者のための触図作成システムの実用化

2. 研究の目的

紙などの台紙に凹凸を付けて触って理解できる図を触図という。視覚障害者が理数系科目を学習する際、触図の利用は欠かせない。そこで本研究では、触図に関する総合的な学習支援を目的として、次の 3 つの項目を具体的な研究目標として定める：(1) 音声情報を含む触図作成システムの開発、(2) 視覚障害者のための触図作成システムの開発、(3) 晴眼者のための触図作成システムの実用化。筆者 (研究代表者) は、これまで晴眼者のための触図作成システムを研究開発してきた。課題(3)はその実用化である。また、今までの経験から、触図のアクセシビリティは必ずしも良好ではなく、このため理解容易な触図が求められていることが分かってきた。これら 2 つの課題は、筆者が開発した図形認識技術を活用して解決できると考えている。

3. 研究の方法

本研究は、(1) 音声ガイド付触図作成システムの開発、(2) 視覚障害者のための触図作成システム開発、(3) 晴眼者のための触図作成システムの実用化の 3 課題から成る。

(1) の音声ガイド付触図システムは既に商品化されたシステムも存在する。しかし、筆者の周囲ではこのようなシステムを使用している視覚障害者や盲学校は存在しない。そこで、既存のシステムの問題点を明らかにし、我々の開発する音声ガイド付触図システムの要件をまとめる。次に、音声ガイドをオン・オフするためのインタフェースを検討する。この検討結果を踏まえ、システムを試作し、その有効性を評価実験により確認する。

次に、(2) では先行研究を参考に、視覚障害者が手書き入力で作図するシステムを試作、およびキーボード入力で作図するシステムを試作し、そのユーザビリティを評価する。最後に、(3) は基本的に筆者らのこれまでの研究成果の延長線上に位置し、コンピュータ操作に不慣れなユーザのための実用的なシステムを開発する。

4. 研究成果

本研究で設定した 3 つの課題ごとに研究成果を述べる。

音声ガイド付触図システムの開発

音声ガイド付触図システムは既にいくは販売され [1, 2]、また研究開発されている [3]。しかし、これらの音声ガイド付触図システムが我々周辺の視覚障害者や盲学校で使用されていることはない。この理由を詳細に検討した結果、我々は以下の条件を音声ガイド付触図システムが満たすべき要件として定め、これらの条件を満たす音声ガイド付触図システムの開発を検討した。

- (1) 価格：システムの価格は廉価であるか無料であること。
- (2) デバイス：特殊なデバイスは使用しないこと。
- (3) 触図：既存の触図を使用できること。
- (4) 両手：両手で触察できること。両手による触察は必須である。
- (5) 可搬性：可搬性が高ければ、学習者の望む環境での利用が良いとなる。

次に、音声ガイドを引き出すためのオン・オフ機能について検討した。Kinect を用いて RGB-D 画像の画像処理による 4 つインタフェースを試作し、晴眼の被験者によるユーザビリティ評価実験を実施した。

検討した 4 つのインタフェース (ジェスチャー・コマンド) は次の通りである。

方法 1：右手人差し指が音声ガイド領域に入るとビーブ音を呈示し、その後左手人差し指をタップすると音声ガイドが呈示される。

方法 2：右手人差し指が音声ガイド領域に入

るとビープ音を呈示し、その後右手人差し指をタップすると音声ガイドが呈示される。

方法 3：右手人差し指が音声ガイド領域に入るとビープ音を提示し、その後音声認識を用いて音声ガイドを呈示する。

方法 4：右手人差し指が音声ガイド領域に入ると直ちに音声ガイドを呈示する。

上記 4 つの方法のユーザビリティの評価実験を実施した。この評価実験には 4 名の健常な大学生が被験者として参加した。平均年齢は 22 歳ですべて男性であった。被験者に 4 つの方法で触図を触察してもらい、触察終了後に理解のし易さなどに関する質問を実施した。これら被験者の主観評価結果の一部を図 1 と図 2 に示す。また、実験風景を図 3 に示す。

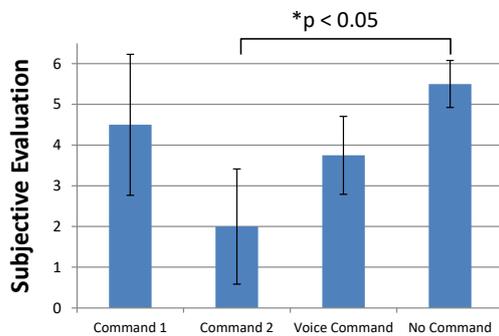


図 1 実験結果その 1 (音声ガイドは聴きやすいか)

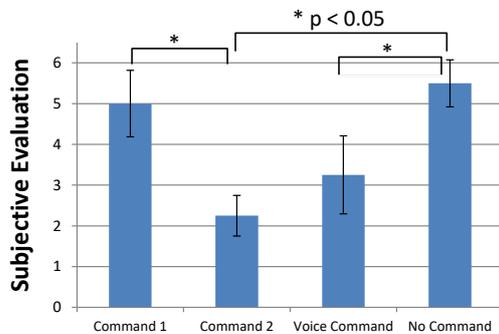


図 2 実験結果その 2 (触図を正確に理解できたか)



図 3 実験風景

上記の評価結果より、方法 4 が主観評価で優れていた。

視覚障害者のスマートフォン利用率が報告されている[4]。これによると、50%以上の視覚障害者がスマートフォンを使用していること、更に、若者の利用率が高く、かつ年々使用者が増加している。このスマートフォンの利用状況、及び上記の評価実験結果により、我々はスマートフォンをシステムのデバイスとして定め、RGB 画像の画像処理に基づくシステムを試作した。試作したシステムの概要を以下に述べる。システムのフローチャートを図 4 に示す。

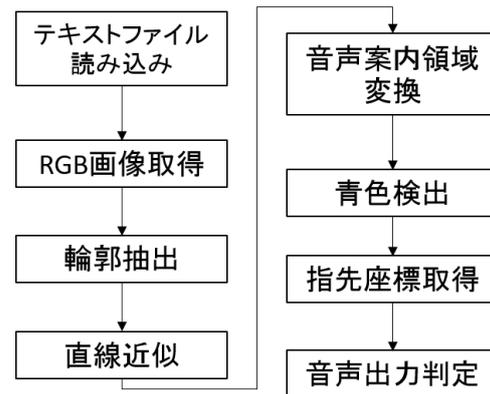


図 4 システムのフローチャート

試作したシステムの評価実験を実施した。この評価実験には、被験者は全盲の大学生 7 名が参加した。被験者の平均年齢は 20 歳であり、全員が先天盲であった。また、点字の訓練は十分に積んであり、かつ触図触察経験もあった。評価実験では、被験者に触図を自由に触察してもらった。その後、触図の内容に関する質問を実施した。質問の正解率と触図触察完了時間などを評価指標とし、システムの有効性を検証した。実験結果の一部を図 5 と図 6 に示す。この実験では、触図触察に 3 つの方法が呈示された：従来方法 (触図と点字の説明文)、音声ガイド付触図、音声ガイド付触図及び点字説明文。

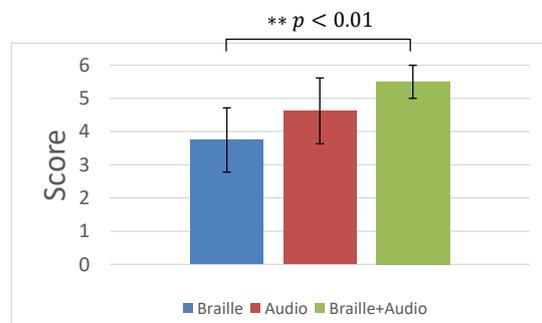


図 5 実験結果その 3 (触図は理解し易いか)

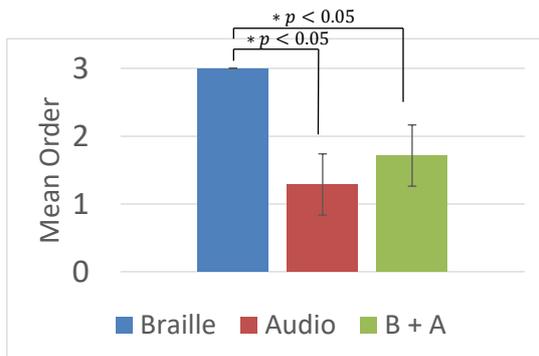


図6 実験結果その4 (触察完了時間)

以上の結果は、音声ガイド付触図は触図理解に有効であることを示唆する。

視覚障害者のための触図作成システム開発

全盲の視覚障害者をユーザとした触図作成システムに関する先行研究はほとんど存在しない。そこで、全盲の研究協力者等とシステムが満たすべき要件を慎重に検討した。その結果、最初の試作システムとして、WYSIWYG(What You See Is What You Get)と同様に、What You Touch Is What You Getなシステム開発を目指すことに定め、次の4つの条件を設定した。

- (1) 触図を触察しながら編集可能であること。
- (2) ディスプレイとマウスを使用することなく触図が編集可能であること。
- (3) 次の編集機能を有すること：基本図形の挿入、削除、拡大縮小、移動、回転。
- (4) 図はビットマップ画像及びラスター画像で保存でき、再利用可能なこと。

上記4つの条件を満たすシステムを試作した。システム構成は次の通りである。試作したシステムの外観図を図7に示す。

- (1) 点図ディスプレイ：ケーゲーエス社製DV2を選択。作図した図形をリアルタイムにDV2に呈示し触察できる。
- (2) Webカメラ：画像処理により指先検出を行う。基本図形入力の入力インターフェースに用いる。
- (3) タブレット：DV2の位置検出に用いる。
- (4) スライドテーブル：DV2を上下左右に可動するために用いる。
- (5) キーボード：基本図形の入力インターフェース等に用いる。
- (6) パソコン：DV2やタブレットの制御に用いる。
- (7) ソフトウェア：デバイス制御用のプログラム



図7 システムの外観図

全盲の視覚障害者にとって、図形編集に適したユーザインターフェースを検討した。まず、次の基本図形の入力インターフェースを2つ検討した。

指先入力：利き手人差し指で入力したい基本図形をDV2上で描画する。指先の軌跡をDV2の上部に設置したWebカメラで抽出し、DPマッチングにより整形した基本図形をDV2に呈示する。

キー入力：キーボードの各キーに予め基本図形を割り当て、キーを押すことで対応する基本図形がDV2上に呈示される。

また、DV2の触図呈示面は、32ピン×48ピン(約7.5cm×約11.5cm)と非常に狭い。このため、PCのメモリ上にDV2の4倍の描画領域を確保し、この仮想領域で図形の編集を行う。DV2の仮想領域内の移動のインターフェースを2つ検討した。

直接移動：仮想領域は固定し、DV2を直接移動させる方法

間接移動：DV2は固定し、DV2に設置されているボタンの操作により仮想領域を移動させる方法。

各インターフェースの有効性を検証するための評価実験を実施した。この実験には5名の被験者が参加した。被験者はすべて全盲の視覚障害者であり、平均年齢32歳の男性であった。また、PCの経験は豊富で、1名を除いては触図とDV2の経験も豊富であった。この評価実験では、各被験者は単純なフローチャートを作成してもらい、その後操作性などに関する質問を実施した。実験結果の一部を図8と図9に示す。

Q3: Understanding

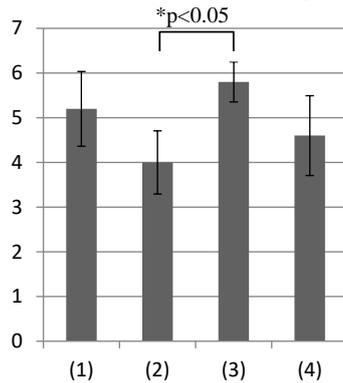


図 8 実験結果その 5

Sum from Q1 to Q5

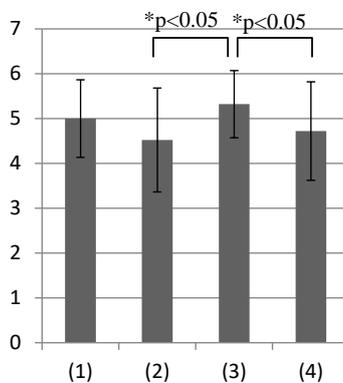


図 9 実験結果その 6

この評価実験では、各インタフェースに明確な差は示唆されなかった。全盲のユーザにやさしいインタフェースの検討が今後の課題である。

晴眼者のための触図作成システムの実用化

この研究課題では、PC 操作に不慣れた晴眼者でも利用可能な触図作成システムを開発した。この要件を考慮し、ここではタブレット端末で利用可能なシステムを検討した。作成したシステムは UI のシンプルさを重視し、タブレット端末の特徴であるタッチパネルとジェスチャー機能を図形編集に積極的に使用した。

システムの開発環境は次の通りである。

使用デバイス: iPad 12.9-inch, Early 2017
 OS: Mac OS Sierra
 CPU: 2.7GGz Intel core i5
 開発プラットフォーム: Xcode 9.2
 プログラミング言語: Swift 4.9

システムの使用を次に定めた。

- (1) ジェスチャーを用いた図形の編集
- (2) タッチパネル上で自由曲線が描画可
- (3) EDEL ファイルと SVG ファイルに出力可

- (4) 手書き図形の自動補正可
- (5) シンプルな UI

晴眼の被験者 5 名に、開発したシステム、EDEL [5]、及び PPT を用いた作図を実施し観評価を行った。評価結果を図 10 に示す。

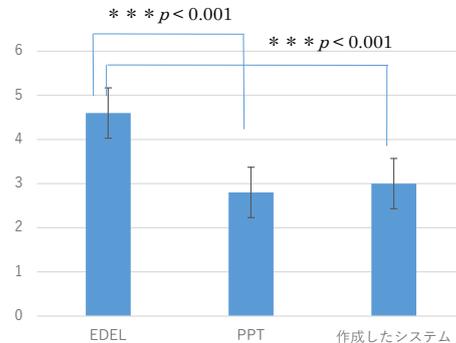


図 10 実験結果その 7

(参考文献等)

- [1] IVE0, <https://viewplus.com/>
- [2] Talking Tactile Pen, <http://touchgraphics.com/>
- [3] C. M. Baker et al., “Tactile graphics with a voice: using QR codes to access text in tactile graphics”, Proceedings of International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, pp. 75-82, 2014.
- [4] 渡辺哲也他, “視覚障害者のスマートフォン・タブレット利用状況調査 2017”, 信学技報, Vol. 117, No. 251, pp. 63-68, 2017.
- [5] EDEL, <http://www.ntut-braille-net.org/EDEL-Web/index.html>

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 2 件)

- ① N. Takagi, S. Morii, and T. Motoyoshi, “Prototype Development of Image Editing Systems Available for Visually Impaired People”, Journal of Advanced Intelligence and Intelligent Systems, Vol. 20, pp. 961-967, 2016.
- ② J. Chen and N. Takagi, “Mathematical Morphology Based Image Segmentation and Character Extraction Using Fuzzy Inference”, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 19, pp. 544-554, 2015.

[学会発表] (計 11 件)

① S. Nakamura, H. Takano, N. Takagi, and Kiyomi Nakamura, “Behavior Recognition of Student during a Lecture by Image Processing”, Proceedings of the 8th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2017 (USB Proceedings)

② Y. Hashimoto and N. Takagi, “Development of Audio Tactile Graphics System Using iPhone”, Proceedings of The 18th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2017 (USB Proceedings)

③ Y. Masaki and N. Takagi, “Prototype Development of Interactive Tactile Graphics Editor with LaTeX and Participant’s Experience Using the Editor”, Proceedings of Joint 6th International Conference on Informatics, Electronics and Vision and 7th International Symposium in Computational Medical and Health Care Technology, 2017 (USB Proceedings, Available on IEEE Xplore)

④ Y. Masaki, N. Takagi, and T. Motoyoshi, “Prototype Development of Graphics Editor Available for Blind People and the Experiment of a Blind Person”, Proceedings of Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, 2017 (USB Proceedings, Available on IEEE Xplore)

⑤ J. Chen and N. Takagi, “Gray-Scale Morphology Based Image Segmentation and Character Extraction Using SVM”, Proceedings of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp. 177-182, 2016.

⑥ N. Takagi, S. Morii, and M. Li, “Consideration of the experience of blind people using four user interfaces for editing of tactile graphics”, Proceedings of World Automation Congress, 2016 (USB Proceedings, Available on IEEE Xplore)

⑦ N. Takagi, Y. Masaki, T. Motoyoshi, and S. Morii, “Consideration of the Experience of a Blind User Using a Tactile Graphics Editor Available for Blind People”, Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man,

and Cybernetics, 2016. (USB Proceedings, Available on IEEE Xplore Database)

⑧ N. Takagi, S. Morii, and T. Motoyoshi, “Consideration of the Experiences of Blind People Using Four User Interfaces for Independent Editing of Tactile Graphics”, Proceedings of the 3rd International Workshop on Digitization and E-Inclusion in Mathematics and Science, pp. 61-67, 2016.

⑨ J. Chen and N. Takagi, “An Extraction Method of Character Strings from Natural Scene Images”, Proceedings of the 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2015.

⑩ N. Takagi, S. Morii, and T. Motoyoshi, “A Study of User Interface of Tactile Graphics Production Systems Available for Visually Impaired People”, Proceedings of the 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2015.

⑪ N. Takagi, S. Morii and T. Motoyoshi, “A Study of Input and Scrolling Methods for Tactile Graphics Editors Available for Visually Impaired People”, Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 2333-2337, 2015. (Available on IEEE Xplore Database)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 昇 (TAKAGI, Noboru)
富山県立大学・工学部・教授
研究者番号 : 50236197

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

本吉 達郎 (MOTOYOSHI, Tatsuo)
守井 慎吾 (MORII, Shingo)
正木 勇治 (MASAKI, Yuji)
橋本 勇太 (HASHIMOTO, Yuta)