

機械学習による手指姿勢認識を用いた動作入力による 独習用参考資料提示 AR システム

An AR-based Display System of Reference Information for Self-study with Hand-Motion Input based on Posture Recognition by Machine Learning

情報工学専攻 安藤 陸人

Information and System Engineering, Rikuto ANDO

ため、学習者は何回も参考書等を参照しながら学んでいく。しかし、参考書の該当ページを探し開くために要する時間は合計で相当な長さとなるため、学習者の負担となり得る。この課題を解決するために、本研究ではシステムを2段階で開発した。どちらも、学習中の負担を小さくするために、装着するデバイスを使用せず、紙面に直接記入して学習できる、現実映像を重ね表示するAR技術を用いる。第1のシステムでは、問題を解く際に必要な情報を素早く表示することで検索時間を短縮し、短時間で学習できることを目標とし、紙面記載の問題を解くために必要な公式を机上にAR表示するシステムを提案する。目標の達成度の測定は、第1のシステムの利用者に数学のテストとシステムの使用感に関するアンケートを実施し、ユーザのシステム使用時間やアンケートから肯定的な結果が得られた場合に目標を達成したとみなす。

1 序論

文部科学省によると、次代の科学技術を担う研究者や技術者等の人材を育成するためには、理科や数学が好きな子供の裾野を広げることが重要である [1]。しかし、日本の生徒の理科や数学が楽しい・得意との回答率は国際平均値よりも低い [2]。中央教育審議会でも理数科目への意欲低下は現在の教育の課題であるとし、理数の力の育成を目標に掲げている [3]。現在の教育現場や自宅学習で使用されている教材はデジタル教材も増加しているが、依然として教科書や参考書等の紙媒体が普段の学習において最も使用されている [4]。現状の課題として、紙媒体の教材はページを探すために時間がかかる、ページ数の多い教材は閉じないように片手で抑えていないと読めないことがある、あるいは、デジタル教材は入力方式がキーボードや選択式であり紙面に書いて解く一般的な試験とは大きく異なる、等の点が挙げられる。

一方で、近年はカメラや液晶ディスプレイなどの映像入出力デバイスの小型化が進んだため、スマートフォンやタブレット端末などの高い可搬性を有する機器で拡張現実感 (Augmented Reality:AR) 技術を利用できる。機器の普及に伴いARが広く知られるようになり、エンターテインメント分野だけでなく、現在では教育・学習支援にも活用されている。ARによる学習支援の特徴として、学習者はシステムによって提供される強化された現実世界でのインタラクションを通して学習体験を増幅できる。さらには、現実世界に対して情報を仮想的に付加することにより、学習者の学習対象への理解を深化させる [5]。さらに、低コストでの学習体験の実現や、操作の直感性による容易さから学習への動機づけや理解に影響を与える点などが指摘されており [5]、これらの特徴を活かすさまざまな取り組みがなされている。

本研究では数学に焦点を当てる。数学学習において問題の解法や公式を1回で理解し覚えることは困難である

2 第1のシステム

2.1 システム概要

本研究では、問題を解いている際に手元に必要な公式を表示できる数学の学習支援システムを提案する。このシステムでは、問題を解く動作を妨げないこと、机上に情報を重ね表示できることなどを考慮して、手元に投影できる短焦点プロジェクタを使用する。システムではカメラの映像から手の形を認識する。問題を指している場合、その問題に対応した情報を、机上の邪魔にならない位置に投影する。手を検出し、輪郭を描画している様子を図1に示す。指先を認識し、座標を表示している様子を図2に示す。

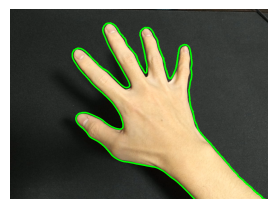


図 1: 手の検出

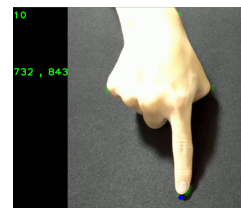


図 2: 座標を表示

第1のシステムの特徴を以下に述べる。

- 問題を指してから約 0.3 秒で表示できる。
- コントローラなどを使用しないため、問題を解く動作を妨げない。
- ディスプレイを使用しないため、普段の学習と同じように紙面に記入できる。

2.2 実装

システムを使用している様子を図 3 に示す。問題を解く動作を妨げない位置に情報が表示されていることがわかる。図 3 では表示しているものに色がついているように見えるが、肉眼では白色の背景に黒色の文字で見える。

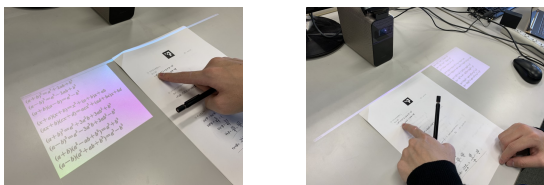


図 3: 使用風景

3 第 1 のシステムの実験・評価・結論

ユーザ実験では、2 種類の数学 1A2B の問題を参考書を用いた従来手法と第 1 のシステムを使用した方法で解いた。実験後、アンケートを行った。被験者は理系大学生・大学院生 6 名である。

3.1 実験結果とその考察

ユーザ実験において公式を調べるために費やした時間と解答時間をまとめる。結果を表 1、表 2 に示す。実験の結果から、本システムは従来手法に比べて公式検索時間が平均 83%短縮された。これを主因として、解答時間も平均 18%短縮された。

表 1: 公式検索時間

検索方法	総検索回数	平均検索時間	標準偏差
従来手法	44	43.86	25.29
システム	52	6.26	4.19

表 2: システム別解答時間

検索方法	平均解答時間	平均検索時間	割合
従来手法	1420.00	321.67	22.65%
システム	1168.83	54.23	4.64%

3.2 アンケート結果とその考察

表 1 やアンケート結果などから、従来手法における必要な情報を探す手間やその表示の維持についての課題は、解決されていることがわかった。しかし、問題の解説などの内容についての課題は、アンケートで「システム単体で学習する場合には関連項目の表示が必要」と回答し

た人が多いことから、システムでも表示内容が完璧ではなく、解決していない。

システムの操作・表示についての質問では、被験者の半数は全く問題ないと回答したが、残りは軽微な問題点が残されているとした。中でも、「誤作動で表示が変わる・消える」という回答が 2 件あり、計測データからシステム使用中 8 回誤作動があったことが判明した。誤作動の原因は、手の一部の認識不良、影やペン先などのものを手と誤認識したことなどであった。また、誤動作だけでなく、手を認識できない不具合もあった。

最後の質問において、全ての被験者が本システムの有効性について肯定的に回答した。中でも、「従来手法を補助する手段として有効」との回答が多かった。この点については、表示内容の不足を参考書を用いて補いたいという被験者が多かったと考えられる。

3.3 第 1 のシステムの結論

第 1 のシステムでは目的を達成するために、AR を用いて机上に素早く数学の公式等の情報を表示できるシステムを提案した。

アンケートや解答時間の結果から、使用感に大きな問題が無いことを確認した。また、解答時間のデータから、公式検索時間が平均 83%短縮され、解答時間も平均 18%短縮されていることから目標を達成したといえる。一方で、手の形の認識精度向上、表示方法や内容の改善、他の問題への対応という課題が残された。

4 第 2 のシステム

第 2 のシステムでは、第 3.3 節で述べた課題を解決するために、手指を高精度に認識し、問題登録機能を有する、表示方法を改善したシステムの構築を目標とする。目標の達成度の測定は、第 2 のシステムを使用したユーザに数学のテストとシステムの使用感に関するアンケートを実施し、ユーザのシステム使用時間やアンケートから肯定的な結果が得られた場合に目標を達成したとみなす。

4.1 システム概要

第 2 のシステムは 4 つのシーンで構成する。マーカ作成シーンは、問題用紙の識別や位置情報を取得するために使用するマーカを作成する。登録シーンは、Web カメラの映像とマウスのクリック操作によって、問題に対して公式や追加資料の登録を行う。公式を複数選択した場

合は、使用シーンにおいて表示できるように、選択した公式に対応した複数の画像を1枚の画像に合成する。使用シーンは、Webカメラの映像から手と問題を認識し、操作を行う。このとき、追加のデバイスを必要としない点と比較的処理が軽量である点から、MediaPipe Handsを用いて機械学習による高精度なハンドトラッキングを行う。手を認識している様子を図4、図5に示す。問題に対して指をさしていると判定したら、その問題に対応した公式画像を表示する。続けてもう一度同じ問題を指さした場合、その問題の追加資料を表示する。また、マーカーから問題の位置を認識し、画像を問題に重ならない位置に表示する。記録閲覧シーンでは使用シーンの記録をもとに、ユーザが各公式を検索した回数を表示する。第1のシステムにおいて有効であった、プロジェクタを用いたAR表現は、第2のシステムにおいても用いる。

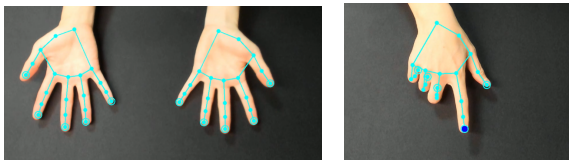


図 4: 手の認識



図 5: 指先の検出

第2のシステムは、第2.1節で述べた第1のシステムの長所を引き継いだ上で、以下の特徴がある。

- 操作を高精度に認識できる。
- 公式だけでなく、例題なども表示できる。
- ユーザがシステムに問題を登録できる

4.2 実装

図6から図9にシステム実行画面と使用風景を示す。

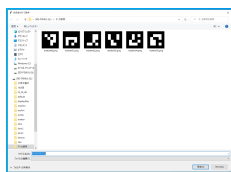


図 6: マーカー作成シーン

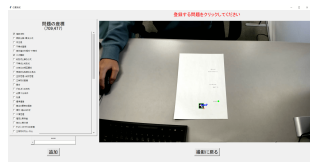


図 7: 登録シーン

5 第2のシステムの実験・評価・結論

ユーザ実験では、2種類の数学1A2Bの問題をインターネット検索を用いた従来手法と第2のシステムを使用した方法で解いた。また、システムの操作認識精度を詳細に計測するために、使用シーンの操作を50回行った。実験後、その他のシーンを体験し、アンケートを行った。被験者は理系大学生・大学院生6名である。

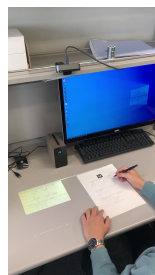


図 8: 使用シーン



図 9: 記録閲覧シーン

5.1 実験結果とその考察

ユーザ実験において公式を調べるために費やした時間と解答時間をまとめる。結果を表3、表4に示す。使用シーンの操作を計300回測定した結果を表5と図10に示す。実験の結果から、第2のシステムは公式検索時間が従来手法と比べて約95%、第1のシステムと比べて約61%短縮している。これは、図10において、ほとんどの操作が短時間でできていることからわかる。それに伴い、解答時間も従来手法と比べて平均27%、第1のシステムと比べて平均13%短縮された。

表 3: 公式検索時間

検索方法	総検索回数	平均検索時間	標準偏差
従来手法	52	49.94	24.34
システム	71	1.80	0.64

表 4: システム別解答時間

検索方法	平均解答時間	平均合計検索時間	割合
従来手法	1398.00	432.83	30.96%
システム	1015.83	21.25	2.10%

5.2 アンケート結果とその考察

システムの操作方法や使用感などに関するアンケートでは、全員が問題なくわかりやすいと回答したことから、操作は容易であり、システムがユーザに与える負担は小さいといえる。

手やマーカーの認識不良による誤作動は3回あった。第1のシステムはシステム使用中に誤作動が8回あり、操作認識精度が86.7%であったことと比較すると、第2のシステムの問題解答中の操作認識精度は96.0%であり、改善していることがわかる。これは、表5の結果からも確認できる。以上のように、手の認識精度も操作認識精度も向上したが、エラーは無くなっていない。今後も、より高精度に手を認識するシステムやデバイスの選定、及び、手の形を判定するアルゴリズムの改良が必要である。

表 5: 50 回測定のプロットデータ

合計回数	平均操作時間	エラー回数	操作精度
300	1.68	4	98.67%

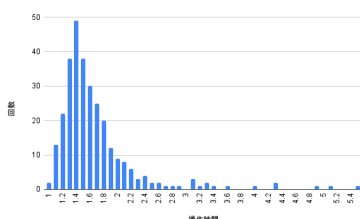


図 10: システムの操作時間

追加資料の表示機能に対して全員が肯定的に評価し、問題登録機能を用いることで「すべてではないが数学 1A2B の多くの問題に対応できる」、また、問題設定者が表示内容を工夫すれば「システム単体で十分な学習ができる」と回答した。一方で、表示内容に関するアンケートにおいて、表示内容が「多い」と「足りない」という両方の意見があった。このことから、表示内容の改善や問題登録機能は高い評価を得られたが、いまだ表示内容の量や質に課題が残されている。表示が問題解答の邪魔にならず、かつ、過不足ないものとなるように、教育学的観点も踏まえつつ、適切な量や質に調整する必要がある。また、今回の被験者は数学 1A2B を履修済みの学生であった。数学を学習中である高校生等に範囲を広げて実験を行い、表示内容によるシステムの学習効果についても確認する必要がある。

登録シーンに対するアンケートにおいて「問題に対応する公式をシステム側で自動で設定してほしい」という回答があった。これは、問題を 1 問ずつ手作業で登録することによる負担が大きいためと考えられる。公式を自動で選択するには、光学文字認識などで問題の文章を認識し、その文章を分析することで必要な公式を推測するという方法が考えられる。

従来手法と比較してシステムが学習において有効であるかという質問について、参考書との比較では 4 名が、インターネット検索との比較では 5 名が最も高い評価をした。第 1 のシステムにおいて行った同様の質問に対する回答と比較すると、有効性に対する評価が向上している。これは、操作性、追加資料の表示機能や問題登録機能に対して高い評価を得られたためだと考えられる。

5.3 第 2 のシステムの結論

第 2 のシステムでは、第 1 のシステムにおいて残された課題を解決するために、手指を高精度に認識し、問題登録機能を有する、表示方法を改善したシステムを構築を目標とした。実験結果から、手の認識による操作認識精度の向上を確認した。アンケート結果から、問題登録機能が有効であり、追加資料表示機能などの表示方法の改善が有効であることを確認した。解答時間のデータから、公式検索時間が大きく短縮され、第 2 のシステムが解答時間の短縮に効果があると示された。

以上より、第 2 のシステムは目標を達成したといえる。今後の課題として、手や操作認識精度の更なる向上、表示内容・量の改善、登録シーンにおける公式の自動選択機能が挙げられる。

謝辞

本研究を通じ、懇切丁寧な御指導、御鞭撻、及び多くの御支援を賜りました、中央大学理工学部情報工学科牧野光則教授に深く感謝致します。また、よき同僚として御協力いただいた同輩諸氏に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 文部科学省: “次代を担う人材の育成”, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu13/siryu/attach/1285423.htm (最終アクセス 2022 年 2 月 10 日)
- [2] 文部科学省: “国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS) の調査結果”, https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryokuchousa/sonota/detail/1344312.htm (最終アクセス 2022 年 2 月 10 日)
- [3] 中央教育審議会: “中教審第 197 号”, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm (最終アクセス 2022 年 2 月 10 日)
- [4] 中央教育研究所: “教師と児童・生徒のデジタル教科書に関する調査”, <http://www.chu-ken.jp/pdf/kanko88.pdf> (最終アクセス 2022 年 2 月 10 日)
- [5] 杉本雅則: “拡張現実感を用いた学習支援”, 人工知能学会誌, Vol.23, No.2, pp.237-242, 2008.