

AR技術を用いた技能習得支援システムの設計と実装

古川 詩帆^{1,a)} 内林 俊洋¹ 阿部 亨^{1,2,b)} 菅沼 拓夫^{1,2,c)}

概要：主に指、手、腕の微細動作を主とした技能に関して、教師と学習者の1対1の対面で、教師の実演動作を真似ることで学習者に専門技能を習得させる技能習得支援方法がある。この習得支援方法をITで支援する一手法として、Augmented Reality(AR)と光学透過型 Head Mounted Display を用いた手法が注目されている。事前取得した教師動作を、ARコンテンツとして表示する方法の研究があるが、この教師の動作は、事前取得した固定的かつ一般的な動作を再生するのみであり、学習者の個性や学習状況に合わせたきめ細かな指導は困難である。そこで本研究では、ARを用いた、学習者の個性や進度に合わせた微細動作の技能習得支援を行えるシステム設計を行う。具体的には、センサで取得した教師と学習者の動作情報をリアルタイムかつ高精度に相互のAR表示に反映させ、両者の指導・学習を効果的に支援する、新たな技能習得支援手法を提案する。本デモ・ポスター展示では、本手法のための基本的なシステムアーキテクチャと、その毛筆書写技能の習得支援システムへの適用例について紹介する。

1. はじめに

主に指、手、腕の微細動作を主とした技能の指導・習得に関して、指、手、腕の形、向き、角度、力の入れ方、道具の持ち方、動きの方向性が重要となる。これらは微妙なニュアンスを伝達することが必要であり、指示の仕方を学習者ごとに変えて対応することが重要である。これを実現するためには教師対学習者のような1対1の対面型指導が効果的であると考えられる。

指、手、腕の微細動作を主とした技能の1対1の対面型指導において、基本的には、教師の動作を学習者に見せ、それを真似することで専門技能を習得させる指導方法があり、各学習者に個別化された指導方法により、インタラクティブに指導することで効果的な指導・学習が可能となる。例えば、教師の良い動作例を示しながら各学習者に適した言葉で微妙なニュアンスを伝える、学習者の動作例を見ながら適切なタイミングで校正法を指示、学習者の動作を真似た悪い動作例を示しながら学習者の欠点を理解させる、学習者の欠点の校正のためにオーバーアクションで動作例を見せるなどが挙げられる。

この「指、手、腕の微細動作を主とした技能の1対1の対面型指導」をITで支援する試みは多数存在する。例え

ば、著名な演者や教師の動作をビデオに収め、それを見せつつ教える方法や、著名な演者や教師の動作をセンサでキャプチャし、Virtual Realityで見せる方法が挙げられる。近年では、デバイスの発達により、センサと Head-Mounted Display (HMD), Augmented Reality (AR) を組み合わせた支援の試みがなされている。

「指、手、腕の微細動作を主とした技能の1対1の対面型指導」をセンサと HMD, AR で支援する既存研究では、教師の動作をセンサ等を用いて事前にキャプチャし、AR コンテンツ化して、それを用いて教師が対面で指導する方法がある。ここで、AR コンテンツとは事前取得した動作を繰り返し AR 表示する方法のことをいう。これを用いることで、教師と学習者の視界が一致するため、教師の動作を学習者が理解しやすいことや理想的な動作を把握しやすい。しかし、これらの既存研究の課題として、学習者ごとに適切なアドバイスを与えられないことと、AR 固有の違和感が挙げられる。AR コンテンツでは、学習者の学習段階や癖などに合わせて個別化されたコンテンツを提供できないこと、教師、学習者の動作に合わせて細かなニュアンスや動作タイミングの指示が困難であることが挙げられる。また、違和感の原因として、3D モデルとして体の一部や物を提示しているため、実際の手と比べて少なからず抵抗感を生じてしまうことが考えられる。

そこで本研究では、指、手、腕の微細動作を主とした技能の教師対学習者の1対1の対面型指導における技能習得効果の向上を目的とした、リアルタイム AR を用いた技能習得支援システムを提案する。本システムは以下の2つの

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 東北大学サイバーサイエンスセンター
CyberScience Center, Tohoku University

a) furukawa_s@ci.cc.tohoku.ac.jp

b) beto@tohoku.ac.jp

c) suganuma@tohoku.ac.jp

機能を特徴とする。

(F1)空間的・時間的に正確に再現する機能

(F2)状況に応じた AR/カメラ映像の提示方法の選択機能

(F1)は、あたかも自分と同じ場所で、相手が動作を行っているかのように重ね合わせて再現すること、(F2)は HMD の相対位置がほぼ等しい場合には、二次元的な動作を正確に把握可能なカメラ映像を、その他の場合は、三次元的な動作を把握可能な AR オブジェクトを提示することである。このシステムの効果として、学習者ごとの学習段階に合わせた学習が可能で、1 対 1 の対面の場合で行えるアドバイスが可能、AR コンテンツではコンテンツを用いた場合の視界の一致による理解のしやすさが挙げられる。

本デモ展示では、本手法のための基本的なシステムアーキテクチャと、その毛筆書写技能の習得支援システムへの適用について、現在実装中のプロトタイプシステムの動作例を示しながら紹介する。

2. 関連研究

既存研究として、習字や書道を対象とし、教師の動作を AR コンテンツとして表示する方法の研究がある。藤原ら [2] は、AR マーカを用いて、事前取得した教師の動作を HMD を装着した学習者に提示するシステムを提案している。このシステムでは、学習者の正面と右側面、半紙の真下にそれぞれ直交するようにカメラを設置した、習字台と呼ばれる装置の上で習字を行う。筆には色マーカがつけられており、カメラで色マーカを認識することで三次元位置を算出する。この筆の三次元位置検出により筆運びをデータ化し、教師動作を事前に取得する。学習の際は、これらのカメラより学習者の筆運びのデータをリアルタイムで取得し、学習者が特定の動作を終えるまで教師の筆運びを繰り返し表示する。しかし、この教師動作は、事前取得した固定的なものを再生するのみであり、学習者の学習段階に合わせた指導や助言は困難である。

また、Soontornvorn ら [3] は、AR マーカを用いて、予め用意された静的な筆文字の手本だけでなく動的な筆文字の手本を短冊上に表示するシステムを提案している。このシステムでは、4 つの AR マーカを短冊に取り付け、HMD を装着した初心者が短冊に筆を用いて文字を書く練習を行うものである。静的な手本を利用して動的な手本を生成することが可能で、書いている最中に静的な手本に近づけるために動的な手本を生成して表示することができる。しかし、動的に生成した筆文字の手本では教師が直接指導を行うより学習効果が低いと考えられる。

ヘルスケアの分野においては、Chinthammit ら [4] らは患者とトレーナーが HMD を装着し、トレーナーの動きを患者に映像として表示しリハビリを行うシステムを提案している。このシステムはネットワークを介し、遠隔地でも

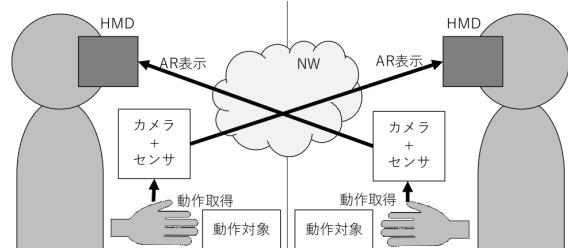


図 1: 提案システムの基本設計

トレーナーの動作をリアルタイムに表示し、患者にトレーナーと同じ動作をさせることでリハビリを可能としている。しかし、我々が対象としている指、手、腕の微細動作の指導のために要求される空間的、時間的な精度を得ることは困難である。

これらの既存研究では、我々が想定している 1 対 1 の対面型の状況における習得支援の学習効果について十分に研究されていない。

3. 設計

3.1 基本設計

我々が対象としている指、手、腕の微細動作の技能の習得支援の 1 対 1 における対面指導においては、学習者の個性や学習進度に合わせて高度にカスタマイズされた教師の動作を、学習者の目前に高精度で表示することが効果的である。また逆に、学習者の悪い点や癖を教師が把握するために、学習者の動作を教師の目前に表示することが必要である。これらの双方向での動作表示、それに基づく実演動作、動作の修正といった一連の流れを繰り返すことで、学習効果の向上が期待できる。

関連研究は、AR コンテンツを用いることで教師の理想的な動作を学習者が把握することが可能である。しかし、事前に AR コンテンツを用意する必要があるため学習内容が固定的であるため学習者の学習段階に合わせられない点や、教師が学習者の認識能力と行動能力を把握し適切な助言を行うことが困難な点がある。そのため、学習者の学習段階に合わせることが可能で、教師と学習者が互いの動作を把握可能な技能習得支援システムが必要である。

そこで本研究では、学習者の学習段階に合わせ、教師と学習者が互いの動作を把握可能な技能習得支援システムの設計を行う。具体的には、センサとカメラ映像を用い教師と学習者の動作を取得し、HMD 上に表示する AR オブジェクトに反映する。ここで AR オブジェクトとは、動作を反映させた AR 表示のことをいう。設計システムの基本構成図を図 1 に示す。

センサとカメラを使用して教師と学習者の対象に対する動作を取得し、取得した動作データをネットワークを介して相手の HMD に AR 表示する。このとき、教師には学習者の、学習者には教師の動作を反映させた AR オブジェク

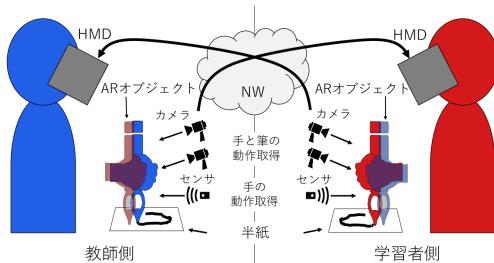


図 2: ユースケースへ適用した提案システム

トを表示する。この際、システム利用者の状況によっては適切な AR 提示方法が異なる可能性があるため、AR オブジェクトとビデオ映像の切り替えが行えることが望ましい。

このシステムを実現するための機能として以下が挙げられる。

- (F1)空間的・時間的に正確に再現する機能
- (F2)状況に応じた AR/カメラ映像の提示方法の選択機能

提案システムでは (F1) を実現するために、センサとカメラを組み合わせて用い、センシングの精度を向上させる。また (F2) を実現するために、AR 表示とカメラ映像を違和感なく切り換える機構を組み込む。

本研究では、提案システムを毛筆書写技能へ適応して設計を行う。

3.2 ユースケースへの適用

以下に、図 1 を毛筆書写技能へ適応した構成図を示す。毛筆書写技能において必要な道具は、筆と半紙である。また、この技能において取得する必要がある動作は手の動作と筆の運び方である。AR オブジェクトに手と筆の動作を反映させるために、センサとカメラを使用して動作を取得する。各々の動作をネットワークを介しデータとして送信し、AR オブジェクトに反映させる。教師と学習者の HMD と各々の動作対象の相対位置がほぼ等しい場合カメラ映像を表示し、そうでない場合は AR オブジェクトを提示することで、動作の観察が容易になると考えられる。この機能が必要なため、カメラ映像もネットワークを介し相手へ送信する必要がある。

3 章で挙げた機能をユースケースに適応すると以下の通りになる。

- (C1)手と筆の動作をセンサやカメラを使用して取得
- (C2)HMD と動作対象の相対位置による AR オブジェクトとカメラ映像の切り替え

(C1) では、手と筆、筆に付随する筆跡をセンサやカメラを使用して取得し、それらを空間的に正確に再現することが重要である。時間的に再現する際、オブジェクト間の同期は正確である必要があるが、相手へ提示するタイミングは必ずしも実際の動作のタイミングと同じでなくても良い



図 3: システム利用イメージ

とする。(C2) は HMD の相対位置がほぼ等しい場合にはカメラ映像を、他の場合では AR オブジェクトを提示する。このとき、システム利用者がカメラ映像と AR オブジェクトを任意もしくは自動で切り替え可能とする。本システムを利用した際のイメージ図を図 3 に示す。

以上の機能について実装を行う。

4. 実装

3.2 章で挙げた取得する必要がある動作で、手と筆の動作を取得するデバイスについて検討する。これらの動作を取得するセンサとしては様々なものが考えられるが、動作を詳細に取得可能なデバイスの一つとして Leap Motion [5] が挙げられる。このデバイスは、赤外線を用いて手の詳細な動作を取得することと、筆のような棒状の物体も検出が可能である。本システムでは検出精度を向上させるため、筆の動作取得はこのセンサに加え、カメラでも動作を取得することを検討している。

AR 表示を行うための HMD は、装着者の眼前の状況を取得する必要があるため、カメラを搭載していることと、現実空間を見ることができる光学透過型が望ましい。これらを満たす HMD の一つとして Microsoft HoloLens (HoloLens) [6] が挙げられる。この HMD は RGB カメラを搭載しており、取得したカメラ映像を眼前に提示することが可能である。また、光学透過型であるため、本システムに適していると考えた。

これらのデバイスを用い、3.2 項で述べた機能を実装する。HoloLens 上で動作するアプリケーションを作成するため、Unity 2017.2.3f1 を用いた。本デモ展示では、カメラ映像を眼前に提示する機能と手の 3D モデルを HoloLens 上に表示する機能について実装を行った。カメラ映像を眼前に提示する機能では、HoloLens に搭載されている RGB カメラの映像を装着者の正面に提示する。カメラ映像を眼前に提示している様子を図 4 に示す。図 4 中の右下には装着者の手が映っており、カメラ映像の右下にも同様に手が映っている。図中では、カメラ映像がはっきり映っているが、実際に HoloLens を装着してカメラ映像を見ると、映



図 4: カメラ映像を眼前に提示している様子

像の部分が少し透過されている。また、カメラ映像部分の不透明度を変化させて表示すると、HoloLens 上で見た場合よりも、キャプチャした場合の方がカメラ映像部分がより透過されて表示される。

手の 3D モデルを HoloLens 上に表示する機能では、Microsoft 社製の HoloLens 用のアプリケーションである Holographic Remoting Player [7] を利用して、Leap Motion で検出した手を 3D モデルとして表示した。Holographic Remoting Player は、Wi-Fi 接続を使用して PC から HoloLens へコンテンツを映像としてリアルタイム配信するアプリケーションである。3D モデルを HoloLens 上で表示させた様子を図 6 に示す。この様子は、図 5 のように HoloLens の正面に Leap Motion を取りつけ撮影した。PC に Leap Motion を接続し、Leap Motion で検出した手の情報を元に Unity 上で 3D モデルを表示し、その実行中の画面を Holographic Remoting Player を用いて HoloLens へ映像として送信し、眼前に 3D モデルを提示している。HoloLens の AR 表示範囲は図 6 中の赤い実線で示した範囲であり、3D モデルがこの範囲から外れると、3D モデルが欠けて表示される。図 4 のカメラ映像も、この表示範囲から外れると映像表示が欠けて表示される。

検討事項として、Leap Motion の取りつける位置と、Holographic Remoting Player を用いた際の遅延がある。Leap Motion の検出範囲は高さ約 80 cm で 8 立方フィートの逆ピラミッド型の空間とされており、図 5 に示した位置に Leap Motion を取りつけた場合、手が Leap Motion に近すぎて検出されない場合がある。そのため、手を正確に検出されない場所について考える必要がある。また、Holographic Remoting Player を用いた際、ネットワークの状況によっては画面表示が更新されず、一時停止している状態になる場合がある。これを回避するためには、HoloLens 上で動作する、Leap Motion で検出した手を 3D モデルとして表示するアプリケーションを実装する必要があると考えられる。

5. おわりに

本デモ展示では、提案技能習得支援システムについて設計を行い、検討した機能に基づいて実装を行ったプロトタ



図 5: HoloLens に Leap Motion を取り付けた様子

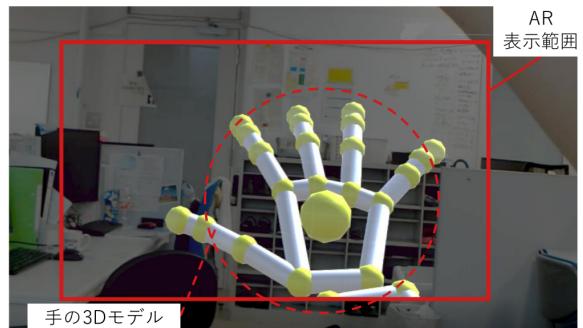


図 6: 3D モデルを眼前に提示している様子
イシステムを紹介した。

今後は、Leap Motion で検出した手を 3D モデルとして表示する、HoloLens 上で動作するアプリケーションの実装と、カメラ映像と 3D モデル提示機能の統合を行い、統合後の本システムを実際にユーザに使用してもらい、使用感や学習の容易さなどについて定性的な評価を行う。また、ネットワークを介したデータの送受信を行っているため、その遅延に関する影響や、表示の精度について定量的な評価を行う。

参考文献

- [1] 曽我真人, 松田憲幸, 高木 佐恵子, 瀧 寛和, 吉本 富士市: スキル学習に共通な特徴とスキル学習支援システムに必要な機能について, 人工知能学会全国大会論文集 JSAI04, pp.224–224 (2004).
- [2] 藤塚哲也, 岩倉純, 山下 聖也, 新井 浩志: 拡張現実を用いた習字学習支援システム, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2014 年 情報・システム (1), p 163 (2014).
- [3] R. Soontornvorn, H. Fujioka, T. Shimoto, "A development of TANZAKU calligraphy training system using Augmented Reality and dynamic font," Region 10 Conference (TENCON), pp. 3720-3723, 09 February 2017.
- [4] W. Chinthammit, T. Merritt, S. Pedersen, A. Williams, D. Visentin, R. Rowe, T. Furness, "Ghostman: Augmented Reality Application for Telerehabilitation and Remote Instruction of a Novel Motor Skill," in BioMed Research International Volume 2014, pp. 1-7 (2014)
- [5] LEAP MOTION INC.: Leap Motion, [Online], Available: <https://www.leapmotion.com/#112> [Accessed: 12-Jan-2018]
- [6] Microsoft: Microsoft HoloLens, [Online], Available: <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens> [Accessed: 12-Jan-2018]
- [7] Microsoft: Holographic Remoting Player, [Online], Available: <https://www.microsoft.com/ja-jp/p/holographic-remoting-player/9nblgggh4sv40> [Accessed: 09-Aug-2018]