

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月10日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01060

研究課題名(和文) 力覚を伴う操作が可能な実体験追求型MRの開発と実験教育への応用

研究課題名(英文) Development of Mixed Reality Technique with Force Feedback and Application to Education involving Experiments

研究代表者

竹村 淳 (TAKEMURA, Atsushi)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20297617

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、裸眼立体ディスプレイの映像を力覚を伴いながら操作できる複合現実(Mixed Reality; MR)の技術を開発し、電子回路やロボット製作などの「ものづくり」の能力を育てるための実験教育へ応用を試みた。本研究で提案する技術は、以下(1)-(3)の全てを可能にする点に特長があり、将来の理工系分野の実験教育に必要な幅広い用途に活用できる点で、これまでにない新しいものである；(1) 準無装着型に実現、(2) 筋電信号に基づく力覚提示、(3) 利用者の様々な環境と目的に適応できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでも、生体信号を用いたマシン・インターフェースの開発が行われてきたが、裸眼立体映像に対して筋電信号に基づいて力覚を伴う操作と作業を可能にする試みは、本研究が初めてである。また、提案システムを実験教育に用いる場合、実験作業を妨げる装着デバイスがなく、実験者の様々な環境や用途にも応用できるため、得られる教育効果は、従来の教育支援システムと比べて飛躍的に増大すると考えられる。さらに、本システムは、理工系の以外の分野(生体医工学、スポーツなど)においても、広い応用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：This study developed the novel mixed reality technique which enables users to operate 3-dimensional virtual equipments using force sense. Moreover, this study verified its applicability to educational support system for technological experiments involving construction of electronic circuits and robots. The technological novelty of this system are listed as follows: (1) The proposed MR system does not necessitate use of attached devices which disturb learning and experiments; (2) Users can operate 3-dimensional contents using force sense; (3) The proposed education system is applicable to various environments and purposes of individual users.

研究分野：電子工学，教育工学，画像工学

キーワード：教育支援システム パーチャルリアリティ 実験教育

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、ICT (information and communication technology) を活用した教育や e-ラーニング (e-Learning) のように、利用者の目的や能力に応じて、いつでも、かつ何処でも学習が可能になる教育システムの普及が進められている。また、仮想現実 (virtual reality; VR) や拡張現実 (augmented reality; AR) 及びそれらを組み合わせた複合現実 (mixed reality; MR) を教育分野に活用する試みもある。一方、理工系分野の学習では、実体験 (実際にものを見たり、触れて作業する経験) や、「ものづくり」を含む実験教育が必要不可欠である。しかし、現行の教育支援システムは、利用者 (学習者) にとっては、受動的にコンテンツが得られるのみで、シミュレーション的な内容に偏っているため、実体験や実験が必要な理工系の教育の用途を満たしていない。また、現行の VR・AR・MR 技術を実験教育に用いる場合、一般的に HMD (Head-Mounted Display) や触覚提示デバイスのように、身体に装着または密着させるデバイスが必要となり、利用者は周囲の環境から遮断されるため、これらのデバイスが実験作業の妨げとなり、安全性の面でも問題が生じる。

このような問題点を踏まえて、本研究では、手や腕の動作や力の大きさのパターンが、前腕表面から取得できる筋電信号の特徴として表れることに着目して、筋電信号処理により力覚を経験することが可能な小型の MR デバイスを開発し、実際の実験作業と同等の体験ができる「ものづくり」実験教育への応用を試みた。

2. 研究の目的

本研究は、電子回路やロボット製作などの「ものづくり」の能力を育てるための実験教育を、高能率に遂行することができる新しい MR 技術である適応的実体験追求型 MR (adaptive and experience-oriented mixed reality; AXMR) を開発することを目的とする。提案する AXMR は、以下 (a) - (d) の技術要素を全て可能にする点において、これからの理工系分野の実験教育に必要な幅広い用途に活用できる、これまでにない新しい技術である。

- (a) 装着する機器がほとんどなく、学習や実験を妨げない。(準無装着型の実現)
- (b) 裸眼で見た立体映像に対して、実際に操作する体験ができる。(生体情報に基づく力覚提示)
- (c) 利用者 (学習者) の実験環境に適応することができる。(利用環境への適応)
- (d) 利用者の要望に応じて、発展学習が可能となる。(利用者の要望への適応)

3. 研究の方法

提案する AXMR の技術要素 (a) - (d) を効率良く開発し、実験教育支援システムとしての有用性を検証するために、以下 (1) - (3) の方法で研究を進めた。

(1) 立体映像空間における高精度の動作認識に関する研究

裸眼立体ディスプレイで表示する映像コンテンツの作成を行うと共に、「(a) 準無装着型の実現」及び「(b) 生体情報に基づく力覚提示」を実現するために必要となる「手の動作認識」の研究を行った。この研究では、汎用のカメラ付きモーション・センサを用いて、無装着型の動作認識装置 (図 1 参照) を自作した。そして、空中で動作を行っている手と立体映像コンテンツとの位置合わせ、及び手の動きの自動認識のための立体映像処理の研究を行った。

(2) 生体情報に基づく力覚提示に関する研究

前述 (1) の研究を発展させて、実験の妨げとなる装置を装着することがなく、力覚を伴う動作と同等の体験ができるシステムを開発した。具体的には、図 1 の筋電センサ付端末を、汎用の小型マイクロ・コントローラに筋電センサを接続することにより製作した。そして、手の動きや力の入れ方によって、筋電信号に異なる特徴が表されることに着目して、各立体映像コンテンツ (実験教育用の部材) に対応した力覚データベースを作成した。さらに、力覚データベースと筋電信号のパターンを実時間処理することによって、利用者に力覚を提示するシステムを構築した。これにより、立体コンテンツを操作したり動かすためには、「対象物の重さに応じて力を入れなければならない」、すなわち「力覚を伴い対象物を動かしたり操作する」とことと同等のリアルな体験ができるシステムの実現が可能となる。上述 (1) 及び (2) の研究により、「(a) 準無装着型の実現」及び「(b) 生体情報の力覚提示」を実現するシステムを構築できる。

(3) 「利用者の環境と要望に適応するシステム」の構築に関する研究

以上の研究で構築したシステムに対して、3D スキャナにより立体データを取得する機能、及び 3D プリンタにより実体モデルを造形する機能を組み込むことによって、「(c) 利用環境への適応」及び「(d) 利用者の要望への適応」に関する基礎的な技術を完成させた。また、MR 空間での「ものづくり」実験の操作性 (使いやすさ) を向上させるために、タブレット端末を用いた手書き入力による設計と MR 空間での力覚を伴う製作作業を組み合わせた、設計から製作、計測に至る総合的な「ものづくり」実験教育が可能となる教育支援システムの開発も試み、その有用性を評価した。



図 1：提案システム (AXMR) の構成

4. 研究成果

(1) 立体映像空間における高精度の動作認識に関する研究

図 2 に示すように、裸眼立体ディスプレイに表示される立体コンテンツ、及び動作認識装置により取得される手の動きに対する立体映像処理の研究を行った。まず、実験教育で用いる部材(回路やロボットの製作部材)の立体データを 3D スキャナで取得し、かつグラフィック・エディタを用いて立体コンテンツのデータベースを作成した。そして、汎用のカメラ付き距離センサを用い、無装着型の動作認識装置を構築し、これらを動作させるための映像処理のソフトウェア開発を行った。その結果、裸眼立体ディスプレイに表示される 3 次元映像を空中で操作(実験の作業)することにより、MR 空間で回路やロボットの製作を行う技術を構築できた。この裸眼立体映像を用いた無装型の操作は、従来の VR・AR・MR 技術にはない新しいものであり、後述の力覚提示の機能を追加することにより、有用性が大きく向上される。

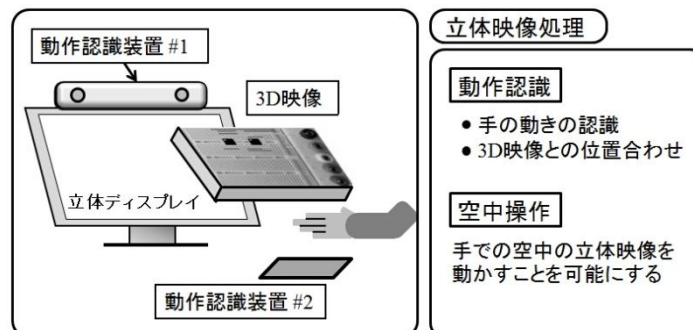


図 2：立体映像処理と動作認識に関するシステムの構築

(2) 生体情報に基づく力覚提示に関する研究

図 3 に示すように、立体映像に対して、対象物の重さに応じた力を入れて(力覚を体験しながら)立体コンテンツを操作することにより、リアルな感覚で実験を行う体験が可能となる MR システムを構築した。このシステムは、汎用のマイクロ・コントローラと筋電センサ開発ユニットを用いて製作した。この開発装置を用いて、実際の実験部材を用いた作業時の筋電信号のパターンから、力覚データベースを作成した。そして、立体コンテンツに応じた力覚を提示するためのソフトウェア開発を行い、MR 空間でのリアル感のある実験作業を可能にした。

以上(1)及び(2)の研究成果により、裸眼立体映像に対して力覚を伴い操作(実験作業)が可能で、新しい MR システムが構築された。なお、筋電信号や脳波を用いて、装置の作動や制御を可能にするシステムの開発研究が、国内外で進められている。それらの研究とは異なり、本研究は、裸眼立体映像に対して、筋電信号に基づく力覚の提示を実現する初めての試みである。

(3) 「利用者の環境と要望に適応するシステム」の構築に関する研究

図 4 に示すように、MR 空間において製作した物(回路、ロボット)の構成を、一般的なシミュレーション言語に翻訳する機能を持たせて、製作物の動作をシミュレーションすること、及びバーチャル計測を可能とし、実験教育支援システムとしての有用性を向上させた。さらに、次の - に説明する 3 種類のモードを組み込むことによって、利用者の様々な環境と要望に適応することが可能となり、従来よりも有用性の高い、新しい実験教育支援システムを完成させることができた。

Physical Construction Mode: 電子回路やロボットなどの「ものづくり」に必要な実験材料を有しているが、測定機器などの実験設備がない場合に有用となる。利用者は、実際に作製し

た物の立体データを 3D スキャナにより取得し、作製した物の動作（回路の特性やロボットの動き）を立体空間中でシミュレーションして学ぶことができるようになる。

MR-based Construction Mode: 実験環境と実験材料の両方を有していない場合には、このモードにより MR 空間上で力覚を体験しながらリアル感のある実験を行い、その結果をシミュレーションすることが可能となる。また、このモードにより、実験教育の遠隔化も可能となる。

Mixed Mode: 「ものづくり」のための実験材料が不足している場合、とを組み合わせることで、不足なく実験学習を行うことができる。一方で、「ものづくり」実験を行った後、改良を試みたり、より大規模な製作を行うなどの追加実験により、自主的に発展した学習を行うことは重要かつ有意義である。このモードを用いれば、追加実験のための環境や部材の有無に関わらず、発展学習が可能となり、利用者の様々な目的や要望に適應できる。

上記の機能を加えることにより、「ものづくり」実験教育に必要な総合的な学習（設計、製作、計測）が可能となり、従来の教育支援システムよりも大きな教育効果が期待できる。また、このシステムは、実験教育の遠隔化や、個々の利用者の環境や要望に対応できる点で、従来の実験教育システムに比べて用途が広いというメリットがある。

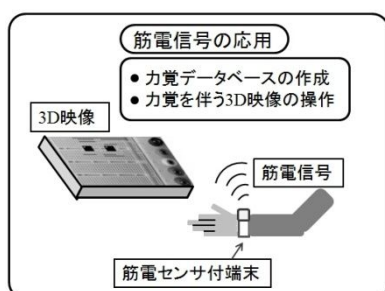


図 3：筋電信号に関する装置の構築

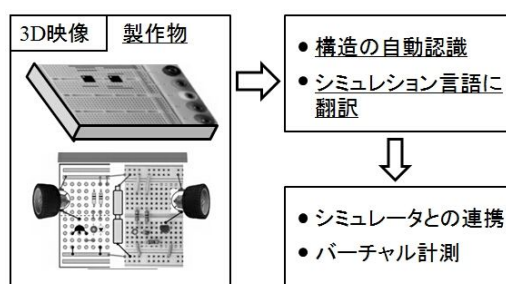


図 4：利用者の環境と要望に適應するシステム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

A. Takemura, “e-Learning system for electronic circuit construction using handwriting recognition and mixed reality techniques,” Proceedings of IADIS e-Learning, 査読有, 2018, vol.12, pp.161-166

A. Takemura, “Recognition of handwritten schematic symbols and its application to a web-based education system for electronic circuit construction,” Proceedings of IADIS ITS, 査読有, vol.8, 2017, pp.163-168.

A. Takemura, “An e-Learning system with MR for experiments involving circuit construction to control a robot,” Proceedings of IADIS ITS, 査読有, vol.7, 2016, pp.267-271.

A. Takemura, “e-Learning system using segmentation-based MR technique for learning circuit construction,” Proceedings of IADIS CELDA, 査読有, vol.13, 2016, pp.329-334.

〔学会発表〕(計 4 件)

A. Takemura, “e-Learning system for electronic circuit construction using handwriting recognition and mixed reality techniques,” IADIS International Conference on e-Learning, 2018.

A. Takemura, “Recognition of handwritten schematic symbols and its application to a web-based education system for electronic circuit construction,” IADIS International Conference Internet Technologies and Society, 2017.

A. Takemura, “An e-Learning system with MR for experiments involving circuit construction to control a robot,” IADIS International Conference Internet Technologies and Society, 2016.

A. Takemura, “e-Learning system using segmentation-based MR technique for learning circuit construction,” IADIS International Conference Cognition and Exploratory Learning in Digital Age, 2016.

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

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、研究者個人に帰属されます。