

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：34506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330237

研究課題名(和文)代替現実感システムを利用した深い没入感を有する訓練システムの構築

研究課題名(英文) Construction of a deep immersive training system using a substitutional reality system

研究代表者

田村 祐一 (TAMURA, Yuichi)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：50311212

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)：本研究では、以下の3点について研究を行った。

1) 訓練用代替現実感システムを構築するための市販のアクションカメラ4台を利用した両眼立体視全方位カメラを開発した。2) 代替現実感システムに手映像を重畳する手法を開発し、Singular Spectrum Analysisを用いて映像のキーフレームの自動抽出を可能とした。3) 高齢者向け訓練・計測システムを開発し、認知機能および歩行機能を客観的に評価した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we studied the followings.

1) We developed a binocular stereoscopic omnidirectional camera using four action cams for constructing a substitutional reality system. 2) We developed a method for superimposing hand behavior on substitutional reality system, and made it possible to automatically extract image key frames using Singular Spectrum Analysis. 3) We developed a training and measurement system for the elderly people, and objectively evaluated cognitive function and gait function.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：訓練システム 代替現実感 特異スペクトル解析 バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

VR 技術は作業や技術の伝承のための訓練システムとは親和性が高く、これまでも様々な研究が行われてきた。一方で没入感という観点から考えたとき、よく用いられる CG ベースの訓練システムではリアリティが不足し、訓練システムでの体験と実際の体験との間に違いを感じてしまい、十分な訓練効果が得られない場合がある。そこで、これまで受けてきた科研費のテーマである設計支援環境の発展を目指し、深い没入感のある訓練システムの構築を行うことを目的とした。

訓練システムとしては、理化学研究所が考案した代替現実感システム(SR システム)[1]を利用することを考えた。このシステムは、現在の映像と過去の映像のつなぎ目を意識させることなく、体験することを可能とするシステムである。原理としては、映像・音をあらかじめ設置した全方位カメラおよびマイクにより取得しておく。その後、被験者はヘッドマウントディスプレイ (HMD) およびヘッドフォンを装着し着席する。このとき、被験者の視点位置は、あらかじめ取得した映像のカメラ位置とほぼ同一とする。被験者には HMD に装着されたカメラからビデオスルーの形で映像を提示している。従って、被験者は提示されている映像が現在の映像であると認識するが、実験途中で全方位カメラによって取得した過去の映像に切り替えたとしても、被験者は現在の映像と過去の映像の違いを把握する方法がほとんどないため、目の前に提示されている映像が現在のものであるか、過去のものであるか区別することができない。これにより、過去と現在のつなぎ目のないシステムを構築するというものである。このシステムを訓練システムへ応用可能と考えた。これまで、我々の研究グループは、核融合炉における組み立て支援システムの構築、さらに設計効率化のための可触化システムの研究を進めてきた。これら提案システムのユーザーとしては、すでにシステムに関する知識を持っている人、もしくは、そもそもシステム自体を設計する人をターゲットとして開発を行ってきた。それらに対して、今回研究を進めるシステムは、様々なタスクをはじめて行う作業初心者をターゲットとする。すでに知識を持った人とは異なり、初心者が繰り返し、現在と過去の映像をシームレスに参照しながら、かつまるで指導者の映像を自らがタスク(以下、作業)をおこなっているかのように感じられるようなシステムの開発を行うことを目的とした。

また、より深い没入感を得るためには、手の情報を提示することが重要である。過去の映像に自らを投影できて初めてその空間に自らが存在し、今体験しているかのような感覚を提示することが可能となる。そこで、ユーザーの手の形状を取得し、過去映像にあなたも存在すると感じられるようなシステムの構築を行うこととした。さらに、手の動き

を得ることでジェスチャによる各種機器の操作も可能とすることを目的とした。

SR システムはすでに述べたように、そもそも座位で使用することを想定している。しかし、同じ場所で行うだけの作業でなく、ある程度移動しながら作業することも少なくない。システムの構成上、2 次元的に広がる空間における訓練システムを構築することは、データ提示、データ取得双方の点から非常に難しいが、直線的に移動する作業に本システムを適用することはある程度可能と考えられる。そこで、直線的に移動する作業に対する移動型訓練システムの検討を行う。

[1] "Substitutional Reality System: A Novel Experimental Platform for Experiencing Alternative Reality," K. Suzuki, S. Wakisaka and N. Fujii, Scientific Reports, 2 (2012).

2. 研究の目的

本研究の目的は、深い没入感をもつ訓練システムを構築することである。代替現実感システムを応用し、指導者や過去の自分の作業を過去と同一視点から追体験することを可能とするシステムの構築を行う。ただし、視線方向の任意性を確保し、ユーザーの自由な見直し行動を可能とするため、過去の作業を全方位カメラで保存しておき、追体験時には様々な方向から作業内容を追体験可能とする。従来の CG を利用した訓練システムと比較して、実映像かつ任意視線での体験が可能であるため、深い没入感を提示することが可能になる。さらに、あらゆる作業に不可欠な“手”を認識し、過去映像に提示することで、まさに今体験しているような感覚を想起させるとともに、手・腕の動きを解析することで、指導者との違いを定量化するシステムを構築していく。

具体的には以下の3つの項目の実現を目指した。

- 1) 深い没入感をもつ訓練用代替現実感システムの構築
- 2) 高精度な手の動き情報取得および動きの意味認識技術の開発
- 3) 直線的な移動環境における訓練システムの構築

3. 研究の方法

上記の3項目の研究方法について以下に述べる。

1) 深い没入感をもつ訓練用代替現実感システムの構築

代替現実感システムを利用した訓練環境をまず構築する必要があった。今回構築した大現実感システムを以下の図に示す。理化学研究所で開発された代替現実感システムでは、全方位カメラは、後に体験するユーザーの視点位置とほぼ一致させるよう(図1におけるカメラ+センサの位置)に配置し、全方

位カメラの近傍には人はいないものであった。つまり過去映像において、全方位カメラの近傍に人は映り込まないという条件であった。一方、今回提案する訓練システムでは、過去映像が指導者の作業や自らの過去の作業を映したものであるため、作業を行っている様子を全方位カメラで撮影した際に、本人が映りこんでしまうという問題が発生する。この問題に対処するため、ユーザーが映りこんでしまっている領域に視線を向けた場合に、まずは自動的に現在映像に切り替える方法が自然であるか否か検討した上、近傍の写り込んでいない領域を提示する方法や、教師映像作成以前にあらかじめ作業環境映像を取得しておき、用意しておいた映像に切り替える等の処理を検討していくこととした。

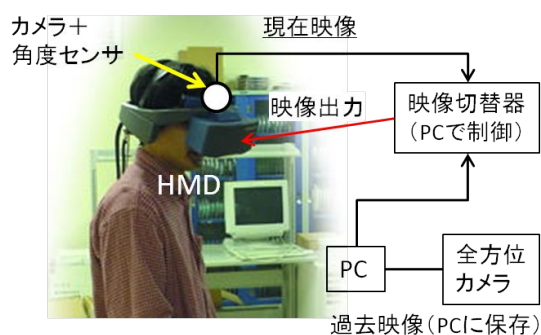


図1 代替現実感システムの構成図

2) 高精度な手の形状情報の取得および手の動きの分類手法の開発

代替現実感システムでは、過去映像を提示したとき、原理的に自らの体を見ることができないため、過去映像と気付いた途端、急激に没入感が損なわれてしまうという問題がある。この問題に対処するために、手の動きを取得し、取得した形状データを過去データに重畳することで解決する方法の検討を進めた。手に装着物をつけることなく、手形状を取得することが理想的であるが、まずはデータグローブを使用して、手形状を計測することを検討した。手に着目する理由としては、提示映像が過去のものか現在のものかを確認するために、手を目の前（実際はカメラの前）にかざす行動がよく見られたという事例があるためである。

次に、詳細な手の動き解析の検討を進めた。手の動き解析は教師映像の場合と初心者（ユーザー）映像の双方で行う。解析の目的は、指導者の手の動きとユーザーの手の動きの差異を定量的に計測し、相違点を明確にすることで、作業における重要な動きや注意点などを明確にすることである。動きを解析する研究・動きの意味を把握する研究は様々行われているが、多くの研究は確率モデルを利用したものである。確率モデルを利用する手法は、多くの学習を行うことにより、高い精度が得られることが期待できるが、パラメータ

が多く、最適値が求めづらい場合があることや、ユーザーによって教師データを変更する必要がある場合がある。そこで、本研究では Singular Spectrum Analysis (SST) [2]を使った解析手法の検討を進めた。SSTは決定しなければならないパラメータが時定数に対応するようなもののみであるため、確率モデルと比較して、パラメータ決定が容易であるという利点がある。SSTは地球物理学などの解析に用いられているが、人の動作の区切りを見つけるために利用している研究もある[3]。本研究では、SSTを利用して手の動きの意味を抽出する手法の開発を進めた。

[2] "Singular Spectrum Analysis: A New Tool in Time Series Analysis," J. B. Elsner and A. A. Tsonis, Springer, (1996).

[3] "Changes in Coordinative Structure through Human-Environmental Interaction and its Role in Estimation of Dynamics," H. Nakanishi, et. al., Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, (2011).

3) 直線的な移動環境における訓練システムの構築

座位のみだけでなく、移動に対応した訓練システムの検討を行うことを計画していた。特に、本研究では直線的な移動のみを行う作業環境を仮定したシステムを構築することを想定してシステムの構築を検討することとした。

4. 研究成果

各項目についての研究成果について順に述べる。

1) 深い没入感をもつ訓練用代替現実感システムの構築

研究開始当時、現在のような全方位立体映像を簡単に撮影できる環境になく、まずは単眼の全方位カメラ Ladybug5 を利用した代替現実感システムを構築した。確かに単眼全方位カメラでも訓練システムの構築は可能であったが、作業支援という意味からは奥行き情報がないということは致命的であったため、アクションカメラを複数台利用した両眼全方位カメラを作成した（図2）。



図2 両眼全方位カメラ

さらに、提案全方位カメラでは最大 1/15 秒の映像同期のずれが生じるため、その後同期信号を入力とした両眼全方位カメラを開発した。

2) 高精度な手の形状情報の取得および手の動きの分類手法の開発(主に学会発表[2],[3])

まずはデータグローブを使用して、手形状を計測することを検討することから始めた。検討の結果、データグローブ領域を取得し、その部分を CG で現実モデルに重畳するシステムの構築を行った。これにより代替現実感システム上で自身の手を見ることが可能となり、より自然にシステムの体験をすることを可能とした。

次に、手の動きの分類方法について、キーフレームを抽出する手法としては Singular Spectrum Analysis を用いた。Singular Spectrum Analysis によるキーフレームの抽出は、設定パラメータが少なく、ユーザーが変わったときに調整するパラメータの数が少ないという利点がある。本検討にあたり、上記に示したデータグローブを用いた手の動き解析を行い、その有効性を確認した。次に、操作者に特別なデバイスを装着させずに体の動きを認識する方法を検討した。今回は、ユーザーの上半身の動きの把握と、手、さらには指の動きによる意図を認識する方法について検討を行った。これは代替現実感システムでは主に座位での体験となるため、全身を取る必要性がなかったためである。具体的には、上半身の動きの認識に Microsoft Kinect を用い、手・指の動き認識には Leap Motion を用いた。本システムを利用することにより、行動変化のキーフレームの取得を可能とし、HMD を装着した状態で、構成された映像空間の操作を可能とした。

3) 直線的な移動環境における訓練システムの構築(主に学会発表[1])

研究を進めていくにつれ、移動環境を伴う訓練システムについて、直線かつ移動しながらの環境を代替現実感システムで作成することの意義、および効果的な環境の具体例を提示することが難しく、訓練システムという枠組みで研究を進めることの意義に疑問が生じた。そこで、利用対象を高齢者にしぼり、バーチャル環境を移動することで、自身の身体の状態を客観的に認識してもらうことを可能とするシステムの構築を開発した。本システムは大きく2つの課題について検討を行った。1つ目は高齢者の自動車等移動物体認知能力を測定するためのシステムである。本システムでは、目の前を自動車が通過する環境を体験してもらい、2車線の道路を横断可能なタイミングを調べる実験を行った。実験の結果、若年者と比較して高齢者が優位に判断が遅くなっていることが分かった。実環境

での実験・訓練では危険が伴うため、今回提案したようなシステムは実用性があると考えらえる。

2つ目は高齢者の障害物を乗り越える際の転倒危険度を計測するためのシステムである。転倒危険度の計測システムでは、特に高齢者の足首の角度に着目し、移動時の足の運びについてリアルタイム計測し、被験者にフィードバック可能なシステムを構築した。これは高齢者は家庭内での転倒に起因する骨折や死亡事故が少なくないという警察庁の統計がある。そこで、自身の身体状態をリアルタイムで把握することで、転倒事故を減らすことを可能とする訓練システムの構築を行った。本システムは、Vicon センサーを複数使用したモーションキャプチャシステムから構成されている。被験者は足に複数のマーカーが付けられたシューズを装着し、バーチャル空間内にコンピュータグラフィックスを使って構築された家庭環境を歩行してもらった。また、歩行結果を被験者にリアルタイム可視化可能なシステムも構築した。一方で、バーチャル環境での実験の妥当性を確認するためにコンピュータグラフィックスで作られたものと同じ環境を実空間でも構築した。実験の結果、バーチャル空間とリアル空間で足の運び、特に足を上げる高さに若干の違いが生じた。

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12件)

An adaptive orthogonal SSA decomposition algorithm for a time series (Kenji Kume and Naoko Nose-Togawa), *Advances in Data Science and Adaptive Analysis*, Vol.10, No.01,1850002, 2018, 査読有

An Intuitive Interface for Visualizing Numerical Data in a Head-Mounted Display with Gesture Control (Y. Tamura, H. Nakamura and S. Fujiwara), *Plasma and Fusion Res.*, vol. 11, no. 2406060, pp. 1-4, 2016, 査読有

水中に物体を浮かべることが可能な体感型水槽ディスプレイ,(出口真美,田村祐一), *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, vol. 21, no. 3, pp. 525-528, 2016 査読有

無線 LAN 信号強度の特異スペクトル変換

を利用した屋内環境の状態変化検出, 梅谷智弘, 田村祐一, 計測自動制御学会論文集, vol. 52, no. 3, pp. 127-133, 2016 査読有

Visualization of Dust Particle Data with Plasma Simulation Results Using Virtual-Reality System (H.Ohtani, M.Shoji, N.Ohno, Y.Suzuki, S.Ishiguro, A.Kageyama, Y.Tamura) Contrib. Plasma Phys. Vol. 56, No. 6-8, pp. 692-697, 2016 査読有

Filter characteristics in image decomposition with singular spectrum analysis, (Kenji Kume and Naoko Nose-Togawa), Advances in Adaptive Data Analysis, Vol. 8, Issue 01, 1650002 [15 pages], 2016, 査読有.

Additive decomposition of power spectrum density in singular spectrum analysis, (Kenji Kume and Naoko Nose-Togawa), Advances in Adaptive Data Analysis, Vol. 8, 1650003 [20 pages], 2016, 査読有.

Human-Robots Implicit Communication based on Dialogue between Robots using Automatic Generation of Funny Scenarios from Web (R. Mashimo, T. Kitamura, T. Umetani and A. Nadamoto) Proc. the 11th ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction, pp. 327-334, 2016 査読有

無線 LAN 信号強度を利用した屋内環境における状態変化検出の検討, (梅谷智弘, 澤田祐志, 田村祐一) システム制御情報学会論文誌, vol. 28, no. 4, pp. 140-146, 2015 査読有

Molecular Dynamics Simulation of Phase Behavior in a Bolaamphiphilic Solution (S. Fujiwara, T. Miyata, M. Hashimoto, Y. Tamura, H. Nakamura and R. Horiuchi) Plasma and Fusion Research, vol. 10, no. 3401029, pp. 1 - 4, 2015 査読有

Change Detection of State of Indoor Environment based on Singular Spectrum Transformation of Strength of Wireless LAN Signals (T. Umetani and Y. Tamura) Proc. the 46th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp. 65 - 69, 2015 査読有.

Indoor Localization for Augmented Reality Aided Operation and Maintenance System based on Sensor Data Integration (T. Umetani, S. Yamane and Y. Tamura) Plasma and Fusion Research, vol. 9, no. 3406054, pp. 1-4, 2014 査読有

[学会発表](計4件)

Evaluations of Traffic-related Cognitive Function of Japanese Older Adults by Virtual Reality System (N. Takehara R. Sasakura N. Ohno Y. Tamura R. Varadhan H. Uchida), Innovation in Aging, Volume 1, Issue suppl_1, 1 July 2017, Pages 1217, 2017

Classification of Finger Movement using Singular Spectrum Transformation (Y. Tamura, T. Umetani and H. Nakamura) Journal of physics: conference series, vol. 574, no. 012109, pp. 1-4, 2015 査読有

Dynamic gesture classification using skeleton model on RGB-D data (Y. Tamura, T. Umetani, N. Kashima and H. Nakamura) Journal of Physics: Conference Series, vol. 490, no. 012103, pp. 1-4, 2014 査読有

Interaction Visualization System to Analyze Corrugated Millimeter-Waveguide Component of ECH in Nuclear Fusion with FDTD Simulation (N. Kashima, H. Nakamura, Y. Tamura, A. Ito and S. Kubo) Journal of Physics: Conference Series, vol. 490, no. 012179, pp. 1 - 4, 2014 査読有

6. 研究組織
(1) 研究代表者

田村 祐一 (TAMURA, Yuichi)
甲南大学・知能情報学部・教授
研究者番号：50311212

(2)研究分担者

梅谷 智弘 (UMETANI, Tomohiro)
甲南大学・知能情報学部・准教授
研究者番号：10397630

中村 浩章 (NAKAMURA, Hiroaki)
核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・教授
研究者番号：10397630

久米 健司 (KUME, Kenji)
奈良女子大学・名誉教授
研究者番号：10107344