

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26240029

研究課題名(和文) 能動的な身体運動感覚の生成手法の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the method to create the sensation of active body motion

研究代表者

池井 寧 (Ikei, Yasushi)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：00202870

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、他人が行った行動(身体運動)をあたかも自分が体験したものとして追体験するための基礎技術を構築した。通常のVR空間の体験と異なるのは、目標とする体験が事前に(記録されて)存在することであり、価値の高い体験を他人から得ることが追体験の目標である。単に運動を再現するのではなく自分で行動しているという、疑似能動感を誘発する追体験を実現する新規五感提示手法を探索した。記録された行動の感覚に対応する受動的な身体的運動刺激を適合させること、筋腱刺激で疑似能動感を向上すること、上腕と手による能動的な入力で疑似能動感を与えることを実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we built basic techniques to relive the behavior (physical motion) performed by others as if it was experienced by the user. A highly valuable experience of others is targeted for the reliving, and the existence of the experience beforehand (recorded) is different from the experience of a regular VR space. We explored a new multisensory presentation method that realizes a reliving experience that induced a pseudo-active sensation that the body is moved by the user not merely reproducing the motion. We implemented the method adapting the passive physical motion stimulus corresponding to the sensation of the recorded behavior, improving the pseudo-active sensation with the muscle tendon stimulus, and giving the pseudo-active sensation by allowing active input with the upper arm and the hand.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：身体運動感覚 追体験 能動感

1. 研究開始当初の背景

臨場感のある空間体験は、バーチャルリアリティ (VR) の基本的な目標であるが、地球上の多様な空間を高い臨場感で能動的に体験することは、まだ実現されているとは言えない。理想的には、現地の高解像の3D画像データをリアルタイム伝送し、視点を能動的に変えながら任意空間の体験を可能とすることが期待されるが、体験者の身体運動を直接反映した映像取得や五感情報全体の伝送と再現は、実際には非常に困難である。現在は、能動性は保留した記録 (伝送) 再生提示 (ビデオ再生) が実用的である。

現実世界の「体験」では、自己の身体の能動的な行動選択にこそ、体験の本質があると考えられるが、一方で、自己の行動による世界体験では、実際に行動可能な範囲に厳格な制約 (物理的、経済的制約) がある。「追体験」とは、現実世界で実行された価値の高い他人の体験を、自分の体験とすることであり、この制約を解除できるものである。しかしながら、追体験を実現するためには、体験であるがゆえの能動的な行動選択をなし、かつ、すでに決められている体験を行う、という矛盾した要求を満たす必要がある。すなわち、すでに与えられた (過去の他人の) 身体行動があり、その行動を自分自身の身体が行ったと認識されるときに、それが自分の体験としてとらえられ、真の追体験が成立すると考えられる。

これまで、VR空間を構築することにより、さまざまな疑似体験が可能となることが示されてきた。体験できる空間は、インタラクションの程度、すなわち体験者の能動性において、異なるレベルがあるが、ほとんどすべての実装において、能動的 (主体的) であることがVR体験の前提となっている。従って、すでに固定された過去の他人の空間体験は、VRとしての能動性をもって体験することの対象とは通常はなりえなかった。

空間体験の身体的能動性の基礎は、歩行によって実現される。実際の空間を最も良く知ることができるのは、その場に実際に立ってみて、歩いて見ることである。VR提示された空間において、能動的な移動を取り入れる場合にマウスやコントローラのボタン等で、視点移動だけを入力するナビゲーションが用いられることが多いが、そのような移動は、実際の歩行運動でVR空間中の歩行とする場合より、認知地図の正確さや臨場感が劣ることが示されている。実際の歩行体験をVR提示するために、トレッドミルや靴底のすべり装置等で実空間での身体運動を相殺する機構が提案された。相殺せずに、実際の歩行運動を用いる場合には、視覚の空間提示を工夫して、実際の歩行運動の方向を変えさせて、一定の実空間の領域の中に閉じ込める手法が提案されている。足踏み運動を空間移動の指示にする手法もある。しかし、これらの手法は、装置の大型化、装置利用の難しさ、歩

行再現の精度の低下などの問題のほか、広域の移動では不必要な負担を生じ、誰でも使えるような一般性が高いとは言い難い。勿論、歩行が困難な障害ユーザ・高齢ユーザにも適さない。

2. 研究の目的

本研究では、他人が行った行動 (身体運動) を、あたかも自分が体験したものとして「追体験」するための基礎技術を構築する。通常のVR空間の体験と異なるのは、目標とする「体験」が事前に (記録されて) 存在することであり、価値の高い体験を他人から得ることが追体験の目標である。単に運動を再現するのではなく自分で行動しているという、疑似能動感を誘発する追体験を実現する新規五感提示手法を探索する。対象とする具体的な行動は、歩行・走行運動の定常歩行から、停止・走行を含む運動の過渡状態、および階段や多様な踏面での身体姿勢の変化に対応した運動感覚の再現を当初目標とする。次に、歩行・走行よりも能動性の高い体幹・上肢の随意運動への適用をめざす。

3. 研究の方法

多様な実空間において、他人が行った身体運動、特に歩行・走行とそれに係る過渡的運動を、自分自身が行っているという能動性を感じながら追体験するための仕組みを探索する。この際、本研究では、上記手法と全く異なる解法として、体験者 (追体験者) が実際の歩行などの運動をするのではなく、着座した体験者の身体に受動的に刺激を与えることにより行う。即ち、体験者の身体を外部から駆動して運動感覚刺激 (固有感覚・前庭感覚刺激) を与え、また皮膚感覚に刺激を与えて、実際の運動状態で発生する感覚に相当する感覚を提示することで、歩行などの体験を創成する。更に、抹消神経と脳の運動生成に関わる部位に、非侵襲的に電氣的磁氣的刺激を提示することによって能動性の感覚を生ぜしめる手法を試みる。

この際、体験者の身体 (足、体幹、頭部、手) は、本人の能動的な意思によって動くのではなく、外的な駆動装置によって受動的に運動させられる状態となる。言い換えれば、体験者の身体は、外部のディスプレイ・メディアの制御で動作され、身体もディスプレイの一部となって (身体のディスプレイ・メディア化)、脳に対して身体 (運動) イメージを逆投射するために利用される。これは、脳から見て、身体はバーチャル化されている (バーチャル身体) と見ることが可能と考えられる。そうすれば、バーチャルな身体は、他人の身体像にも置き換えられることになり、追体験が可能となると考えられる。このディスプレイ化には、身体の固有感覚刺激だけでなく、視聴覚、触覚、嗅覚などへの五感刺激を用いる。身体を運動させる筋も、運動神経の電気刺激 (FES) で非随意に駆動する。

以下の課題に取り組む。

課題1. 身体運動感覚生成の機序と適合刺激の解明

受動運動刺激すなわち身体を外的に運動させる刺激および抹消神経(FES)を与え、能動的な運動と等価または能動運動相当に感じられる際の適合刺激の特性を実験的に明らかにする。

課題2. 身体運動感覚を生成する多感覚のディスプレイ構造の解明

身体的追体験を実現するためには、受動的刺激で能動的な身体感覚を生成する必要がある。身体の駆動とその他の感覚の提示に必要なディスプレイ構造を明らかにする。

4. 研究成果

課題1. 身体運動感覚生成の機序と適合刺激の解明

A. 受動運動刺激---身体を外的に運動させる刺激および抹消神経(FES)を与え、能動的な運動と等価または能動運動相当に感じられる際の適合刺激の特性を実験的に明らかにした。

実際の平地歩行運動、および階段上昇運動について、その歩行運動の身体感覚の受容特性を9つの観点から定量的に評価した。これに対して、前庭感覚刺激を中心としたディスプレイの運動提示の受容特性を定量的に評価し、前者と比較した。その結果、ディスプレイの運動提示が十分な身体運動感覚を提示可能であることが示された。抹消神経刺激について運動感覚の表現に適合する刺激の状態の予備調査を行い、適合刺激の概略を得ることができた。

歩行感覚という多様な要因からなる感覚をとらえるために、9つの観点を設定し、それらによって歩行感覚の構成要素を記述するという仮説を設定した。これにより、歩行感覚の特徴量を記述したが、これは運動状態に対する運動感覚生成の関係の一部を表すものであり、運動感覚生成の機序に接近するものである。この運動感覚に対応する受動的運動刺激(前庭感覚刺激)を調整法により求めたところ、実際運動の感覚とほぼ一致する感覚強度が得られることが分った。更に、抹消神経刺激を加えた場合の歩行感覚への寄与に関して、適合刺激を求める予備実験を実施し、概略的な設計情報を得ることができた。

引き続いて、身体を外的に運動させる刺激として、座席運動による前庭感覚刺激提示装置を新たに開発して利用した。下肢部の運動刺激は両足を各2自由度で駆動する提示システムを用いた。上肢部の運動刺激として、両手を駆動する機構を構築して用いた。これらの運動刺激に加えて、運動に伴って皮膚刺激を生ずる気流を生成するためのディスプレイとして顔面および両手先を対象とした構成を用いた。更に、映像刺激としては、運動に伴って変動する映像をHMDで全天周提示できるように構築した。実際運動として、平

地歩行と階段昇降、および走行を取り上げて、実際運動とその表現のために合成した刺激の運動感覚の受容特性を定量的に評価した。その結果、ディスプレイの運動提示の最適化および、多感覚刺激の相互作用が身体運動感覚の提示において重要な効果を有することが示された。複数刺激の組合せ方、すなわち少数の刺激の組合せにおける自己運動感覚の変化を計測し、各刺激が与える運動感覚への効果を求めることができた。抹消神経刺激について運動感覚の表現に適合する刺激の状態の予備調査を行い、適合刺激の概略を得ることができた。

さらに受動運動刺激として、身体を外的に運動させる刺激および抹消神経刺激を与え、能動的な運動と等価または能動運動相当に感じられる際の適合刺激の特性を実験的に明らかにした。実際運動として歩行運動と走行運動を取り上げ、座席と固有感覚の相互作用、電気刺激と固有感覚の相互作用、気流と固有感覚等の相互作用、固有感覚間の相互作用等について調査し、適合刺激を求めた。歩行感覚の提示において、個々の提示刺激が与える寄与について、9つの側面からの評価を行った。下肢への電気刺激は、固有感覚と同時に提示することによって、歩行感覚を上昇させることが可能であることが分かった。上肢の運動入力については、適合刺激が実際歩行と同程度となり、他の刺激との差が明確であることが分かった。変動する気流が上肢の運動に対応することで歩行感覚が高まることなどが見いだされた。

能動感を高めるための手法として、歩行運動における上肢の振り運動を用いることと、指でボタン入力を行うことを導入した。これらは歩行の際の中心的な機能を実現する下肢の運動と独立に実施可能な能動的入力である。これらの入力に基づいて前庭感覚ディスプレイおよび下肢運動ディスプレイの運動を起動することで、歩行運動の能動感が高まることが示された。

B. 皮質刺激による修飾---受動運動刺激でも、能動運動とほぼ同じ運動野が賦活される(強度は弱い)ことが知られているが、皮質に対する刺激によって、主観的能動運動感覚が変化する効果に対して、予備的な調査を行った。皮質に対する刺激が運動感覚に与える効果について、調査と簡単な予備実験を実施したが、下肢について明確な運動感覚を与えるには十分でないこととみなされたため、末梢刺激を主として用いることとした。

課題2. 身体運動感覚を生成する多感覚のディスプレイ構造の解明

身体的追体験を実現するためには、受動的刺激で能動的な身体感覚を生成する必要がある。身体の駆動とその他の感覚の提示に必要なディスプレイ構造として、従来の設計について、機構に関するレビューを行い、下

肢部の運動提示機構を設計し実装することができた。歩行運動の特性としての両脚の交代性を反映するために、両脚の独立駆動装置を構築した。

さらに運動刺激に等価的な効果を有する映像と気流による身体運動感覚の効果を定量的に調べた。その結果、自己運動感覚を誘導する映像、気流を身体運動刺激と同時に提示する構造で効果があることがわかった。身体的体験の能動性を加えるために、部分的な能動運動を導入する構造についても検討を行った。すなわち、能動性を表現する多感覚ディスプレイの構成手法として、複数のディスプレイ（下肢固有感覚、上肢固有感覚、皮膚感覚、視覚）を組み合わせた構造において、上肢の能動振り、2ch タイミング入力の効果を検証した。その結果、上肢の振りによる歩行映像の停止再開、タイミング入力による前庭感覚ディスプレイ駆動指示、ともに能動性を高める効果が認められた。

身体運動記録システムについて、身体装着型センサと外部設置光学センサによるデータを取得し、追体験システムを構築する場合の特性を定量的に計測した。装着型は簡便な構成が可能であるが、積分型における誤差の蓄積が無視できないため、運動位相検出などに限定したほうが良い。光学式は計測カメラのレンジの制限とカメラの運動補正の必要性が検出の問題として挙げられた。そこで、光学式センサによりマーカを装着した対象者を追跡して計測する手法を検討し、基本設計を与えることができた。

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 16 件)

① Ikei Y., Amemiya T., Hirota K., Kitazaki M. (2017) A New Experience Presentation in VR2.0. In: Yamamoto S. (eds) Human Interface and the Management of Information: Supporting Learning, Decision-Making and Collaboration. HIMI 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10274. Springer, Cham. (DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-319-58524-6_12)

② Ishikawa, M., Park, Y-h., Kitazaki, M., and Itakura, S., Social information affects adults' evaluation of fairness in distributions: An ERP approach. PLoS ONE, 12(2): e0172974., 2017

③ 田崎良佑, 北崎充晃, 三浦純, 福島俊彦, 寺嶋一彦, 病院内回診支援ロボットの設計と開発. 日本ロボット学会誌. 35(3), 249-257, 2017

④ Kitazaki, M., Proprioceptive self-localization modulated by vection. Journal of Vision. 2017; 17(10):423-423, 2017.

⑤ Amemiya T., Hirota K., Ikei Y. (2016) Topographic Surface Perception Modulated by Pitch Rotation of Motion Chair. In: Yamamoto S. (eds) Human Interface and the Management of Information: Information, Design and Interaction. HIMI 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9734. Springer, Cham

⑥ Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, Yasushi Ikei, "Tactile Apparent Motion on the Torso Modulates Perceived Forward Self-Motion Velocity", IEEE Transactions on Haptics, Vol. 9, No. 4, pp. 474-482, Oct.-Dec. 2016.

⑦ 雨宮智浩, 池井 寧, 広田光一, 北崎充晃, 歩行を模擬した足底振動刺激による身体近傍空間の拡張, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vo. 21, No. 4, pp. 627-633, 2016.

[学会発表] (計 104 件)

① Hirofumi Kaneko, Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, Michiteru Kitazaki, Presentation method of functional electrical stimulation for generation of virtual walking sensation, Proc. Asiagraph 2017 in Kaohsiung, pp. 3-6, 2017.

② Keisuke Yoshida, Yasushi Ikei, Makoto Sato, Koichi Hirota, Tomohiro Amemiya, Michiteru Kitazaki, Presentation of Animation based on Real Time Motion Capture by Wearable Sensor, Proc. Asiagraph 2017 in Kaohsiung, pp. 51-52, 2017

③ Toi Fujie, Kento Tashiro, Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, Michiteru Kitazaki, Stereoscopic image capture system for remote experience, Proc. Asiagraph 2017 in Kaohsiung, pp. 49-50, 2017.

④ Yo Kamishohara, Yasushi Ikei, Makoto Sato, A study on a tactile display with tangential force and normal vibration, Proc. Asiagraph 2017 in Kaohsiung, pp. 47-48, 2017.

⑤ Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, Michiteru Kitazaki, A new

experience presentation in VR2.0, Proc. HCII 2017, 2017 (Vancouver)

⑥ Kento Tashiro, Toi Fujie, Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, and Michiteru Kitazaki. 2017. TwinCam: Omni-directional Stereoscopic Live Viewing Camera Reducing Motion Blur during Head Rotation. In Proceedings of SIGGRAPH '17 Emerging Technologies, Los Angeles, CA, USA, July 30 -August 03, 2017, 2 pages.

⑦ Hirofumi Kaneko, Ren Koide, Yasushi Ikei, Tomohiro Amemiya, Koichi Hirota, and Michiteru Kitazaki, Electrical and Kinesthetic Stimulation for Virtual Walking Sensation, Haptics Symposium 2018 Companion, pp. 75-76, San Francisco, 2018.

[図書] (計 4 件)

① 池井 寧, 五感技術の研究開発と人工知能の可能性, AROMA RESEARCH, Vol. 18, No. 2, pp. 144-148, 2017-5

② 池井 寧, 第8章 第8節 五感情報を活用した超臨場感体験システムと応用可能性, 「VR/AR技術の開発動向と最新応用事例」, 株式会社 技術情報協会, 2018-2H29-innovativeTechnologies2017

③ 北崎充晃, サイバー空間と実空間をつなぐwe-modeの可能性, 心理学評論, 59(3), 312-323, 2017

④ 北崎充晃, 感性 (pp. 59-82), 「児童心理学の進歩 2015年版, VOL. 54」, 日本児童研究所 監修, 金子書房, 2015

[その他]

①国内特許出願(特願 2016-253291) 撮影装置, 池井 寧, 田代研人(発明者), 出願日: 平成 28 年 12 月 27 日

②国際特許 PCT 出願, 平成 29. 年 2 月 13 日 (PCT/JP2017/ 5161) 撮影装置, 池井 寧, 田代研人(発明者)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池井 寧 (IKEI, Yasushi)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号: 00202870

(2) 研究分担者

広田 光一 (HIROTA, Koichi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科
・教授

研究者番号: 80273332

(3) 研究分担者

北崎 充晃 (KITAZAKI, Michiteru)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号: 90292739