

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00278

研究課題名（和文）クロスモーダル刺激による微触感錯覚のVRインタフェース応用に関する研究

研究課題名（英文）Application of cross-modal weak-haptic illusion to VR interface

研究代表者

盛川 浩志（Morikawa, Hiroyuki）

早稲田大学・理工学術院・客員主任研究員（研究院客員准教授）

研究者番号：90386673

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：クロスモーダルな錯覚を利用した感覚呈示方の利用は、今後VRコンテンツを構築する技術として重要な要因となりえる。本研究では、VRにおけるメニュー操作といった一般的なインタフェースに対するクロスモーダル刺激を利用した触錯覚の付加が与える影響について評価を行う。具体的なVRやARコンテンツの構築を通して、これらシステムのUIに関する検討を行った。その結果、ハンドジェスチャを用いるUIの制御についての課題を抽出することができた。さらに、VRでの手指身体部位の表現として、仮想物体との物理的なインタラクションを反映した視覚フィードバック表現を行う制御方法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、VR・ARのUI操作における身体表現に、クロスモーダル表現を応用して触錯覚を誘発し、その操作感や作業の達成感を向上させる手法の開発を目指した。具体的なVR・ARコンテンツによるUI制御の検討によって、身体動作による操作UIの適用性については今後も検討が必要であることが分かった。さらにクロスモーダルな身体表現のフィードバックによる、触感呈示には一定の効果が期待されたが、より詳細な評価検討が必要であった。

VR・ARにおけるクロスモーダル錯覚による感覚呈示は、今後これらのコンテンツを構築する技術として重要な要因となると考えられ、本研究の知見は基礎的な検討として有用であると位置づけられる。

研究成果の概要（英文）：The cross-modal sensory presentation is an important factor in the future technology for constructing VR content. In this study, we evaluate the effect for cross-modal haptic illusion on the user interface in VR.

We considered the UI of these systems through the construction of concrete VR and AR contents. As a result, the problem of UI using hand gestures was clarified in these systems.

In addition, we developed a control method to represent the hand body parts in VR by using visual feedback reflecting the physical interaction between the hand and the virtual object.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：クロスモーダル VR AR インタフェース

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、高精細な映像を呈示可能なヘッドマウントディスプレイ（HMD）が安価で入手可能となったことで、バーチャルリアリティ（VR）技術の一般普及に期待が高まっている。市販のVRシステムでは、入力インタフェースとして3次元位置トラッキング機能を持つコントローラデバイスやジェスチャ認識デバイスが一般的に利用されはじめているものの、触覚を始めとする感覚情報呈示については、未だ研究開発段階のものが多い。

こうしたVRにおける感覚呈示に対して、クロスモーダルな感覚刺激の統合によって知覚される錯覚現象を応用する方法に対して注目が集まっている。研究代表者らもこれまで、光学シースルーヘッドマウントディスプレイ（HMD）を用いて、仮想物体と身体との接触によって微弱な触覚が発生する現象を発見し、「微触感錯覚」と称してその特性について報告している。

クロスモーダルな錯覚を利用した感覚呈示方の利用は今後VRコンテンツを構築する技術として、重要な要因となりえる。そこで、こうした錯覚を利用したインタフェースとその効果についての評価を通して、VRコンテンツ構築に有用となる知見が得られると期待できる。

2. 研究の目的

これまで、この微触感錯覚の知覚特性についての検討を行ってきたが、「錯覚を感じさせること自体」が目的となってしまう、インタフェースに応用するには汎用性を欠くという課題があった。VRコンテンツにおけるインタフェースのデザインに応用するには、微触感錯覚を付与した際の効果について、実験的に実証されたエビデンスベースの知見があることが望まれる。

そこで本研究では、VRにおけるメニュー操作といった一般的なインタフェースに対するクロスモーダル刺激を利用した触覚の付加がインタフェースの操作性に与える影響について、タスクパフォーマンスなどの定量的な指標や、ストレスやメンタルワークロードといった主観的な指標、及び好ましさや快適性といった認知面についての影響も含めて評価を行うことで、クロスモーダル錯覚をインタフェースに適用するための指針となる知見を収集する。

3. 研究の方法

本研究で対象とするVRコンテンツの応用場面としては、作業手順のトレーニングや双方向のコミュニケーション、共同作業といったものを想定している。これらのテスト環境において、インタフェース構築の課題となる点を抽出し、それぞれのコンテンツに対してジェスチャ入力インタフェースを実装する手順で、実験環境を構築した。

(1)平成29年の研究では、実験システムの基本となるフレームワークの構築を主とし、没入型HMD、光学シースルー型HMDといった視覚刺激呈示系と、身体動作計測によるジェスチャ入力インタフェースや3次元位置センサなどの操作入力系、仮想空間でのインタラクションや視覚表現を制御するコンテンツ制御系の開発・実装を行うことを目標とした。

(2)平成30年度の研究では、クロスモーダル刺激の呈示に必要な身体表現および身体を用いたインタフェースの実装について取り組んだ。具体的には、モーションキャプチャシステムの実装とHMDを中心とする映像呈示系を連携して制御する実験系の構築を目標とした。さらに実験系の構築として、VRだけでなくARによる作業環境の構築も行った。これは、AR環境ではジェスチャ操作がより重要となり、AR用HMDにおいては標準でジェスチャ入力システムが用意されていることも、システム構築に有用であったことが理由である。

(3)令和1年度の研究では、上記VR、ARコンテンツに対してクロスモーダル錯覚による触覚を付加したインタフェースの実装とその効果についての評価を目標とした。その際、ハンドトラッキングデバイスからのデータ取得、視覚フィードバックの制御などのシステムが必要となるため、はじめにクロスモーダル錯覚のための視覚フィードバックを行うシステムを構築する。そして、簡単なUIでの評価から、順次高度なコンテンツへの応用へと進めていく。

基本的なUIへの微触感錯覚による触覚呈示の評価を行う際の、対象とするUIとしてハンドジェスチャでのスイッチ操作を選択した。これは、従来のハンドトラッキングによるVRの物体操作ならびにUI操作では触覚の呈示は難しく、また振動子などの外部装置によって振動覚を呈示するといった代替の触覚呈示が行われることが多いためである。こうした場面において、視覚的フィードバックによる微触感錯覚の提示によって、操作感などのユーザビリティを向上できる可能性が期待できる。

手指動作を取得するハンドトラッキングデバイスも、多くの製品が登場してきている。これまでのクロスモーダル刺激の誘発において、これらハンドトラッキングデバイスを使用した操作入力系を構築したことがあったが、その際に利用した赤外線カメラ方式の手指動作入力デバイスでは、十分な精度での身体動作の取得や反映が困難であった。そこで、センサ装着型の手指動作入力デバイスを導入し、高精度でのジェスチャ入力を可能とするシステムの構築を行った。

このシステムによって、実際の身体による仮想インタフェースを操作することを可能とすると同時に、実際の身体と仮想の身体との空間的なずれを意図的に表現することで、仮想物体操作の抵抗感や反力感を錯覚によって生起させる刺激の構築を目指した。

4. 研究成果

(1) 平成 29 年度の実験環境構築の検討では、光学シースルー型 HMD を用いた映像呈示において、光源や移動体の存在といった外界環境が映像制御の安定性に影響を与えることが示唆された。そこで没入型 HMD として、PC ベースの高臨場感型 HMD と、スマートフォンを利用した簡易型 HMD の統合利用を可能とする映像呈示系の構築を行った。これらの HMD は基本的に独立した VR 空間の座標系を基準とした映像呈示を行うため、それぞれのシステムの座標系を統合する必要があった。

異なる HMD システムの VR 空間座標系統合のために、それぞれの位置検出システムである AR マーカーおよび赤外線式トラッカーを相互に利用する位置キャリブレーション方法を開発した。具体的には、既知の位置関係をもつ AR マーカーおよび赤外線式トラッカーの位置座標をそれぞれ複数個所で測定し、その対応関係のずれを最小とするよう最小二乗法を用いて補正を行った。本手法による位置キャリブレーションの結果、それぞれの位置検出システムの位置合わせを手動で行った時の誤差が約 30 mm ほどであったのに対し、約 7 mm に低減することができた。二つの HMD システムによって同一の 3D モデルを同じ座標系に呈示し、それぞれのシステム上でモデルの一点を指示するタスクを課し、その使用感について主観評価を行った結果、有意に評価が向上した。今後の検討として、具体的なアプリケーションを想定したコンテンツでの評価や、より実際の身体動作に近いジェスチャ入力の実装などが挙げられた。

(2) 平成 30 年度の研究では、AR 環境で作業課題を行うテストコンテンツを構築し、そのインタフェースの課題点について抽出を行った(図 1)。AR ではジェスチャインタフェースが操作 UI としてより重要な位置を占めると考えられ、クロスモーダル錯覚の適用方法について有用な知見が得られると期待したためである。さらに並行して、クロスモーダル刺激の呈示に必要な身体表現および身体を用いたインタフェースの実装について取り組んだ。具体的には、ハンドトラッキングシステムの実装と HMD を中心とする映像呈示系を連携して制御する実験系の構築を目標とした。

AR 作業環境における操作 UI の課題抽出については、ジェスチャによる操作方法だけでなく、頭部の動きや UI の表示位置といった要因が重要となり、むしろ現実空間の物体を操作するようなタスクにおいては、ジェスチャによる UI 操作を行わせることが困難であり、その設計には注意を要することが分かった。AR 環境においては、自身の身体部位も視界に入っており、仮想物体とのインタラクション時に、身体映像に変化を付加する方法でもクロスモーダル錯覚の誘発もより工夫が必要となることが示唆された。

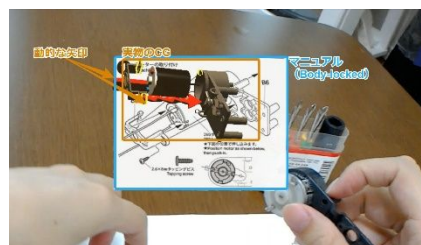


図 1 AR コンテンツによる UI 検討

ハンドトラッキングデバイスを用いたクロスモーダル錯覚の呈示を実現するシステムについて、技術的に応用の難易度が高いことが判明した。そのため次年度の活動として、システム開発に多くの時間を費やして取り組むこととした。一方で、近年のハードウェア、ソフトウェアの発展によって、これら技術的な課題が解決できた面も多大にあり、クロスモーダル刺激の表現について自由度を大きく向上できたといえる。

(3) 令和 1 年度の研究では、昨年に引き続きハンドトラッキングデバイスによるクロスモーダル呈示システムの構築を目指した。ハンドトラッキングデバイスによる手指姿勢のデータから、VR 空間内での物理制御による身体表現を行うシステムを想定している。

視覚表現として、物理演算を用いた身体モデル制御が必要であったことから、単純なモデルによる制御方法の検討を行った(図 2)。具体的には、トグルスイッチの形態を模したインタフェースを対象にして、その操作時の反力を指の変形によって表現することでクロスモーダルな触感を与えることで、クリック感、操作の達成感などを向上させることを意図した。

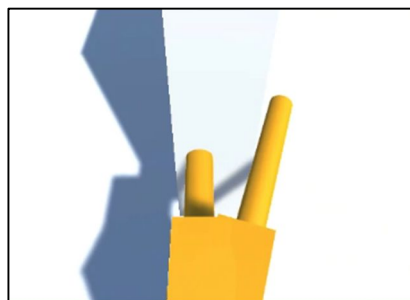


図 2 試作した手指の反力表現の制御

開発したシステムでは、指を模した円柱状物体で期待する視覚フィードバックが表現できることを確認できた。今後の課題としては、把持動作における指モデルのめり込みや貫通といった視覚の矛盾を解消し、クロスモーダルの表現による力覚表現も目指す。

開発については、新型コロナウイルスに対する非常事態宣言もあり、デバイスを利用可能な開発環境が利用不可となり、残念ながら大きな遅れが生じてしまった。そのため、評価実験などについては今後も引き続き行っていき、その成果を公開できるようにする予定である。開発段階における視覚フィードバック表現からも、クロスモーダル錯覚によって触感覚が生起する可能性が示唆されており、基礎的な評価及び前述の VR・AR コンテンツ実装時の効果についても明らかにしていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 島村圭, 盛川浩志, 小宮山撰
2. 発表標題 異なる位置検出システムの HMD 間における空間共有手法
3. 学会等名 2018年電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 陳 均欣, 盛川浩志, 河合隆史
2. 発表標題 ミックストリアリティを用いた組み立て支援インタフェースの検討
3. 学会等名 日本人間工学会関東支部第49回大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考