

令和元年6月11日現在

機関番号：32103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00289

研究課題名(和文) 動的3D表示物との自然な相互作用を可能にする視覚的知覚情報の推定に関する研究

研究課題名(英文) Technique of Estimating Information on Visual Perception to Enable Natural Interaction With Moving Virtual Objects Presented With 3-D Displays

研究代表者

鈴木 雅洋 (Suzuki, Masahiro)

常磐大学・人間科学部・助教

研究者番号：30397046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：3Dディスプレイを用いた複合現実でユーザーが手などの自らの身体を使って3D表示物と直接相互作用をおこなう際に、現実の物体との相互作用と同様に自然な相互作用を可能とする技術を研究して、次の成果を得た。(a) 身体運動計測システムを構築して、構築したシステムによる身体運動の計測法を確立した。(b) 計測した身体運動を定式化する手法を明らかにした。(c) 定式化した身体運動を利用して、ユーザーの知覚情報や未来時刻の身体運動を推定する技術を確立して、その高精度化、高速化を実現した。(d) 3Dディスプレイを用いた複合現実システムのアプリケーションにより評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3Dディスプレイを用いた複合現実で奥行き知覚の個人差を排除して実空間で実物を扱う場合と同じような自然なユーザーインターフェースを提供できる点で、その意義は大きい。また、未来時刻の運動の予測を可能とすることから、3Dディスプレイを用いた複合現実斬新なアイデアを導入してこれらの適用分野を大幅に拡大するという点で、大きな意義がある。本研究は身体運動から心理的知覚量を推定するという点で非常に独創的であり、かつこれを応用して3Dディスプレイを用いた複合現実を実用的技術とする上でのブレイクスルーを提供するという点で、学術的意義は極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：We studied a new technique in which users are able to interact with moving virtual objects as naturally as interact with real objects when they interact with the virtual objects directly by their bodies such as hands. The results were as follows. (1) We established a technique in which the system can get information on visually perception of moving virtual objects by formularization of users' body movements as a function of time. (2) We confirmed that we were able to achieve smooth and natural interaction between users and moving virtual objects by using the technique that we established.

研究分野：人間情報学

キーワード：ヒューマンインターフェース ヒューマンコンピュータインタラクション 共同作業環境 バーチャルリアリティ 拡張現実 臨場感コミュニケーション ユーザビリティ 複合現実

## 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、3Dディスプレイが普及してきており、様々な応用技術が国内外で数多く研究されている。それらの中でも、画面から飛び出して見える3D表示物に対してユーザーが直接自分の身体を使って相互作用することを可能とする技術は、今後多くの分野で魅力的なアプリケーションが創出されると期待される。例えば、オンラインショッピングのアプリケーションでは、3D表示された商品に実際の商品のように触れることができ、スポーツやゲームのアプリケーションでは、3D表示されたボールを実物のボールのように打つことができる。

身体と3D表示物が相互作用するアプリケーションでは、円滑で自然な相互作用を実現するために、ユーザーが自分の目で知覚する3D表示物の位置と、システムが把握する3D表示物の位置とが一致することが大前提となる(図1参照)。これは、当然のことであるが、3D表示物との相互作用では、従来、この両者を一致させる方法はなかった。つまり、従来技術では、システムが把握する位置は、両眼視差から理論的に計算される位置であり、この位置はユーザーが知覚する位置と異なるのが普通である。ユーザーは、自らが知覚している位置で相互作用をしようとするが、システムは理論的に求めた位置に手が到達したときに相互作用させるので、この結果、円滑で自然な相互作用が実現できないことになる。

筆者らは、平成24～26年度・科研費・基盤Cで、上記の要求を満たすために、

相互作用しようとするユーザーの動作から3D表示物が見えている位置を推定して、推定した位置にユーザーの身体が位置したときに相互作用を実行する新技术を提案して(図1参照)静止した3D表示物との相互作用でその実現可能性や有用性を実証してきた。提案技術では、動作時間の関数としての動作速度にガウス関数のカーブフィッティングをおこなって、未来時刻の身体位置を推定する。3D表示物体が見えている位置は、触れる場合は動作速度が0になる身体位置に、打つ場合は動作速度がピークになる身体位置になるので、これらの位置に身体が到達する前にそれらの位置を推定して、到達したら相互作用を実行する。これまでの研究の結果、提案技術によって上記の要求を正確、かつ容易に満たすことができるようになり、効率的で自然な相互作用ができるようになった。

### 2. 研究の目的

本研究では、平成24～26年度・科研費・基盤Cの成果を踏まえて、運動する3D表示物との相互作用(例えば、飛んでくる3D表示されたボールを打ち返す)にまで上記の提案技術の適用範囲を拡大することを目的とする。スポーツやゲームのアプリケーションでは、このような適用範囲の拡大が不可欠である。3D表示物が静止していれば、それが見えている位置を単に推定できれば上記の要求を満たすことができるが、3D表示物が運動しているとそれが未来時刻に見えている位置を推定しなければ上記の要求を満たすことができないので、これまでに筆者らが明らかにしてきた推定方法を単純に適用することはできない。そこで、運動する3D表示物が未来時刻に見えている位置をユーザーの動作から推定する方法を新たに明らかにして、運動する3D表示物との相互作用にも上記の提案技術を適用できるようにする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 身体運動計測システム構築、および計測法確立

これまでは静止した3D表示物との相互作用を検討していたので、最大でも20インチ強の3Dディスプレイを用いてせまい空間に3D映像を呈示してユーザーの手元の空間のみで動作を計測したが、本研究では運動する3D表示物との相互作用を検討するので、広い空間に3D映像を呈示して広い空間範囲でユーザーの動作を計測する必要があり、これに対応した身体運動計測システムを構築して計測法を確立する。まずは身体に計測のためのデバイスを装着せずに計測できる方法として、光学式モーションキャプチャーを用いる方法を検討する。この方法では、身体の運動を高速度カメラで撮像して運動を計測する。次に没入型3Dディスプレイを用いる場合など運動を計測するための十分な照明光が確保できない場合に対応するために、サーモグラフィを用いて身体の位置を検出して運動を計測する方法を検討する。本研究での要求条件を満たすことを確認して、本研究用に特化した計測システムとして構築する。

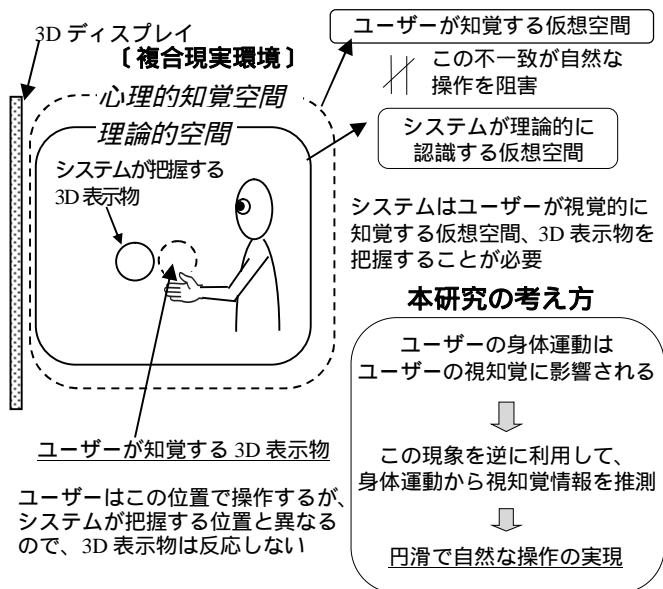


図1 学術的背景と本研究の基本コンセプト

## (2) 運動の定式化

これまででは静止した3D表示物に手で触れる動作や静止した3D表示物を手で打つ動作の運動特性を調べて、速度がベル型の時間関数で記述できてガウス関数で近似できることを示したが、本研究では運動する3D表示物に手で触れる動作や運動する3D表示物を手で打つ動作の動作特性を調べて、速度の時間関数を明らかにして近似式を明らかにする。ガウス関数やローレンツ関数など単一の関数で十分な近似精度が得られない場合は、補正項の追加による高精度化も含めて運動を正確に定式化できる最適な関数を明らかにする。

## (3) 知覚情報、および未来時刻の運動の推定とその高精度化・高速化

上記(2)で明らかにした最適関数へのカーブフィッティングによって運動特性を記述する。具体的には、運動開始から運動の途中までのデータに対して最小二乗法を用いた最適関数へのカーブフィッティングをおこない最もフィットするパラメータを決定して、運動終了までの全期間の運動状態を求めて未来時間の運動の予測を試みる。

なお、上記(2)の検討で運動する3D表示物とユーザーの身体とが接触するときの特性が明らかとなるので、最適フィットのパラメータを決定した最適関数を用いてそのような特性になる未来時刻を特定すれば、運動する3D表示物とユーザーの身体とが未来時刻に接触して見える位置を推定できるはずである。実験を実施して以上の可能性を検証する。また、3D表示物とユーザーの身体とが実際に接触して見える十分に前に推定できることが望ましいので、運動開始からデータ収集にかかる時間と推定精度との関係を調べて、データ収集に最低必要な時間を明らかにする。本技術を実用的なものにするためには、上記のカーブフィッティングを数百ms程度で実行する必要があるため、高速アルゴリズムを用いたカーブフィッティングプログラムを作成する。

## (4) アプリケーションによる評価

### 3Dディスプレイを用いた複合現実システム

本研究では、デスクトップタイプの大型3Dディスプレイに加えて、プロジェクションタイプの超大型3Dディスプレイや、テレマージョンなどの環境への適用を想定した没入型3Dディスプレイ、光学シースルー型ヘッドマウントディスプレイを用いた複合現実環境での3D表示物との相互作用をも検討の対象として、これらの表示系で構成されたシステムに適した評価システムを構築する。これらのシステムを用いて、運動する3D表示物に手で触れる、運動する3D表示物を手で打つなどの素手で相互作用する実験や、運動する3D表示物に棒で触れる、運動する3D表示物をラケットで打つなどの実物の道具を使って相互作用する実験を実施して、これらの相互作用をおこなう上で上記(3)で明らかにした方法を用いて推定したユーザーの視覚的知覚位置に基づいて3D表示物にリアクションを起こさせることによって、作業効率が大幅に改善することを確認する。

### 適用領域の拡張(複合現実感以外への応用)

本技術の適用領域を拡張する目的で、3D表示物との相互作用アプリケーションとは別のアプリケーションを検討する。例えば、視覚系が危険な状況を知覚したときの身体の運動(例えば、ドライバーが急ブレーキをかける動作)の特徴を抽出して、危険回避操作などを身体動作から予知して(例えば、ドライバーの動作の意図が急ブレーキか否かを判定する)、ユーザーの身体能力以上の速さで操作した場合と等価な処理を実行するシステムについて、実験システムを構築して、その実現性を確認する。

## (5) リーチング動作とヒッティング動作との弁別

対象に触れるためのリーチング動作と対象を打つためのヒッティング動作との両方に本技術を適用するためには、ユーザーの身体運動の極めて初期の段階で、ユーザーがおこなおうとしている身体運動がリーチング運動であるのか、ヒッティング運動であるのかを弁別しなくてはならない。そこで、身体運動の標準偏差により弁別する手法とニューラルネットワークによる機械学習により弁別する手法とを検討する。

## (6) 技術・知識の体系化

心理的な知覚量が身体の運動に影響を及ぼす場合について、心理的な知覚量が身体運動にフィードバックされる過程を考慮した心理・生理モデルの構築を試み、本技術の全体像を示して体系化を試みる。

## 4. 研究成果

### (1) 身体運動計測システム構築、および計測法確立

上記3(1)に記載のとおり、広い空間範囲でユーザーの動作を計測するシステム、および計測法として、光学式モーションキャプチャーを用いた方法を検討した。また、運動を計測するための十分な照明光が確保できない場合に対応したシステム、および計測法として、サーモグラフィを用いた方法を検討した。これらの方法が本研究での要求条件を満たすことを確認して、本研究に特化した計測システムとして構築した。

## (2) 運動の定式化

上記3(2)に記載のとおり、運動する3D表示物に手で触れる動作や運動する3D表示物を手で打つ動作の動作特性を調べて、速度の時間関数を明らかにして近似式を明らかにした。運動を性格に定式化できる最適な関数を明らかにして、高速アルゴリズムを用いたカーブフィッティングプログラムを作成した。

## (3) 知覚情報、および未来時刻の運動の推定とその高精度化・高速化

上記(2)で明らかにした最適関数へのカーブフィッティングによって運動特性を記述した。具体的には、運動開始から運動途中までのデータに対して最小二乗法を用いた最適関数へのカーブフィッティングをおこない最もフィットするパラメータを決定して、運動終了までの全期間の運動状態を求めて未来時刻の運動を予測した。なお、上記(2)の検討で運動する3D表示物とユーザーの身体とが接触するときの特性が明らかとなって、最適フィットのパラメータを決定した最適関数を用いてそのような特性になる未来時刻を特定して、運動する3D表示物とユーザーの身体とが未来時刻に接触して見える位置を推定できた。また、運動開始からデータ収集にかかる時間と推定精度との関係を調べて、データ収集に最低必要な時間を明らかにした。

## (4) アプリケーションによる評価

### 3Dディスプレイを用いた複合現実システム

上記3(4)に記載のとおり、デスクトップタイプの大型3Dディスプレイや、プロジェクションタイプの超大型3Dディスプレイ、没入型3Dディスプレイ、光学シースルー型ヘッドマウントディスプレイで構成されたシステムに適した評価システムを構築して、運動する3D表示物と素手で相互作用する実験や、実物の道具を使って相互作用する実験を実施して、これらの相互作用をおこなう上で上記(3)で明らかにした方法を用いて推定したユーザーの視覚的知覚位置に基づいて3D表示物にリアクションを起こさせることによって、作業効率が大幅に改善することを確認した。

### 適用領域の拡張(複合現実感以外への応用)

上記3(4)に記載のとおり、視覚系が危険な状況を知覚したときの身体の運動(ドライバーが急ブレーキをかける動作)の特徴を抽出して、危険回避操作などを身体動作から予知して(ドライバーの動作の意図が急ブレーキか否かを判定する)ユーザーの身体能力以上の速さで操作した場合と等価な処理を実行するシステムについて、その実現性を確認した。

## (5) リーチング動作とヒッティング動作との弁別

上記3(5)に記載のとおり、ユーザーの身体運動の極めて初期の段階でユーザーがおこなおうとしている身体運動がリーチング運動であるのかヒッティング運動であるのかを弁別する手法として、身体運動の標準偏差により弁別する手法とニューラルネットワークによる機械学習により弁別する手法とを検討した。その結果、前者では弁別できるといえたが、後者では弁別できるとはいえなかった。

## (6) 技術・知識の体系化

上記3(6)に記載のとおり、心理的な知覚量が身体の運動に影響を及ぼす場合について、心理的な知覚量が身体運動にフィードバックされる過程を考慮した心理・生理モデルを構築して、本技術の全体像を示して体系化した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

1. 小澤 大海, 海野 浩, 鈴木 雅洋, 上平 員丈, “視知覚位置獲得技術のためのユーザー動作弁別,” 映像情報メディア学会技術報告, 査読なし, 42巻, 7号, 2018年, 1~4頁

2. 小澤 大海, 海野 浩, 鈴木 雅洋, 上平 員丈, “視知覚位置獲得技術のためのリーチング動作・ヒッティング動作弁別,” 電子情報通信学会技術研究報告, 査読なし, 117巻, 30号, 2017年, 169~172頁

3. Masahiro Suzuki, Kazutake Uehira, “New technique of obtaining visually perceived positions of 3-D images using movements of users’ bodies,” *Displays*, 査読あり, 42巻, 2016年, 19~24頁

4. Masahiro Suzuki, Hiroshi Unno, Piyarat Silapasuphakornwong, Kazutake Uehira, “Visuomotor coordination in straight hitting movements for oncoming objects in front of observers,” *ISASE 2016: The 2nd International Symposium on Affective Science and Engineering, March 21 (Mon.) – 22 (Tue.), 2016, Kogakuin University, Tokyo, Japan*, 査読あり, 2016年, B4-3-1~B4-3-4頁

〔学会発表〕(計4件)

1. Masahiro Suzuki, Hiroumi Ozawa, Hiroshi Unno, Kazutake Uehira, “Discrimination between reaching movements and hitting movements for technique of obtaining visually perceived positions,” International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations (ICVARS 2018), 2018年2月24～26日, Brisbane, Australia

2. Masahiro Suzuki, “Technique of obtaining visually perceived positions using movements of users’ bodies,” The Third Global Summit and Expo on Multimedia & Artificial Intelligence, 2017年7月20～21日, Lisbon, Portugal

3. Masahiro Suzuki, Hiroshi Unno, Piyarat Silapasuphakornwong, Kazutake Uehira, “Visuomotor coordination in straight hitting movements for static or moving objects in front of observers,” International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research (KEER 2016), 2016年8月31日～9月2日, Leeds, UK

4. 鈴木 雅洋, 海野 浩, ピヤラット シラパスパコンウォン, 上平 員丈, “運動対象に対する打動作の視覚運動協応,” 電子情報通信学会 2016年総合大会, 2016年3月15～18日, 福岡県福岡市

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年:  
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年:  
国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 上平 員丈

ローマ字氏名: Kazutake Uehira

所属研究機関名: 神奈川工科大学

部局名: 情報学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 50339892

(2) 研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

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。