

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500155

研究課題名(和文) 仮想対象と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) Estimation of Visually Perceptual Information for Natural Interaction With Virtual Objects

研究代表者

鈴木 雅洋 (Suzuki, Masahiro)

神奈川工科大学・ヒューマンメディア研究センター・客員研究員

研究者番号：30397046

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：複合現実環境でユーザーが手などの自らの身体を用いて仮想対象と直接相互作用を行う際、実対象と相互作用を行う場合と同じように仮想対象とも自然な相互作用を可能にする技術を研究して、次の成果を上げた。(1)ユーザーの身体運動を時間で定式化することでシステム側がユーザーの仮想対象に対する視覚情報を取得する技術を確立した。(2)上記の技術を用いることで仮想対象との円滑で自然な相互作用が実現できることを実証した。(3)運動の定式化によって未来時刻の運動予測を可能として、これを応用して危険回避などの緊急動作を支援できるシステムの可能性を示して、本技術の発展性、拡張性を示した。

研究成果の概要(英文)：We studied a new technique in which users are able to interact with virtual objects as naturally as to interact with real objects when they interact with 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 visually perceptual information of virtual objects by formularization of users' body movements as a function of time. (2) We demonstrated that we were able to achieve smooth and natural interaction between users and virtual objects by using the technique that we established. (3) We examined other applications of our technique, i.e., a system that can support users' behavior for avoiding from danger, and demonstrated the feasibility of such applications.

研究分野：情報学

 キーワード：ヒューマンインタフェース マルチモーダルインタフェース ヒューマンコンピュータインタラクション  
バーチャルリアリティ 拡張現実 複合現実感 臨場感コミュニケーション ユーザビリティ

### 1. 研究開始当初の背景

複合現実環境は、現実空間と仮想空間とが同一空間に混在する新しいメディアの表現技術である。今後、多くの有望な応用が登場すると期待される。複合現実環境の特徴の一つに、人間が仮想対象と相互作用できる点がある。特に、実対象を操作する場合と同様に、ユーザーが手など自分の身体で直接仮想対象に操作を加えることができる自然なインターフェースの実現が望まれている。しかし、自然な操作を実現する上で解決すべき課題は多い。なかでも、ユーザーの仮想対象に対する視覚的な知覚情報、特に 3D 表示された仮想対象の奥行き位置情報を把握する技術の開発は不可欠である。従来のシステムでは、仮想対象の奥行き位置は、表示画像の視差から計算して求めているが、知覚心理学によれば、3D 表示された仮想対象の視覚的知覚位置は、心理量であるために個人差があり、画像の視差から求める値とは一致せず、これが自然な操作を阻む主要因の一つとなっている。すなわち、ユーザーが知覚する対象物の奥行き位置をシステムが正確に把握できないと、例えば、ユーザーが自分の手が対象物に触れたと思っても対象物が反応を示さない。また、触力覚を用いる場合は、ユーザーが対象物に触れたと思う位置で触力覚を提示できないため、自然な操作が困難となる。特に、精密作業が要求される応用ではこの問題は致命的となる。

本研究の代表者らは、これまで、3D ディスプレイとその奥行き知覚について研究して、複合現実環境において、運動中の観察者に新しい立体知覚を生じさせる技術や、これを次世代カーナビゲーションシステムへ応用する技術など、視覚の奥行き知覚に関する新技術を創出してきた。そして、これらの研究を通して、複合現実環境における上記課題の重要性を認識するとともに、研究を通して得た視覚の奥行き知覚に関する知見から、仮想対象と身体が相互作用する際の身体の運動は、仮想対象についての視覚的知覚情報に依存すると考えられるので、逆に身体の運動を解析すれば視覚的知覚情報が推定できるのではないかと着想した。本研究では、この着想に基づき、ユーザーの手が仮想対象と相互作用する際に、手の運動を仮想対象の視覚的知覚位置をパラメータとして含む時間の関数で定式化して、これより視覚的知覚位置の推定を試みる。そして、この推定した知覚位置を用いることにより、仮想対象に対する円滑で自然な相互作用の実現を図る。

さらに、運動を時間の関数で定式化するアイデアを発展させて、運動開始から所定時間以内のデータを用いて関数を決定できれば、それ以降の未来時刻における運動の予測が可能になると着想した。そして、この未来時刻の運動を予測するという着想に基づき、特定の運動については運動の初期段階でユーザーが意図する運動の最終状態を推定でき

る可能性があり、その場合、身体能力を超えた速度で相互作用の結果として生じる処理を前もって実行できると考えた。例えば危険回避など人間が自分の身体により行う緊急動作を支援して、これを短時間で実行することにより危険を回避できるシステムの実現性があると考えた。

### 2. 研究の目的

本研究期間においては、ユーザーの手が仮想対象に向かって運動して、仮想対象に達した後、仮想対象に操作を加えるという動作について、下記を明らかにする。

(1) 仮想対象に対する奥行き知覚と手の運動特性の関係を明らかにする。予備検討では、対象物に単に触れる動作では、手の速度と時間の関係がガウス関数で近似できることを示したが、同型の類似の関数についても調べて、動作の種類ごとに最適な関数を明らかにする。

(2) 関数近似をリアルタイムで実行できるアルゴリズムを明らかにする。仮想対象の知覚位置の推定は、少なくとも手が仮想対象に達する前に実行される必要がある。手が仮想対象に向かって動き始めてからわずかな時間の運動データから、手が仮想対象に達するまでの全体の運動を正確に記述できる関数を高速に求めるアルゴリズムを明らかにする。

(3) 上記方法で推定した対象物の奥行き知覚位置を用いることにより、対象物を把持、移動するなどの対象物への操作が従来法に比べて円滑で自然にできることを実証する。

(4) 複数の 3D 表示方式について効果を調べて、表示方式ごとに本技術の効果を明らかにする。

(5) 運動特性を時間の関数で記述する本技術の特徴を生かした他の応用の可能性も調べて、動作の意図を動作終了前にシステムが理解して、身体能力を超えた速度で相互作用の結果として生じる処理を前もって実行する緊急動作支援システムの実現性を示す。

### 3. 研究の方法

(1) 身体運動計測システムの構築、及び身体運動計測法の確立

予備検討では、液晶シャッター眼鏡と CRT ディスプレイとを用いた 3D 表示システムを用いて仮想対象を表示して、これに触れようとする手の運動を磁気センサーで計測した。本研究では、様々な複合現実環境に対応するために、磁気センサーを用いる方式の他にも、方式が異なる二つの計測法を用意する。第一は、手に計測用デバイスを装着せずに計測可能な方法として、光学式モーションキャプチャーシステムを用いる方法である。この方法では、手の運動を高速度カメラで撮像して運動を計測する。第二の方法として、没入型 3D ディスプレイを用いる環境などで、運動計測用に十分な照明光が利用できない場合に備

えて、サーモグラフィーにより手の位置を検出することにより運動を計測する方法を検討する。以上の方法について、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。

## (2) 運動の定式化

予備検討では、手が仮想対象に触れに行く動作に絞って、そ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、ロジスティック関数やガウス関数で近似できることを示した。本研究期間においても引き続き運動特性を研究して、ローレンツ関数など他のベル型の関数による近似性についても評価するとともに、単一関数で十分な推定精度が得られない場合は、補正項など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関数を明らかにしていく。

さらに、仮想対象との相互作用を単に触れる操作だけではなくて、把持して運ぶ、打つなどの操作や、器具を用いて仮想対象を挟んだり切断したりする精密さが要求される操作など、様々な操作に対して運動を正確に定式化できる最適関数を明らかにする。

## (3) 知覚情報、及び未来時刻における運動の推定と、その高精度化・高速化

得られた最適関数を用いて運動特性を記述する。ここでは、運動開始から運動の途中までのデータを用いて、最小二乗法などにより関数のパラメータを求めて関数を決定する。そして、運動の途中において、運動終了までの全期間の運動状態を求めて、未来時刻における運動の予測を試みる。また、このパラメータには、仮想対象についての視覚的知覚情報が含まれるので、手が仮想対象に達する前に仮想対象の位置も推定できるはずである。以上の可能性を実験により検証する。また、手が仮想対象に達する十分前に仮想対象の位置が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ける時間と推定精度の関係性を調べて、データ収集に最低必要な時間を明らかにする。

## (4) アプリケーションによる評価

### ① 複合現実感システム

本研究では、予備検討で使用した液晶シャッター眼鏡と CRT ディスプレイとによる 3D 表示システムに加えて、投影型大画面 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（例えば、CAVE）、及びシースルー型ヘッドマウントディスプレイにより生成した複合現実環境での仮想対象との相互作用も検討対象として、これらの表示系で構成された複合現実感システムに適した評価システムを構築する。具体的な操作として、仮想対象を押ししたり把持したりして他の場所に移動する操作や、仮想対象を打つ、叩く操作など、ユーザーが自らの手で直接仮想対象に操作

を行う場合と、ハサミやピンセットなどの小型の現実の器具を用いて仮想対象を切断したり摘んだりする操作を取り上げて、これらの操作を実行する上で、システムが仮想対象に対するユーザーの視覚的知覚位置に基づいて、仮想対象に操作のリアクションを実行させることにより作業効率が大幅に改善されること、特に精密作業では本技術が不可欠であることを実証する。

上記を実証するための実験システムは、身体運動計測部、関数パラメータ決定演算部、相互作用演算部、仮想空間表示部から構成する。身体運動計測部と関数パラメータ決定演算部は、上記 (2) (3) で確立した技術を実装する。相互作用演算部では、パラメータ演算部で算出された仮想対象の視覚的知覚に基づき、手の位置と仮想対象の位置関係から両者の力学的な相互作用をリアルタイムにシミュレーションする。仮想空間表示部では、相互作用演算部でのシミュレーション結果に基づいて仮想対象の 3D 映像を表示する。

以上の実験システムを用いて、上記のタスクを被験者に課して本技術の評価を実施する。

### ② 適用領域の拡張：複合現実感以外への応用

本研究期間の最後に、本技術の適用領域を拡張する目的で、複合現実感以外のアプリケーションを検討する。ここでは、視覚系が危険な状況を知覚したときの身体の運動の特徴を抽出して、危険回避操作などを身体動作から予知して、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実証する。本研究では、上記アイデアを自動車の運転手が急ブレーキをかける動作を例に取り上げて検証する。そのため、ドライビングシミュレーターと上記の身体運動計測部、関数パラメータ決定演算部を組み合わせて、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システムを構築して、本アプリケーションの有効性を評価する。

### (5) 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の構築、及び身体運動計測法の確立

上記 3 (1) に記載のとおり、光学式モーションキャプチャーシステムを用いた方法と、サーモグラフィーを用いて手の位置を検出して運動を計測する方法との、二つの方法を検討した。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、本研究用に特化した計測システムを構築した。

## (2) 運動の定式化

上記3(2)に記載のとおり、手が仮想対象に触れに行く動作や、仮想対象を把持して運ぶ動作、仮想対象を打つ動作、器具を用いて仮想対象を挟む動作、器具を用いて仮想対象を切断する動作について、運動特性を研究した。ガウス関数による近似性の他にも、ローレンツ関数や他のベル型の関数による近似性や、 $\chi^2$ 分布の関数による近似性、補正項の追加による高精度化について検討したが、どの動作にも共通する最適関数を明確にするまでには至らなかった。なお、どの動作も概ね近似できること、及び視知覚位置推定システムとの親和性の観点から、本研究での運動の定式化にはガウス関数による近似を用いることにした。

## (3) 知覚情報、及び未来事項における運動の推定と、その高精度化・高速化

上記の運動の定式化に基づいて、運動開始から運動途中までのデータを用いて、最小二乗法により近似するガウス関数のパラメータを求めて、近似するガウス関数を決定した。そして、運動の途中で運動終了までの全期間の運動状態を求めて、未来時刻における運動の予想を行った。さらに、この予想に基づいて、手が仮想対象に達する十分前に仮想対象の位置を推定できることを、実験を行うことで実証した。

## (4) アプリケーションによる評価

### ①複合現実感システム

液晶シャッター眼鏡と CRT ディスプレイとを用いた 3D 表示システムや、投影型大画面 3D ディスプレイ、没入型 3D ディスプレイ、シースルー型ヘッドマウントディスプレイを用いた 3D 表示システムを用いて生成した複合現実環境での仮想対象との相互作用を検討した。具体的な操作としては、仮想対象を手で直接押して場所を移動させる操作や、ナイフを用いて仮想対象を切る操作、ピンセットを用いて仮想対象を掴む操作を行った。本技術によって、システムが、仮想対象に対するユーザーの視覚的知覚位置に基づいて仮想対象に操作のリアクションを実行させることによって、作業効率が大幅に改善されたこと、特に、精密作業では本技術が不可欠であることを実証した。

### ②適用領域の拡張：複合現実感以外への応用

上記3(4)②に記載のとおり、自動車の運転者が急ブレーキをかける動作について、本技術の応用可能性を検討した。急ブレーキをかける際の高速な足の運動が急ブレーキの意図の判定に役立つことを明らかにした。また、ドライビングシミュレーターと、身体計測部、及び関数パラメータ決定演算部とを

組み合わせて、高速な足の運動から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システムを構築して、本アプリケーションの有効性を評価した。

## (6) 技術・知識の体系化

上記3(5)に記載のとおり、心理的な知覚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行って、本技術の全体像を示して、体系化を行った。

## 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9件)

① M. Suzuki, H. Unno, K. Uehira, Exact interactions executed with new technique estimating positions of virtual objects by using human body movements, IEEE Symposium on 3D User Interface, 査読有、2015、p. 185-186

② P. Silapasuphakornwong, M. Suzuki, H. Unno, K. Uehira, Technique of estimating hitting positions based on human body movements involving real objects under virtual object conditions, International Conference on Imaging and Printing Technologies, 査読有、2014、p. 22-26

③ 松島和輝、ピヤラット シラパスパコオンウォン、海野浩、鈴木雅洋、上平員丈、竹田裕一、リーチング運動における対象の視知覚位置推定技術の精度向上方法の検討： $\chi^2$ 分布の関数を用いた推定、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、vol. 114, no. 67, 2014、p. 11-16

④ 土田望、ピヤラット シラパスパコオンウォン、海野浩、鈴木雅洋、上平員丈、ヒッティング動作の時空間特性、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、vol. 114, no. 67, 2014、p. 7-10

⑤ M. Suzuki, P. Silapasuphakornwong, H. Unno, K. Uehira, Characteristic of impact positions during users' hitting movements, and new technique to estimate impact positions before impact by using it, ITE Technical Report, 査読無、vol. 38, no. 7, 2014、p. 307-311

⑥ 海野浩、佐藤佑樹、鈴木雅洋、上平員丈、3D オブジェクトを押し上げるタスクに対する視知覚位置予測技術の有用性評価、映像情報メディア学会技術報告、査読無、vol. 37、no. 8, 2013、p. 1-5

⑦ 鈴木雅洋、海野浩、上平員丈、動作から視知覚位置を予測する技術を用いた 3D 映像-身体との相互作用、映像情報メディア学会技術

報告、査読無、vol. 36、no. 52、2012、p. 9-12

⑧H. Unno, K. Takazawa, M. Suzuki, K. Uehira, Interaction technique between virtual objects and user body by predicting visually perceived locations、Proceedings of the IEEE Image Electronics and Visual Computing Workshop、査読有、2012、4C-3

⑨海野浩、鈴木雅洋、高沢溪吾、上平員丈、金沢歩、観察者の動作を利用した視知覚位置予測技術：手のリーチング動作を利用した予測にリーチング距離が及ぼす影響、VISION、査読無、vol. 24、no. 2、2012、p. 67-72

〔学会発表〕（計3件）

①P. Silapasuphakornwong, M. Suzuki, H. Unno, K. Uehira, New technique using movements of users' bodies to estimate positions of 3-D images that they see: Estimation from hitting-movements、画像電子学会第269回研究会、2014年2月27-28日、広島県広島市

②岩崎大樹、三枝生、海野浩、鈴木雅洋、上平員丈、身体の動作特性を利用した視知覚位置推定技術による3D映像との円滑な相互作用、日本視覚学会2013年夏季大会、2013年7月24-26日、北海道札幌市

③海野浩、岩崎大樹、鈴木雅洋、上平員丈、3D映像の仮想オブジェクトと相互作用する観察者の動作特性：道具を用いた精密作業時の検討、2013年度画像電子学会第41回年次大会、2013年6月22-23日、青森県青森市

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鈴木 雅洋 (SUZUKI, Masahiro)

神奈川工科大学・ヒューマンメディア研究センター・客員研究員

研究者番号：30397049

### (2)研究分担者

上平 員丈 (UEHIRA, Kazutake)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：50339892