

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：31303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330227

研究課題名(和文) 生物が有する特異な感覚機能に基づくヒト感覚拡張システムの開発

研究課題名(英文) Development of a system to enhance human sense based on peculiar capabilities of living things

研究代表者

水野 文雄 (Mizuno, Fumio)

東北工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20432289

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)：我々は、これまでユーザが両眼に任意の独立した視野を得る装置「バーチャルカメレオン」の開発を行い、評価実験を行ってきた。本研究課題では、生物が有する視覚時における眼球運動様式とその構造に注目し、それらを実現するウェアラブルデバイスの開発とその操作インタフェースについて検討を行うことで、異なる複数の事象に対する同時知覚および行動を可能とするマルチタスキング能力向上を図るウェアラブル技術の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：In our previous work, we developed a system named Virtual Chameleon, which provides the user with independent views for both the eyes and conducted fundamental experiments of human performance. In this study, we developed wearable devices derived from eye movements of living things and degrees of freedom of eyes and investigated user interfaces for Virtual Chameleon to enhance multitasking ability to perceive deferent events simultaneously and take action on given task.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ウェアラブルテクノロジー ユーザーインターフェース ディスプレイ バーチャルリアリティ 両眼  
視野闘争

### 1. 研究開始当初の背景

爬虫類、魚類および草食ほ乳類など多くの生物は、特異な身体的特徴構造や運動機能により、さまざまな方向にわたり周囲を同時知覚することで捕食や危険回避を行うことで生活を営んでいる。生物の感覚能力はヒトのそれを凌駕することが多々あり、例えば全方向への視覚行動に注目してみると、カメレオンは巧みに両眼を動かして全く異なる2方向を同時に視覚するという点で顕著な例である。カメレオンは、両眼視と独立視を必要に応じて切り替えるという視覚行動をとるが、ヒトの眼球の解剖構造に類似する点が多いのも関わらず異なる眼球運動と空間視覚を行うことは非常に興味深い。

我々は、特徴的な視覚行動を行うカメレオンの眼球運動様態に注目し、カメレオンのような両眼独立運動による視野を与える装置「バーチャルカメレオン」(図1)の開発を行ってきた。

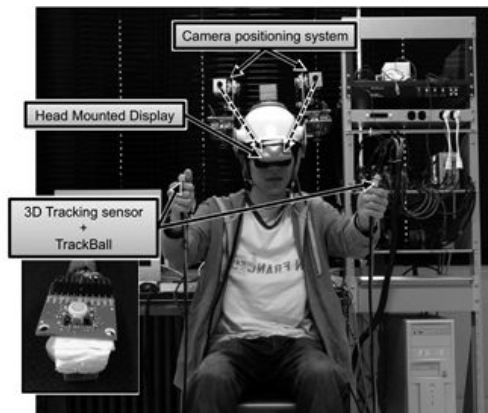


図1 バーチャルカメレオン

ユーザは、両手で把持する3次元位置センサの位置とトラックボールを用いてカメラを操作することで、擬似的に両眼で独立した方向の視野を得ることを可能となる。ヒトの両眼に異なる視野を与えると両眼視野闘争が生じることが知られ、バーチャルカメレオン使用時のユーザにも両眼視野闘争が生じることを確認した。両眼視野闘争とは、異なる2つの像でどちらか一方が優位に知覚され、知覚像の分布は不均一で、かつ知覚される優位な像が不定期に交替される現象である。両眼視野闘争下では、刺激の強い視覚が優位に知覚されるが、バーチャルカメレオン使用時にもカメラの動きによるオブティクフローを伴う像を与えられた眼の方が優位に知覚されていることが確認され、ユーザによってはカメラの操作方法により視覚の優位性を切り替えて両眼独立状態で周囲の視覚を行っていた。さらに、より強いオブティクフローの視覚刺激を生じさせ、像に対する注意を誘導するため操作インターフェースとしてトラックボールも組み合わせることで指先による急峻な動きを伴うカメラの制御を

可能とし、その知覚状態の向上を図った。このような着用可能で両眼独立を実現する装置「バーチャルカメレオン」を着用すると、ユーザは両眼で異なる方向の視野を能動的に視覚することは可能であるが、外部に対する応答性が低下することが実験により確認された。なお、この応答性の低下は、ユーザ毎に異なり数十～数百%にわたるものであった。このユーザ毎に大きく分布する遅延の原因については検討課題の一つとなっている。従って、このような生物が有する運動機能を実現する装置を着用しても、生物の知覚に近づくためには特別なスキルの修得や、同時に複数のタスクをこなす能力であるマルチタスク能力に優れる必要があると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、異なる方向の同時知覚が可能な生物が有する特徴的な身体構造や運動機能に着目し、彼らが周囲の環境に存在する主な知覚情報を物理的にどのように受容しているかを解明し、ヒトの知覚特徴と融合し、異なる複数の事象に対する同時知覚および行動を可能とするマルチタスク能力向上を図るウェアラブル技術の開発を目的とする。

特に本研究では以下の項目について研究・開発を行った。

- (1) 眼球運動に見られる Listing 則を実現する3自由度を有する着用型擬似眼球デバイスの開発
- (2) ズーム機能の実装と操作手法の開発
- (3) 操作方法およびカメラ姿勢制御則の機能検討により様々な眼球運動を生成する機能開発

### 3. 研究の方法

本研究では、ヒトやカメレオンの眼球運動で見られる Listing 則を実現する、眼球運動の自由度に着目した。ヒトの眼球は外直筋、内直筋、上直筋、下直筋、下斜筋および上斜筋という外眼筋により眼球運動を行う。この6種類の外眼筋によりパン、チルトおよびロール回転の3自由度の眼球運動を行うことで我々の視覚行動は成り立っている。そのため、従来、我々が開発を行ってきたシステムではパン-チルト方向のみの運動であるためバーチャルカメレオン使用時と通常視覚において差異が生じると考えられる。特に、ヒトの通常視覚の外側方向へ視軸を写すにつれてバーチャルカメレオン使用時との視野に差異が生じると考えられる。そのため、モータの追加を行うことでパン、チルトに加えロールの姿勢変化を可能とする3自由制御とした。

また、生物の眼球では毛様体筋により水晶体の厚さを調整することでカメラのレンズのようにピントをあわせることができる。そ

のため、外部指令信号の付与により最大10倍までのズームをはじめとする光学機能制御が可能なカメラを搭載したシステム開発を行った。操作インターフェースについても従来システムでは、両手に三次元位置センサとトラックボールを組み合わせた操作デバイスを両手で把持する必要があった。操作インターフェースの把持および見たい方向の操作は両眼視野闘争下における知覚交替のタイミングや、バーチャルカメレオン使用時における行動タスクに対する応答性の低下などに影響を及ぼすと考えられるため、把持することなく操作を可能とする操作インターフェースの開発も行うこととした。ここでは使用時にユーザに対して混乱を与える可能性のあった3次元位置センサや小型トラックボールなどのセンサ類を排除し、画像処理を用いるナチュラルインタフェースへ置換することにより操作系の見直しを図った。

操作インターフェースについては従来システムで使用していた把持型デバイスに関する使用方法についても機能追加を行って様々な眼球運動に対応するカメラ姿勢制御の実装を行うこととした。従来の操作方法に従うと、3次元位置センサとトラックボールによる操作を行う際には、2台のカメラの角度操作に両手が占有されてしまい手作業を伴うタスクを行うことができなかった。そのため、片手による2台のカメラの操作方法については、片手の位置、傾きおよびトラックボールの回転角度を組み合わせることで実現した。

#### 4. 研究成果

眼球運動に見られる Listing 則を実現する3自由度を有する着用型擬似眼球デバイスの開発については図2に示すようなカメラ姿勢制御デバイスの開発を行った。

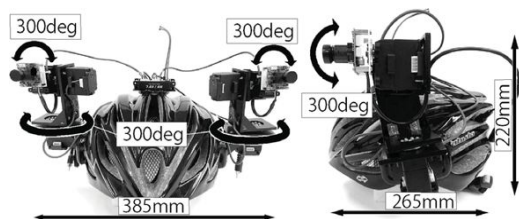


図2 三自由度装着型カメラ姿勢制御システム

また、三自由度装着型カメラ姿勢制御システムのシステム構成図を図3に示す。本システムでは従来システムで使用していたサーボモータを追加することで、パン・チルト方向の2自由度に視線軸周りの可動軸を追加することで、ヒトやカメレオンに見られるような Listing 則を実現できる3自由度とした。

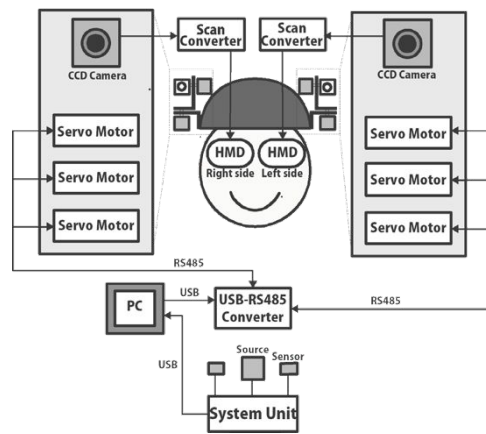


図3 3自由度カメラ姿勢制御システムシステム構成図

なお、本システムでは、従来のヒトを越えた知覚機能を実現するという観点から生物を越える運動機能を実現するため各軸の可動域は300 [deg]とした。操作インターフェースについては従来システムで使用していた3次元位置センサによる操作を可能とした。なお、カメラの制御方法は、カメラのパン・チルト方向制御の目標角度は、3次元位置センサの直交座標系の3次元位置を球面座標系に変換して得られる角度成分を用いた。視線軸回りの制御に関しては3次元位置センサが取得するセンサの傾き角度のうち方位角を用いて制御を行うこととした。

本研究で開発を行ったズームカメラ搭載型カメラ姿勢制御システムを図4に示す。また、システム構成を図5に示す。本システムでは、従来システムで使用していたカメラに替えコマンドにより光学10倍ズーム制御が可能なカメラを採用した。また、従来システムと比較し、カメラが大型化し、重量も増加したためフレーム設計を見直し、新たなデバイス開発を行った。なお、カメラ姿勢軸の可動域はそれぞれ300 [deg]である。

さらにズームカメラ搭載型システムでは、操作インターフェースとして手の開閉状態検出機能を有する Natural User Interface を採用した。

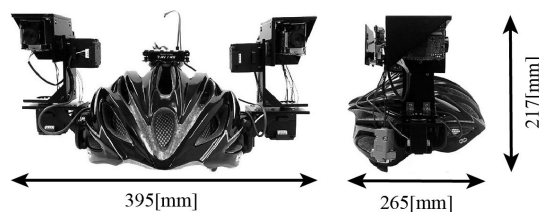


図4 ズームカメラ搭載装着型カメラ姿勢制御システム

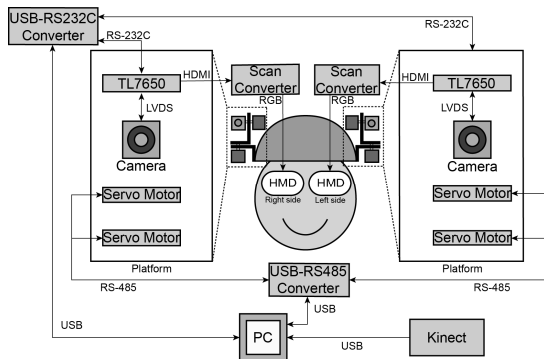


図5 ズームカメラ搭載システムのシステム構成図

本研究で採用した Natural User Interface では一人あたり 25 関節の直交座標の 3 次元位置を検出する機能を有するため、肩関節位置を基準とした手首位置からパン・チルト方向へのカメラ姿勢制御の目標角度を算出した。ズームについては手の開閉によりズームインとズームアウトを制御した。両眼視野闘争の知覚交替のタイミングの変化は、ヘッドマウントディスプレイに投影されるカメラの撮影像の動きが大きく寄与されていることが示唆された。従来システムで発生していたヘッドマウントディスプレイ上に生じた像の動きはカメラのパン・チルト方向に位対するカメラの姿勢変化に基づく一様な動きであった。それに対して、本研究では、ズーム機能付カメラを使用することで中心から外側、あるいは外側から中心方向に向かう像の動きという従来とは異なる放射状の動きを発生させることが可能となった。この放射方向への像の動きは、撮影像中における空間分解能の変化も併せて生じるため知覚交替のタイミングの変化を急峻に発生させるコが期待できる。

操作方法およびカメラ姿勢制御則の機能検討により様々な眼球運動を生成する機能開発については、操作インタフェースの従来の操作方法に従うと、3 次元位置センサとトラックボールによる操作を行う際には、2 台のカメラの角度操作に両手が占有されてしまい手作業を伴うタスクを行うことができなかった。そのため、ここでは片手で両手を操作する機能の実装を行うことにした。片手による 2 台のカメラの操作方法については、片手の位置、傾きおよびトラックボールの回転角度を組み合わせることで実現した。実装した小型トラックボールにはモーメントスイッチが搭載されているため、これらのスイッチを用いることでバーチャルカメラレオンの操作モードの変更に加え、片手操作と両手操作の切替えだけでなく、2 台のカメラの制御方式の変更も可能とした。眼球を素早く動かすようなサッカーと物体を目で追う時の動きのような追従運動だけでなく、アクチュエータのゲイン変更や、両眼視と独

立視の切り替え、両眼独立視を行う際にカメラの姿勢制御に対称な角度生成などをはじめとする規則性に基づく運動生成機能を実装した。また、機能の増大に伴い操作モード変更などの状態把握のために音声によるフィードバックを可能とした。

## 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)

[学会発表](計 9 件)

水野文雄、早坂智明、山口隆美、疑似サッカー運動生成機能を有する両眼独立視野呈示システム、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'14、2014年5月25～29日、富山県

F. Mizuno、T. Hayasaka and T. Yamaguchi、Visual stimuli induced by using a system to provide independent fields of view with a function to generate various types of artificial eye movements、15th IMRF、2014年6月11～14日、Amsterdam、Netherlands

F. Mizuno、T. Hayasaka and T. Yamaguchi、Use of a system to provide independent fields of views to both eyes equipped with a function to control cameras in saccadic pattern、7th World Congress on Biomechanics、2014年7月7～12日、Boston、USA

水野文雄、早坂智明、山口隆美、両眼に任意の独立した視野を与える装置の開発—操作インタフェースに関する基礎的検討、日本機械学会第27回バイオエンジニアリング講演会、2015年1月9～10日、新潟県

F. Mizuno、T. Hayasaka and T. Yamaguchi、A system to provide a user an artificial oculomotor function to control directions of both eyes independently by using natural user interface、16th IMRF、2015年6月13～16日、Pisa、Italy

F. Mizuno、T. Hayasaka and T. Yamaguchi、A system to provide independent fields of view to both eyes of the user by using natural user interface、Living Machines 2015、2015年7月28～31日、Barcelona、Spain

F. Mizuno、T. Hayasaka and T. Yamaguchi、A system to provide a user an artificial oculomotor function to control directions of both eyes independently by one hand、17th IMRF、2015年6月15～18日、Suzhou、China

水野文雄、早坂智明、山口隆美、身体動作に基づく操作による疑似両眼独立運動機能を実現する装置に関する基礎的検討、日本機械学会第29回バイオエンジニアリング講演会、2017年1月19～20日、愛知県

F. Mizuno、T. Hayasaka and T. Yamaguchi、The system to provide a user an artificial oculomotor function to control directions of

gaze and zooming-in/out of both of eyes  
independently、18th IMRF、2017年5月19  
～22日、Nashville、USA

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

水野 文雄 (MIZUNO FUMIO)

東北工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20432289