

機関番号：32612

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2007 ～ 2010

課題番号：19680006

研究課題名（和文） 視覚・前庭感覚統合伝送システム

研究課題名（英文） Communication System Using Visual-Vestibular Coordination

研究代表者

稲見 昌彦（INAMI MASAHIKO）

慶應義塾大学・大学院メディアデザイン研究科・教授

研究者番号：00345117

研究成果の概要（和文）：

本研究の成果は機能的電気刺激等による前庭感覚提示の生理学的知見の解明，光学的シャッター方式による振動成分の抽出を行う Stop Motion Goggle の開発，そしてオプティカルフローをリアルタイムで検出するための携帯型情報端末でも動作可能な GPU を利用した特徴点抽出ライブラリの開発による。これらの要素技術によって，我々生物が知覚しているような安定した「視覚・前庭感覚統合伝送システム」を様々な場面に応用するための基盤技術の開発に成功した。

研究成果の概要（英文）：

We have 3 key achievements for basic technology to “Communication System Using Vision-Vestibular Coordination”. One is scientifically clarify the mechanism of the relation of vestibular sensation and electricity. Second is development of “Stop Motion Goggle” which is shutter style glass to filter or augment vibrating motion of the object and environment. Third is tracking library by GPU on mobile computer to detect optical flow.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2008年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2009年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2010年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
総計	16,900,000	5,070,000	21,970,000

研究分野：インタラクティブ技術，物理メディア，ロボット，エンタテインメント工学

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：視覚,前庭感覚,感覚統合,マルチモダリティ

1. 研究開始当初の背景

申請者らはヒューマノイドを遠隔臨場制御するためのスーパーコックピットに関する研究を行っている過程で，ヒューマノイドに搭載されたカメラからの映像観察時にロボットの運動に併せて操作者の椅子を若干揺動させることで非揺動時と比較し，カメラ画像をより安定して観察可能となるだけで

なく，ロボットの歩行状態を自然に知覚できることを発見した。

しかしながらこの現象については主観報告に基づく定性的な知見しか得られていない。よって本研究はこの知見を基本アイデアの一つとし，現象の定量的な理解を深めた上で工学的な応用を目指している。

2. 研究の目的

前庭感覚と視覚とは前庭動眼反射をはじめ様々な反射弓により密接に結びついている。この視覚・前庭感覚の統合により我々が歩行時に無意識のうちに脳内の空間像を安定化させている。

我々は歩行時の視点位置の移動、加速度変化を手がかりとして移動感覚や路面状況を受容していると考えられる。従来の遠隔ロボット制御のための視覚システム研究は遠隔操作時に画像の振動を無くす事を目指していた。一方で前庭感覚の機能的電気刺激に関する研究は電流による刺激機序の解明に主眼が置かれていた。本研究は振動情報を積極的に活用することをめざし、そのための視覚・前庭感覚の適切な刺激条件を明らかにすることを目的としている。

本研究の独創性は遠隔の移動体操作や VR 空間内の移動において従来は有害と考えられていた画像の揺れこそが運動知覚の重要な手がかりであるととらえ、操作者に揺れない映像を提示するのではなく、揺れても安定に観察可能なシステムを提案した点にある。

また本研究の目的はシステムの試作にあるのではなく、遠隔の移動体制御のために視覚・前庭感覚に適切な振動感覚を統合して提示するための基本的な知見と設計指針を得る事にある。よって本研究により得られた知見は遠隔手術、ロボット内視鏡、レスキューロボットなどの遠隔ロボットや VR 空間内の移動インタフェースに広く適用可能であるだけでなく、乗り物酔い、宇宙酔い等を軽減するためのシステムへの応用も期待できる。

3. 研究の方法

本研究は以下の3つのPhaseにわけて研究を遂行した。

・Phase1:GPSを用いた心理物理実験により、視覚・前庭感覚統合の生理的メカニズムに関する知見を得た。

・Phase2:有益な振動情報を視覚・前庭感覚に提示するシステムの試験的実装として Stop Motion Goggle を製作した。

・Phase3:実ロボットを用いた被験者実験による構築システムの検証と設計指針の獲得をした。

申請者はインタラクティブな全方向画像インタフェースの研究を通じ、複雑に運動するカメラから取得した画像を全くぶれないようにリアルタイムに処理・提示することに成功している。しかしながら完全に画像のブレをなくすことでカメラ自体の運動の情報は失われてしまうことになる。そこで人が移動感覚を受容する上で必要な振動を残しつつ画像を大局的には安定化させることを

目指している点に研究上のポイントがある。

4. 研究成果

人の視界が運動時でも安定している理由として、代償性の眼球運動としての前庭動眼反射の効果があげられる。前庭動眼反射とは頭部の動きに対して眼球が逆方向に動くことで視界のブレを少なくする反射運動である。この前庭動眼反射の機序を明らかにし、ある運動における反射強度の知見を得ることは、本研究の目的である運動感覚を損なうことなく遠隔地や VR 空間移動時の映像を安定して観察可能な「視覚・前庭感覚統合伝送システム」を構築する上で不可欠である。

そこで、前庭感覚の提示手法として電流による前庭感覚刺激 GVS (Galvanic Vestibular Stimulation) を用いて、GVS により生じられる眼球運動と同時に被験者に知覚される主観的な視野運動の関係を検証した。その結果、GVS に誘起される眼球運動および視野運動について以下のことが示唆された。

- 刺激電流に比例して増大する。
- 刺激周波数に依存した周期的な回旋運動が知覚される。
- 刺激からの眼球運動および視野運動知覚までの時間遅れが電流量によらず刺激周波数によって定まる。

本成果により、前庭感覚刺激による眼球運動の運動特性と視野運動の知覚特性が同様の傾向を示すこと、また GVS により任意に視野運動を制御できるということが明らかとなった。これは GVS を用いた前庭感覚刺激によって人に前庭感覚を付加することはもちろん、視野運動を任意に制御することで知覚的に安定した視界の提示が行えるという可能性を示している。

次に、広視野の視覚刺激の中でも移動知覚に重要な振動成分のみを抽出・提示するためのシステムとして強誘電性液晶を用いた高速シャッターデバイス「Stop Motion Goggle」(SMG)を開発した。SMG は高速で On/Off 可能な液晶(強誘電性液晶)を用いて、眼球への視覚情報を On/Off することにより、ストロボ効果を発生させるものである。SMG はストロボスコープに対して以下のような利点がある。

- 明るい状態での使用が可能。
- 携帯した状態で使用可能。

1 つめの利点について、照明下で SMG の視覚効果を検証することで、ストロボ効果による高速物体の認識が可能であるという結果が得られた。

2 つ目の利点について SMG の携帯性を活か

し, SMG を移動しながら使用した際の視覚効果, 感覚の変化について検証を行った. 被験者が前方を向きながら台車で移動しながら SMG を利用した結果, SMG を使用する場合としない場合で速度感覚, 距離知覚に差が見られた. これらの現象は SMG の「ストロボ効果による視覚的な錯覚」「視覚情報と他の感覚との不一致による効果」といった原因によるものだと考えられる. SMG は視覚に働きかけるデバイスであるが, 前庭感覚, 体性感覚が関係しているために視覚との矛盾が生じたのか, あるいは視覚のみの効果によって錯覚が生じたのかは定かではない.

そこで, 前庭感覚および体性感覚と SMG による効果の関係性に関し検討を行った. 観察者は静止した状態で運動物体を観察し, SMG の左右のシャッターの位相を変化させた. 結果として立体知覚に変化が生起することを新たに発見した. 具体的には物体の見かけ上の運動速度に応じて奥行きが変化し, いわゆるプルフリッヒ効果として知られた現象と同様の効果を観察することができた. 本実験において観察者は静止した状態であったが, 運動時の被験者に両眼の位相変化を伴ったシャッター視覚提示を行うことで移動時の奥行き強調, 歩行時の運動知覚の強調, もしくは低減を行いうる可能性が示唆された.

SMG の開発により得られた多くの知見は研究当初は予期していないものであった. そのため当初の研究計画とは若干の変更はあるが, SMG の利点を活かしつつ視覚・前庭感覚統合伝達システムの開発を進めた.

SMG で得られた知見の精査に加え, 「視覚・前庭感覚統合伝送システム」の試作を目指し, VR 空間における移動感覚と視点位置変動との関係について仏研究機関と共同で研究を遂行した. VR 空間での歩行動作時の提示環境への注視位置と移動感覚の関係を調べた. その結果, 被験者の観察対象の奥行きに応じて注視位置を制御することで移動効果を損なうことなく VR 酔いの少ない提示が可能であるとの内観報告が得られた.

ここまで述べたように, 本研究では視覚・前庭感覚統合伝送システムについて, 前庭刺激と視野運動, 移動感覚と視点位置変動について基礎的な知見を得た. さらに SMG の開発により任意の振動成分の抽出・提示を可能し, 移動時の運動知覚調整の可能性を指摘した. ここで, 本研究では前庭感覚を刺激するための手法として GVS を用いたが, GVS の装置は小型・軽量である. さらに, 重要な振動成分のみを抽出・提示可能な SMG も携帯可能という利点を持つ.

そこでカメラ付き携帯型情報端末を用いた「視覚・前庭感覚統合伝送システム」の基盤技術の構築を行なった. GVS 装置, SMG が共に小型・軽量であることを考慮すると, 視

覚刺激のための手法として携帯型情報端末を用いることは有用である. 視覚と前庭感覚を統合したシステムでは, オプティカルフローをリアルタイムで検出・処理することが重要である. つまり, カメラからの映像および運動情報を実時間で取得・統合・処理することが必要となる. しかし, 現在の多くの携帯型情報端末では主に内蔵 CPU を用いて画像処理を行っているため, 情報欠落や時間遅れによる知覚的な齟齬が生じるという問題があった. そこで CPU だけではなく, 画像処理に特化したモジュールである GPU を用いてリアルタイム特徴点トラッキングを行うためのシステムを制作した. さらに制作したシステムをライブラリ化することで, 汎用性を高めることに成功している.

また, 上記画像処理システムにおける携帯型情報端末を用いてカメラ搭載型小型二足歩行ロボットをインタラクティブに操作可能なシステムを構築した. これにより, ロボットの操作に加え, ロボットに搭載したカメラから取得した画像の処理・提示を同一の携帯型情報端末で行うことが可能になる.

以上のように, 本システムの主要な要素を小型, 軽量の装置を用いて実現することで, 「視覚・前庭感覚統合伝送システム」を様々な場面に応用するための基盤技術の開発に成功した.

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6件)

近藤誠, iPhone 向けリアルタイム特徴点トラッキングライブラリ, 情報処理学会大 17 回エンタテインメントコンピューティング研究会, 2010 年 8 月 23 日, 香川大学

稲見昌彦, よくわかるバーチャルリアリティ入門, 第 18 回 3D&バーチャルリアリティ展, 2010 年 6 月 23 日, 東京ビッグサイト

稲見昌彦, デジタルサイネージのための 3D, AR (拡張現実感) 技術, 映像情報メディア学会関西支部主催専門講習会, 2010 年 6 月 18 日, 中央電気倶楽部

永谷直久, Fabian Foo Chuan Siang, 古川正紘, 常盤拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦, Stop Motion Goggle の開発(論文賞受賞), エンタテインメントコンピューティング 2008, 2008 年 10 月 29 日-31 日, 金沢歌劇座(金沢)

Naohisa Nagaya, Fabian Foo Chuan Siang, Masahiro Furukawa, Takuji Tokiwa, Maki Sugimoto and Masahiko Inami, Stop motion goggle, ACM

SIGGRAPH 2008 (new tech demos),
Aug 11-15, 2008, Los Angeles,
California, USA

永谷直久,杉本麻樹,安藤英由樹,前田太郎,
稲見昌彦,前庭感覚電流刺激時の回旋眼
球運動に関する研究,日本バーチャルリ
アリティ学会 第12回大会,2007年9月
19日,九州大学大橋キャンパス

〔図書〕(計2件)

柳田康幸,稲見昌彦,苗村健(館暲,佐藤誠,
廣瀬通孝監修),工業調査会,バーチャルリ
アリティ学(「第7章 VR コンテン
ツ」),2010年,246-250ページ

松原仁,松野文雄,稲見昌彦他,ナノオプト
クスエナジー,ロボット情報学ハンド
ブック,2010年,247-260ページ

6. 研究組織

(1)研究代表者

稲見 昌彦 (INAMI MASAHIKO)

研究者番号: 00345117

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし