

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02855

研究課題名（和文）釣竿効果の探求とマルチモーダル・インタラクティブ・タブレットへの応用

研究課題名（英文）Investigation of Fishing Rod Effect and its application to Multi-modal Interactive Tablet

研究代表者

熊澤 逸夫（Kumazawa, Itsuo）

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：70186469

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,260,000円

研究成果の概要（和文）：釣竿を介すると小さな魚が重く感じる。あるいは小さな魚が釣り糸を引く力を強く感じる。こうした体験は多くの釣り人にあるだろう。応募者等は本研究によって釣竿がこのような効果を生じる原理を解明した。また、こうして明らかになった弱い力を強く感じさせる原理（Fishing Rod Effect、釣竿効果）に基づき、近年急速に進展しているVR（仮想現実感）、AR（拡張現実感）、MR（複合現実感）の分野で、触覚に明瞭でリアルな触感を提示する技術とサイバーシックネスを軽減するための全身揺動装置を試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

釣竿を介すると小さな魚が重く感じる。あるいは小さな魚が釣り糸を引く力を強く感じる。この身近な体験の要因は従来未解明であったが、本研究では、その要因が、この原理による物理的な効果と、実際には自己が生成した力を外界から加わった力と感じる錯覚が複合的に作用して生じる効果であることを解明した。またこの効果を、近年急速に進展しているVR（仮想現実感）、AR（拡張現実感）、MR（複合現実感）に応用し、小型のモータで触覚に明瞭でリアルな触感を提示する装置とサイバーシックネスを軽減するための全身揺動装置を試作した。

研究成果の概要（英文）：The fishing rod effect is named for our experience in which a small fish can give a strong force to an angler and disguise as a big fish. We found out the mechanism to cause this effect and applied it to Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality by prototyping various devices that use this effect to emphasize the force feedback in the tactile displays. By this emphasizing effect, we can use a small motor implemented in a multi modal interactive tablet to generate clear tactile feedback. We also developed a shaking seat for our whole body and tried to reduce the cyber sickness.

研究分野：仮想現実感、画像処理、ニューラルネットワーク、触覚デバイス

キーワード：釣竿効果 ユーザーインターフェイス VR AR 触覚 サイバーシックネス ハプティック

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、ヘッドマウントディスプレイが各社から発売され、VR、AR、MRの民生・産業応用が急速に進展している。ヘッドマウントディスプレイによって視覚情報についてはリアルな3次元映像が目に表示され、聴覚情報についてもサラウンドでリアルな音響が再現されている。こうして視覚的、聴覚的にはリアリティが向上した仮想3次元空間の中で、ユーザは手を動かして仮想的な物体に触れ、仮想物体に対して様々な操作をし、あるいはゲームの世界や仮想的に再現された観光地、住居の居住性、手術や加工等を仮想体験できるようになった。

しかしながら、この仮想の世界で仮想の物体に触れても、現実の手は宙を切るばかりで何ら物体に触れた触感はない。よく使われるバイブレータで提示できる触感のリアリティは低い。またハンドヘルドやウェアラブルの装置内に設けた閉じた力学系では、手に「外部からの」力(外力)を加えることができない。ロボットアームのような装置で手指に加える力であればそれは外力となり、遠隔手術ロボットで手術する際に患部の触感を再現するのに応用されてはいるが、こうした装置では、ユーザの行動の自由度は著しく制約され、ユーザはアームの動く範囲や速度の制限の中で行動しなければならない。

2. 研究の目的

近年スマートフォンを初めとするモバイル通信端末の技術的発展や普及は目覚ましいが、本課題では、さらにその次の世代のモバイル端末が各種のセンサや情報提示手段を多面的に組み合わせ(マルチモーダル化して)、人と端末の間で直観的で分かりやすい操作や応答(インタラクション)を実現するようになることを想定している。そしてこの想定に基づき、次のように目的を設定した。(1)現状でモバイル端末の触覚情報提示手段は振動やクリック感に限られているが、当研究代表者が見出した「釣竿効果」という触覚現象を利用して、小型、軽量、低消費電力でありながら、単なる振動ではなく、力覚に作用する力の大小やパターンを変えて、明瞭で豊富な触覚情報を提示し得る画期的な触覚情報提示装置を開発する。(2)この触覚情報提示装置と各種のセンサ、その他視覚や聴覚への情報提示手段を組み合わせ、実際に多面的なインタラクションを実現するモバイル端末(Multi-modal Interactive tablet)を製作してその操作性を評価する。

3. 研究の方法

1年目には、「釣竿効果」を物理学的、心理学的に徹底的に究明することによって、力の強弱や方向といった豊富な触覚情報を、小型軽量低消費電力の装置で、指に提示するために有用な知見を得ることを計画している。この究明の過程では、以下に詳述する各種の触覚情報提示装置を試作し、それらが生成する力や速度といった「物理的特性」だけではなく、人が感じる力の強さや方向に関する「心理的特性」を詳細に調べることになる。また2年目には、1年目に得られた知見に基づき、モバイル端末に搭載できる小型軽量低消費電力の触覚情報提示装置を試作する。3年の研究期間を通じて、視覚、聴覚、触覚への情報提示装置とタッチ、カメラ、加速度、角速度、圧力、回転の各種センサを統合してユーザーとの間に直観的なインタラクションを実現する方法を研究し、3年目には実際にMulti-modal Interactive Tabletを試作して、各種用途における操作性を評価することを予定している。

人の感じる重さや力の強さが物理的な重さや力と異なることは広く知られている。例えば同じ質量の物を手に持つとき、体積が大きいと軽く感じ、体積が小さいと重く感じる。そしてこの物理量と感覚量の違いは顕著であり、誰でも明確にその違いを体験できる。本課題が主題とする「釣竿効果(Fishing Rod Effect)」も「物理的には弱い力」を「感覚的に強く感じさせる」効果であり、誰でも強く明瞭に感じることから、本課題では、この効果を触覚情報提示装置に応用する着想を得た。ただし「釣竿効果」は心理学的効果のみならず、ニュートン力学で説明できる様々な力の増強効果も関与しているので、それらも綿密に調査して利用することを計画している。

まず人には直接的に力や重さを計測する感覚器は存在しないことに注意を要する。力が加わる際の皮膚の変形を皮膚感覚受容器によって検知し、あるいは筋肉を動かしたときや外力を受けた際の筋肉伸縮量を筋紡錘で検出し、さらには運動器側の筋肉の駆動量等、様々な感覚・運動情報を総合して、「重さと力」を感じているのである。このように極めて多様な要因の絡む複雑な感覚であるがゆえ「物理量」と「感覚量」が一致しないのは当然といえば当然のことなのである。

さらに人の感じる重さや力には、触覚以外の感覚、例えば視覚や聴覚も関与する。竿がしなる様子を目で見ると実際よりも重さを重く感じる場合がある。またギシギシというような音を聞くとそれが力や重さの感覚に影響を及ぼす。本課題では被験者の視覚と聴覚の影響を排除して実験を行う。そして人の感覚には慣化や学習、適応による特性の変化が生じるが、釣竿効果の評価実験では、慣れが生じないように配慮し、初めて体験する場合にも明瞭な触覚情報が感じられるように触覚情報提示装置を構成する。

人の感覚は「変化」に敏感であり、静的な一定の刺激はすぐに感じなくなってしまふ。釣竿効果も加わる力が時間的に変化する際に顕著に生じることが確かめられている。そこで心理学的実験についてはこうした動的な特性も含め、以下の要因について、できる限り多数の被験者を通じて、触覚情報提示デバイスの設計に必要な知覚特性を収集する。

(1)指のどこにどのような方法で力を加えると釣竿効果は顕著に生じるか?

- (2)刺激提示部を指でつまむ等で保持するときには、釣竿効果を感じやすい持ち方があるか？
- (3)静的で変化しない力は感じなくなってしまうので、力を時間的に変化させる必要があるが、釣竿効果を最も強く生じる力の変化の速さや周期、力の変化幅はあるか？
- (4)力は「竿」に相当する弾性のある樹脂板やゴム膜等を介して指に伝えるが、釣竿効果を最も強く生じる「竿相当部材」の長さ、広さ、弾性係数、ヤング率はあるか？
- (5)前述したように指の皮膚の変形量や筋肉の伸縮量が力の知覚に関わるが、釣竿効果には皮膚の変形の仕方や筋肉の伸縮がどのように(どのような割合で)影響を及ぼすか？
- (6)上記の結果に個人差や体のコンディションによる違いがあるか？

こうした心理学的要因に加えて、ニュートン力学の範囲で説明できる物理学的効果については、以下の要因が考えられるので、これらが釣竿効果にどのように影響するか実験的に検討する。

- (1)釣竿がしなった際に蓄えられる「弾性エネルギー」が相乗的に作用して力を増強する。
- (2)釣竿は長い「テコ」として機能して、先端に働く力が弱くても長い竿を用いると「力のモーメント」が大きくなるため、竿の根元近くを握る手に強い力が作用する。
- (3)釣り上げる際に「加速度」が必要なため、加速度を生じるための力が相乗して働く。
- (4)釣竿の振動が「共鳴」して振れが大きくなることを強い力として感じる。

本課題では、以上の物理学的要因についても、効果を実験的に検証して、触覚刺激の増強に有効であれば、触覚情報提示装置に応用するが、物理的に同じ力でもそれを強く感じる心理学的な効果を重視するように計画する。例えば、一連の文献「T. Amemiya 他(2012-2015)」も物理的には説明できない心理学的効果を触覚情報の提示に応用している点は、本課題と同じ立場に立脚し、学術的にも心理学的現象の究明が重視されている。釣竿効果の心理学的要因は未解明であり、本課題は、仮に工学上有用な触覚情報提示装置の開発に失敗しても、上記の各要因について釣り竿効果を実験的に検証した結果は、学術上高く評価されるものと期待される。

実験装置については次のように計画している。予備実験で製作した装置ではモバイル端末に搭載することを想定して小型で低消費電力の3相ブラシレスモータを使用している。各相のコイルに流す電流を個別に制御して、回転子の回転方向や力を自在に変えて、釣竿効果を検証できるようにしている。

この予備実験で用いた装置は、市販の光学ディスク再生機から取り出したスピンドルモータを分解して構成したが、本格的な実験を行うために専用モータを含め、実験装置を以下の方針で試作する予定である。

- (1)発熱の関係で1つのコイルに流すことのできる電流は限られるので、コイルの数を増やして大きな力を取り出す。釣竿効果の動的特性を評価する際に、力を遅延なく迅速に変化させるためギア等の機構を使わずにコイルの磁力で直接で釣竿を駆動する。
- (2)現状は3相のコイルを相単位、3チャンネルで制御しているが、各コイル個別に流れる電流を制御して、ホールセンサで検出される回転子(永久磁石)の角度に同期させて、全コイルが協調して同じ方向に力を発生して強力な力を得るようにする。
- (3)ホールセンサの信号に基づき多数のコイルへ流す電流を個別に制御するためにマイコン(Arduino)を用いるが、現状では、3つの相に流す電流の時間変化パターンを変える度にプログラムを書き直している。その結果、例えば、1相に5ミリ秒正方向に200mA電流を流した後に3ミリ秒無電流としその後2相同時に8ミリ秒逆方向に200mAの電流を流すようにすると釣竿効果が顕著に感じられる等の結果が得られているが、最適な動的特性を、その都度プログラムを書き直して試行錯誤で発見しようとすると能率が悪いので、実験計画法を取り入れて最適条件を能率良く発見することを支援するソフトウェアを構築する。

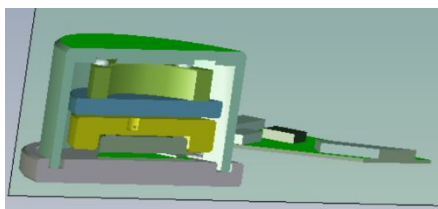
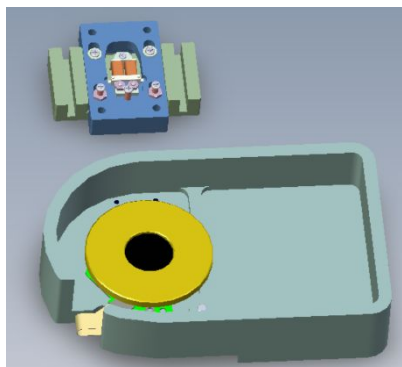
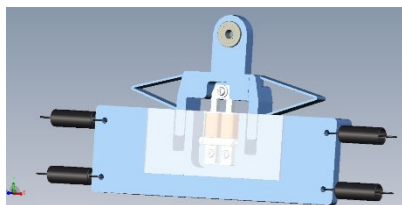
上記実験で解明される釣竿効果発生の最適条件を満たすように工夫して、小型軽量低消費電力の触覚刺激提示装置を試作する。具体的には当研究室で試作してきた触覚情報提示装置をベースにして各種改良を加えて釣竿効果を導入する。また現在暫定的に試作している「Multi-modal Interactive Tablet」を示すが、3年間の期間を通じてこれを次のように改良する。従来は指に装着して使いづらく、刺激も不明瞭な触覚情報提示装置を使っているが、これを釣竿効果により小型軽量消費電力化した上記試作装置に置き換える。最終年度には、視覚、聴覚、触覚への情報提示装置とタッチ、カメラ、加速度、角速度、圧力、回転の各種センサを統合してユーザーとの間に直観的なインタラクションを実現し、その効果を検証するため多様なアプリケーションを試作する。万一、マルチモーダル化や触覚情報提示装置の併用による効果が認められなかった場合には、その原因を詳細に解明し公開することで、今後の研究の参考になるようにしたい。

4. 研究成果

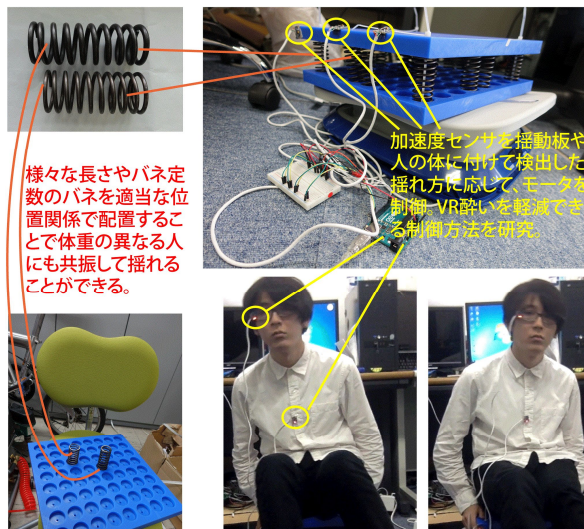
本研究では、上記の方針に従って、様々試作を製作し、マルチモーダルにセンシングされ、提示される情報のヒューマンマシンインターフェイスへの有効性について試作装置を用いてユーザが様々なタスクを行う際の操作性や効率の向上を評価、検討した。

こうした試作装置としては、MASL-3-G-2、6、7、8、9、TDSE-3、4、FTA-1等の装置名称で開発してきた触覚情報提示装置がある。これらの性能評価の過程で、当初予測に反し、動力伝達部分の摩擦力不足のため、釣り竿効果生成力が不十分なことが判明し、構成部品の再試作と再評価を行うことが不可欠となった。研究遂行上、構成部品の再試作と再評価の結果を踏まえ、十分な性能達成を確認後に強力な触覚刺激を生成するモバイル・全身揺動装置を製作する必要が生じた。そのため研究期間を1年間延長することになったが最終的には当初目標としていた性能を備え

たマルチモーダルユーザーインターフェイスを構築することができた。以下に試作した装置の構造を 3D-CG で紹介する。



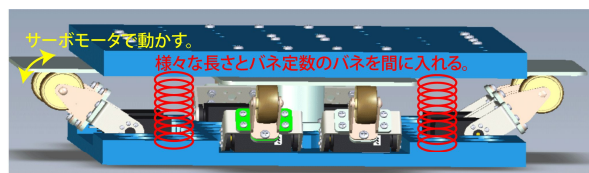
上図に示す様にマルチモーダルインタラクティブタブレットで触覚情報を表示するための各種装置を試作した。



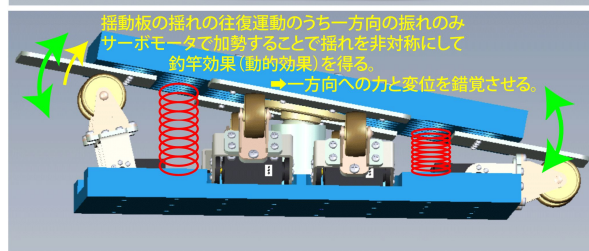
様々な長さやバネ定数のバネを適当な位置関係で配置することで体重の異なる人にも共振して揺れることができる。

加速度センサを揺動板や人の体に付けて検出した揺れ方に応じて、モータを制御しVR酔いを軽減できる制御方法を研究。

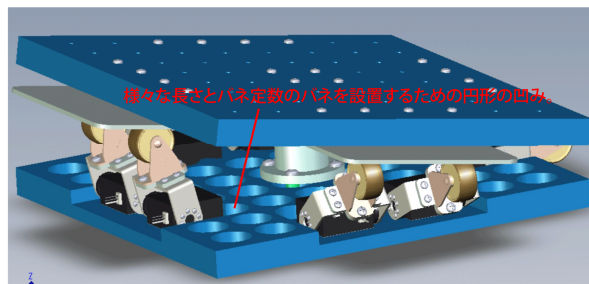
魚の重さによらず共振できる釣竿のように、人の重さによらずに共振できる全身揺動装置を様々な特性のバネで構成し、加速度センサで VR 酔い軽減のためのデータ収集を行った。



サーボモータで動かす。
様々な長さやバネ定数のバネを間に入れる。



揺動板の揺れの往復運動のうち一方の揺れのみサーボモータで加勢することで揺れを非対称にして釣竿効果(動的効果)を得る。
→ 一方への力と変位を錯覚させる。



様々な長さやバネ定数のバネを設置するための円形の凹み

一方の揺れのみサーボモータで加勢することで振動を非対称にして、一方への力と動きを錯覚させる全身揺動装置の設計を開始している。上図は CAD による動作シミュレートを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Itsuo Kumazawa, Toshihiro Kai, Yoshikazu Onuki, and Shunsuke Ono
2. 発表標題 Measurement of 3D-Velocity by High-Frame-Rate Optical Mouse Sensors to Extrapolate 3D Position Captured by a Low-Frame-Rate Stereo Camera
3. 学会等名 Proceedings of IEEE Virtual Reality 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Itsuo Kumazawa, Souma Suzuki, Yoshikazu Onuki, and Shunsuke Ono
2. 発表標題 Tactile Feedback Enhanced with Discharged Elastic Energy and Its Effectiveness for In-Air Key-Press and Swipe Operations
3. 学会等名 Proceedings of IEEE Virtual Reality 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 oshikazu Onuki, Shunsuke Ono, and Itsuo Kumazawa
2. 発表標題 Air Cushion: A Pilot Study of the Passive Technique to Mitigate Simulator Sickness by Responding to Vection
3. 学会等名 Proceedings of IEEE Virtual Reality 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究分担者	佐藤 誠 (Sato Makoto) (50114872)	首都大学東京・システムデザイン研究科・客員教授 (22604)	