

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26730102

研究課題名（和文）振動刺激による定量的な3次元形状認識を可能とする振動強度の設計手法

研究課題名（英文）Design method of vibration intensity enabling quantitative three-dimensional shape recognition by vibration stimulation

研究代表者

橋本 悠希 (HASHIMOTO, yuki)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：10601883

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、振動刺激による3次元形状提示において、比例尺度を満たす振動強度設計手法を確立することを目指した。ウェーバー・フェヒナーの法則を基礎とし、スティーヴンスのベキ法則や他の補正項を組み合わせることで、比例尺度を満たすあることを示唆する振動強度設計モデルを構築した。また、タッチパネルを備えた情報端末向け視・聴・触コンテンツ用ライブラリを整え、本コンテンツ用のウェアラブル振動デバイスを実装することで汎用性の高い3次元コンテンツの体験環境を整備した。さらには、提案手法を足部に応用し、触体験の拡張を行った。

研究成果の概要（英文）：In this research, we aimed to establish a vibration intensity design method satisfying the proportional scale in three-dimensional shape presentation by vibration stimulation. Based on Weber-Fechner's law, Stevens' power law and other correction terms are combined to construct a vibration intensity design model that suggests that it satisfies the proportional scale. In addition, we prepared a library for viewing / listening / touching content for information terminals equipped with a touch panel, and implemented a wearable vibration device for this content, thereby improving the experiencing environment of highly versatile three-dimensional contents. Furthermore, we applied the proposed method to the feet and extended the touch experience.

研究分野：バーチャルリアリティ，触覚インタフェース，インタラクティブ技術

キーワード：触知覚 錯触覚 3次元

1. 研究開始当初の背景

近年、タッチパネル搭載デバイスが急速に普及し、その中でゲームや映画、電子書籍を始めとした多くの視聴覚コンテンツを指で操作することで楽しむ環境ができあがりつつある。タッチパネルによる操作では、指で直接画面上の対象に触れる。そのため、触れた手応えへの要望は大きい。ここで今の視聴覚コンテンツを見てみると、ほとんどが3次元表示を用いている。一方で触覚はテキストや簡単な凹凸など2次元情報の提示に留まっており、3次元表現はボタンの押下感程度である。全てのモダリティで次元を揃えることがコンテンツ体験に対して高い臨場感や没入感を生むことから、触覚を3次元化する必要性は高い。物体の3次元形状を再現するためには、反力を物理的に出力する必要があることから力覚提示装置を用いざるを得ない現状があるが、力覚提示装置は一般的に触覚提示装置よりも大きな動力が必要で小型化が困難なことから応用範囲に制約があるという課題がある。そこで最近、触覚提示の中でも最も利用事例が多く小型・軽量化が容易な振動刺激を用い、擬似的に力覚を知覚させることで3次元の形状提示を目指す研究が出現した。しかし、曖昧な触覚印象の提示という状態からの脱却が未だできていない。

2. 研究の目的

本研究では、振動刺激による3次元形状提示において、最も高い尺度水準である比例尺度を満たす振動強度設計手法の確立を目指す。前述したウェーバー・フェヒナーの法則と同じ心理物理学における法則の一つであるスティーヴンスの法則等を振動強度設計手法に組み込むことを検討する。その後、各法則を組み合わせた設計モデルを構築し、どのような3次元形状にも対応できるシステムを構築する。次に、タッチパネルと組み合わせた3次元視・聴・触コンテンツを制作可能なシステムを実装し、コンテンツ体験に対する本研究の有効性を検証する。さらには、手以外の部位への提示により、触体験の拡張を試みる。

3. 研究の方法

(1) 指でのなぞり動作中において連続的に振動刺激の強度を変化させる。これに対し、過去研究で用いた間隔尺度を満たすウェーバー・フェヒナーの法則(以下WFL)は単発刺激によって検証されており、連続的な刺激に対しては未検証である。よって、WFLに当てはまらない知覚の法則が隠されているものと考えられる。そこで、心理物理学の法則が本刺激手法との関係性を解明し、刺激の連続的な変化に対応した法則を新たに構築する。この際、比例尺度を満たす法則であるスティーヴンスのべき法則(以下SPL)も解明

対象とし、より有効な法則をベースとしたモデル化を行う。

(2) タッチパネルを用いた視・聴・触体験システムを開発する。対象は、スマートフォンやタブレット等のタッチパネルを備えた情報端末とする。触覚における「高さ」のルール提示を視聴覚で行い、暗黙のルールとしてユーザに与えることで解釈の負荷を大幅に低減する。結果として、ユーザは視覚・聴覚・触覚の3次元情報を自然に得られ、次元が揃った没入感、臨場感の高いコンテンツ体験が可能となる。製作するものは、無線通信を用いたウェアラブル振動デバイスとコンテンツ制作用ライブラリである。ウェアラブル振動デバイスは、多くの情報端末が標準で搭載しているBluetooth通信を用いて音声信号を受信し、タッチ操作に合わせて任意の振動を提示するものとする。ライブラリは、マルチプラットフォームで開発可能なUnityをベースとしたものを制作する。

(3) 本手法を、足底への触覚提示用途へ拡張する。足底の感覚は姿勢制御の要であると同時に、実世界と最も長く接している部位である。この部位に対して本手法による3次元触覚提示を行うことで、路面状態の詳細な把握を軌越しに可能とすることを旨とする。

4. 研究成果

(1) 指で決められた距離のなぞり動作を行う際に、指の位置に対応した強度の刺激を提示する実験を行った。提示強度は、従来のWFL、SPLの式から刺激強度Rを算出し、その後、なぞった距離と同じ幅を持つ記録用紙に振動強度の強さをスケッチしてもらった。また、意図した感覚量E(図1上図)の包絡線を実際に見て描いてもらい、基準スケッチとして比較した(図2)。複数の強度変化およびスケールに対してこの2条件を比較し、間隔尺度や比例尺度の水準を満たすかを図の傾きや曲率等を比較した結果、過半数の被験者において比例尺度の水準を満たすことが示された。次に、なぞり動作においてマグニチュード測定法により複数被験者の感覚量を測定し、SPLに用いるべき指数の範囲をある程度固定可能であることを示唆する結果を得ることができたことから、ある程度一般化された比例尺度水準を満たすモデルを構築した。

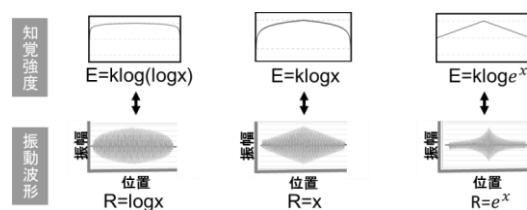


図1. WFL から算出した振動波形と知覚される振動強度の例

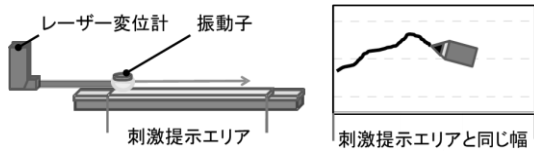


図2. 左：実験セットアップ 右：回答スケッチ

(2)タッチパネル操作を妨害しないため、爪上振動刺激による指腹への錯触覚提示手法による視・聴・触覚体験システムを構築した。システムの構造を図3に示す。ウェアラブル振動デバイスは、apt-X Low Latency 対応の Bluetooth レシーバー (tsdrena:HEM-BTRATX)、3.7W 出力のステレオ D 級アンプモジュール (Adafruit:MAX98306)、振動子 (日本電産コパル株式会社:LD14-002) によって構成される。デバイス全体の重さは 21g (バッテリー抜き) となり、手に装着しても違和感の無い重量となった。ライブラリは、マルチプラットフォームフォーム対応の Unity で構築し、iOS, Android, Windows のそれぞれに対して動作を可能とした。

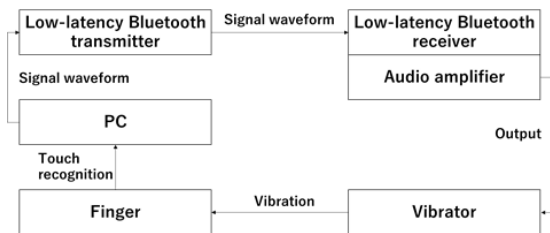


図3. システム構成

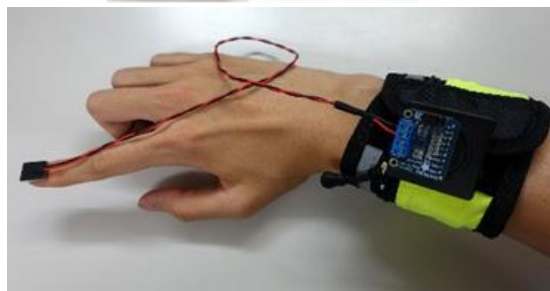


図4. ウェアラブル振動デバイス

アプリケーションを実装した際、なぞり動作に対する触覚提示の遅延が問題となった。本システムでは、約 39ms という低遅延通信が可能な apt-X Low Latency を用いている。しかしながら、触覚の応答性に対して十分とは言えない。また、情報端末側におけるタッチ検出から音声出力までにかかる時間も約 30ms であることから、計約 70ms の遅延が生じた。そこで、指の動作を予測する遅延補償を組み込んだ。その結果、総遅延時間を約 20ms まで短縮することができ、なぞり

動作時の違和感を大幅に緩和することができた。タッチ動作に対する遅延への対応が今後の課題である。

(3)本手法を足に拡張するため、(2)と同様の手法を用いた足指への錯触覚提示を行った。本錯触覚が足指においても適用可能かどうかを確認したところ、足指にかかる荷重が錯触覚の生起に影響することが判明した。そのため、恒常法によって錯触覚が生起する荷重の閾値を求めた(図5)。その結果(図6)、約 350g の荷重が足指にかかる場合に本錯覚が生起することが分かった。これは、歩行時における立脚時の 6 割以上の期間で本錯覚が生起されることを意味し、歩行時における触覚提示に十分利用できると思われる。

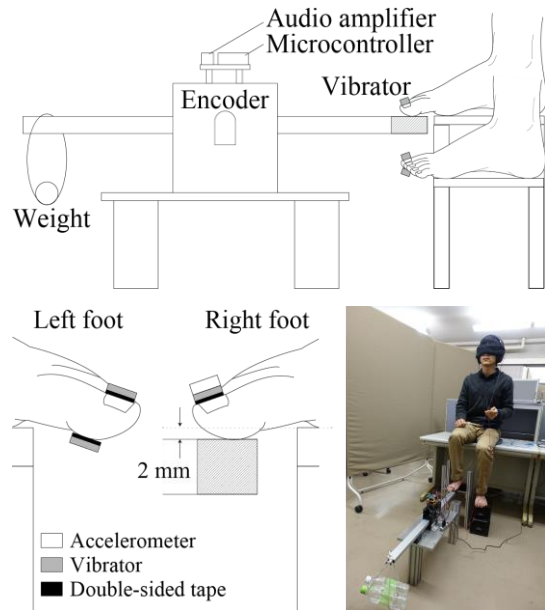


図5. 実験セットアップ

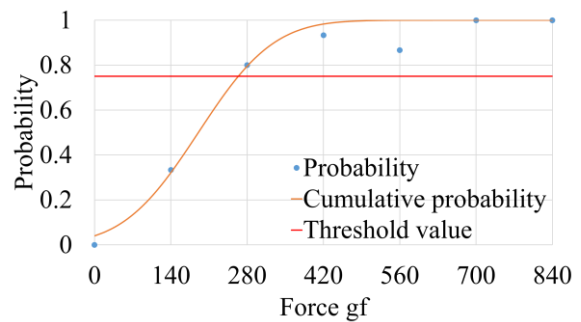


図6. 実験結果の例

上記の結果を受け、足指に錯触覚を提示するデバイスを製作した(図7)。本デバイスに対し、地面テクスチャの振動波形と(1)で構築したモデルを組み合わせ、路面情報や地面の凹凸を提示することを試みた。デモ展示によって複数人に体験者して頂いた結果、路面情報では体験したことのあるものであれば、近い踏み心地を得られたとの感想を得られた。地面の凹凸については手の場合ほど十分に知覚しなかったため、足用のモデルが必要であ

ると考えられる。

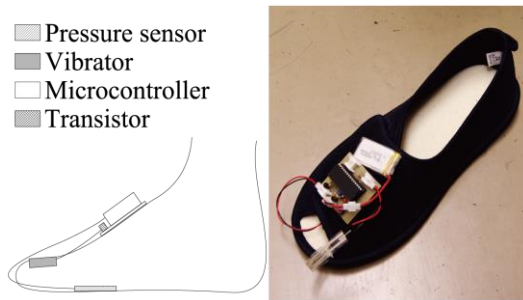


図7. 足指への錯触覚提示デバイス

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 8 件)

- ① Kensuke Sakai, Taku Hachisu and Yuki Hashimoto: Characteristics of Illusory Vibration in the Toe Pad Induced by Vibration Applied to Toenail and Toe Force to Surface, IEEE World Haptics 2017, 2017/6/6-9, Munich(Germany).
- ② Kensuke Sakai, Taku Hachisu and Yuki Hashimoto: Sole Tactile Display using Tactile Illusion by Vibration on Toenail, Asia Haptics 2016, Kashiwanoha(Japan).
- ③ Kensuke Sakai and Yuki Hashimoto: Perceptual Characteristics of a Tactile Illusion Using Toenail-Mounted Vibration, ICAT-EGVE 2015, Kyoto(Japan).
- ④ 楚輝, 橋本悠希: 爪上振動刺激による錯触覚提示システムのウェアラブル化, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2016/9/14-16, つくば国際会議場(茨城).
- ⑤ 酒井健輔, 蜂須拓, 橋本悠希: 足爪振動を用いた歩行安定化手法の有効性検証, 情報処理学会 アクセシビリティ研究会 第 1 回研究会, 2016/07/29-30, 国立情報学研究所(東京).
- ⑥ 酒井健輔, 橋本悠希: 足爪振動刺激におけるタイミング推定のための錯覚知覚範囲の検証, IEEE TOWERS 12th, 2015/11/28, 東京理科大学(東京)
- ⑦ 酒井健輔, 橋本悠希: 足爪振動を用いた足底感覚提示手法における各指の知覚特性の検証, 第 20 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2015/9/9-11, 芝浦工業大学(東京).
- ⑧ 橋本悠希: 足爪上への振動刺激による

足底感覚提示手法の基礎検討, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2014/9/17-19, 名古屋大学(愛知).

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/yhashimoto/olab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 悠希 (HASHIMOTO Yuki)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号: 10601883

(2) 研究協力者

酒井 健輔 (SAKAI Kensuke)

楚 輝 (Chu HUI)