

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330406

研究課題名(和文) 触覚仮現運動を利用した触覚ディスプレイによる身体誘導の研究

研究課題名(英文) Study on body guidance by tactile display using tactile apparent movement

研究代表者

内田 雅文 (Uchida, Masafumi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00245341

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：身体動作を誘導する技術の確立を目的として、触刺激を利用して身体を所望の方向へガイドするための方法について検討した。脱着が容易な触刺激プレートを独自に開発して身体誘導装置を製作、身体の動作に連動させて触刺激パターンを提示する身体誘導システムが構築された。この触刺激プレート4枚を体幹部、腹回りに装着して種々の触刺激パターンを提示したときの身体的挙動を計測、時系列の単一試行解析により身体動作への影響、効果を可視化して調べた。触刺激パターンと身体的挙動との関連性が精査され、結果として触覚ディスプレイ型身体誘導装置の実用化へ向けての道筋が示された。

研究成果の概要(英文)：The research purpose is to establish a technique to guide body movement. In this study, a method for guiding the body motion in a desired direction using tactile stimulation was studied. A tactile stimulation plate with easy detachability was developed. A body guidance system has been constructed that presents the tactile stimulation pattern from the tactile stimulation plate in conjunction with the body motion. Four tactile stimulation plates were worn around the user's abdomen (trunk). Physical behavior associated with various tactile stimulation patterns presented from the four tactile stimulation plates was measured. Measurement data was analyzed in time series of single trials, and the effect on body movement was visualized. The relevance between tactile stimulation and physical behavior was carefully examined, and a path toward the practical application of a tactile display type body guiding device was shown.

研究分野：学習支援システム

キーワード：触覚ディスプレイ 触刺激 身体動揺 身体誘導

1. 研究開始当初の背景

情報提示装置は、ユーザに情報を伝えることが主たる機能であるが、提示された情報がユーザのその後の行動に全く影響しなければ、その情報提示は無いに等しい。したがって情報提示装置は、ユーザの行動を操作する装置とも言える。提示される情報は通常、感覚刺激で符号化されてユーザの感覚へ刺激提示される。ユーザは受容した感覚刺激を復号し、その信号に解釈を入れて情報化、行動決定して身体動作という形で出力する。本研究課題の目指すところは、この刺激提示から身体動作に至る一連の過程「①感覚刺激の受容⇒②復号と解釈による情報化⇒③行動決定⇒④身体動作」のうち、ユーザが主導する「②復号と解釈による情報化」および「③行動決定」を省き、「①感覚刺激の受容⇒④身体動作」で情報を伝える技術の確立にある。そもそも情報を発信する側が所望するところは、情報提示装置を介して情報を受け取るユーザの行動を所望の方向へ導きたい訳であるが、ユーザの状況、意識・注意の向き様次第で提示した情報が変質（誤解）する、あるいは無効になりうる。しかしながら、刺激提示から身体動作に至る過程においてユーザ主導のプロセス②③が排除されれば、ユーザの状況とは無関係に情報発信者の意図・所望の行動は誤解なくユーザへ伝えられるはずである。

2. 研究の目的

本研究課題では、熟練を要する機器操作やスポーツ・ダンス等の運動学習ならびに身体運動のリハビリテーション等における身体動作の教示において非言語的な伝授を可能にする、身体動作の提示・誘導技術の確立を目的とする。この目的を達成するために本研究課題では触覚に生じる触覚仮現運動なる錯覚を利用して情報提示装置たる触覚ディスプレイ技術の延長上に、ユーザの身体動作を所望の形・方向へ導く技術を定め、簡便性・利便性・低コスト性を有する触覚ディスプレイベースの身体誘導装置の開発を行う。例えばカーナビはガイド情報を視覚・聴覚情報としてユーザへ伝えるが、ユーザの意識・注意がその情報に向けられなければ無効である。ユーザの意識・注意とは無関係に所望の身体動作をユーザの身体上で形作ることができれば、ガイド情報に沿う行動は誤解なく非言語的にユーザへ伝えられるはずである。

3. 研究の方法

本研究計画は、触覚仮現運動および情報提示およびその題材へ「生体反応に基づく触覚仮現運動の認知評価」および「触覚仮現運動を構成する触刺激の用途に応じた選定」によってアプローチする。以下に示す4つの短期目標が研究目的を達成するための研究計画に対応する。短期目標“生体反応に基づく触覚仮現運動の認知評価手法を上下肢含む全

身対応へ一般化する”は、先行研究で成された触覚仮現運動の認知評価手法における生理計測の対象を上下肢を含む全身に拡張し、全身対応の認知評価基準を定めることにより達せられる。その評価基準に則り、種々の触刺激パターンに対する身体動揺を記録、精査することにより、短期目標“触覚仮現運動に伴う身体動揺を効果的に誘発する触刺激の時間的空間的パターンを特定する”が、更に触刺激「入力」に対する身体動揺「応答」をモデル化し、システム構築することにより、短期目標“触刺激入力に対する身体動揺応答を精査し身体動揺の制御系を構築、身体誘導システムとする”がそれぞれ達せられる。最後にこれらの総括として、触覚ディスプレイベースの身体誘導装置を製作し、実用化への道筋を示すことにより、以上を総括した短期目標“触覚ディスプレイ型身体誘導装置プロトタイプを製作し、実用化への道筋を示す”を達成する。

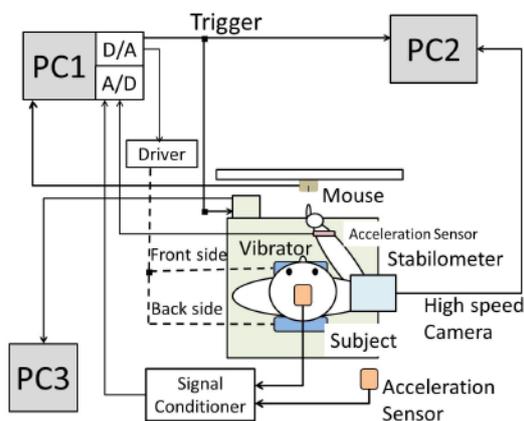


図1 実験システムの構成

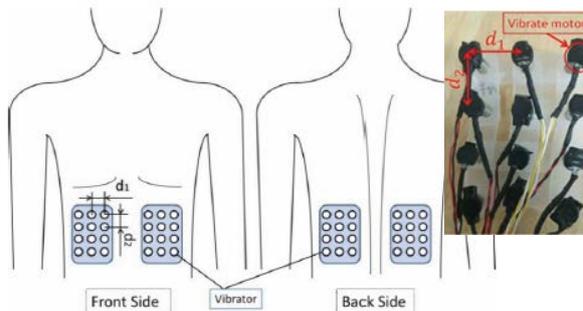


図2 触刺激プレートとその装着部位

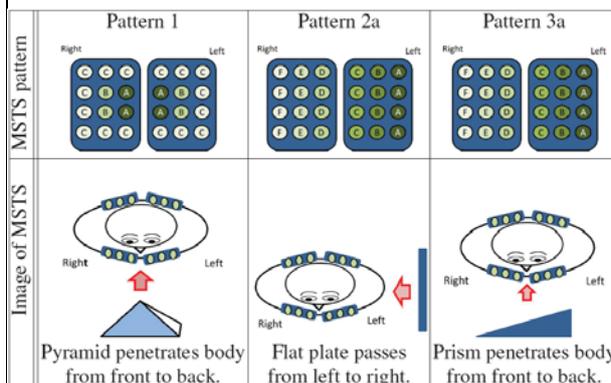


図3 触刺激パターンの例

4. 研究成果

本研究課題において開発された触覚ディスプレイ型身体誘導装置の実験システムを図1に示す。このシステムは、図2中写真の振動の触刺激を生成、ユーザへ出力提示する触刺激プレート（いわゆる触覚ディスプレイである）4枚を用いて、例えば、図2のようにユーザの体幹、腹回りへ情報を触刺激提示する機能を有する。1枚の触刺激プレートは、円盤型振動モータ（触刺激振動子）を3×4に配列し（隣合う振動モータ間距離は3cm）、振動モータはそれぞれが安定的に皮膚に接触されるよう各々にバネの伸縮機構が仕込まれている。触刺激プレートから出力提示される触刺激には、例えば、図3左のように体幹の腹部から背部へ刺激像が流れる感覚を提示するパターン1、図3中央のように左（および右）側面から右（および左）側面へ刺激像が流れる感覚を提示するパターン2a（および2b）、さらには、図3右図のようにパターン1とパターン2a（および2b）を組み合わせて、斜め左（および斜め右）前方から斜め右（および斜め左）後方へ刺激像が流れるパターン3a および3b を設けた。これら触刺激パターンを構成する触刺激振動子の駆動のタイミングを定める2つの制御パラメータを用いて、触刺激パターン各々には35種類のバリエーションが設けられた。実験では、これ以外に無刺激および定期的に提示する触刺激（定常刺激）が追加され、合計37種類の触刺激パターンについて触刺激に伴う身体の動態が調査・解析された。

触刺激プレートから提示される触刺激（情報）のユーザの身体動作への影響、効果の評価するため、ユーザの身体動態を生体計測する実験システムが構築された。この動態計測システムは、触刺激パターンを生成・提示する触刺激提示装置（触刺激プレート含む）に連動する重心動揺計、ハイスピードカメラシステム、加速度センサから構成され、ユーザの身体的な挙動を同期的・統合的に観測するものとした。また、ユーザの手首には小型の3軸加速度センサを装着し、その加速度値を常時監視しながら、触刺激提示のタイミングをはかるトリガ信号を生成した。この実験システムを用いて計測される諸データから、提示された触刺激パターンに関連する成分を効果的に抽出する手段として、クラスタリングを用いた時系列の単一試行解析手法が考案された。制御パラメータによって1つの触刺激パターンにつき35のバリエーションが用意されているが、計測実験により、その各々について1サンプルずつ計測データが計測されると、無刺激および定常刺激と合わせて計37サンプルが確保される。この37サンプルに対して、混合正規分布モデルに基づくクラスタリングを施して、まずは、このプロセスで生成されるクラスタ群の枠組みの下で、各サンプルの大まかな振り分けが施される。このプロセスの効果として、単一試

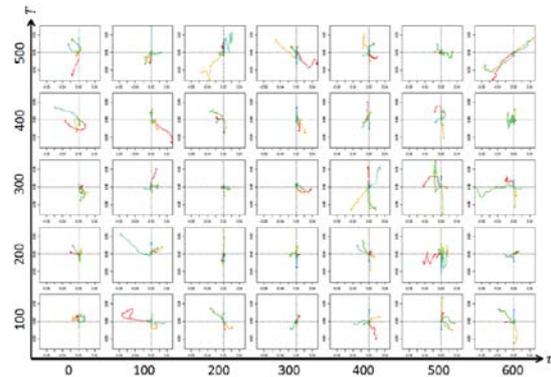


図4 触刺激に伴う身体動態の一例(軌跡)

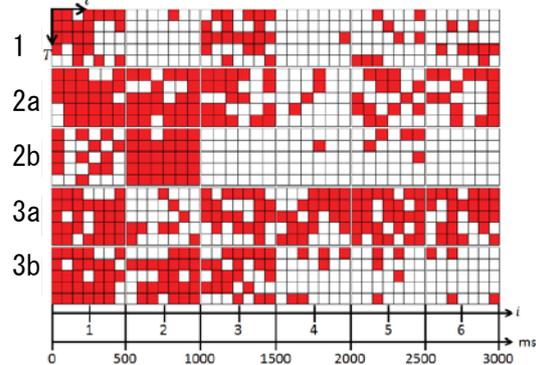


図5 解析結果の一例

行でありながら、各クラスタの持つ特徴が強化された形で各サンプルの身体的挙動の具体的な形状が軌跡として生成される。図4は、ある触刺激パターンにおける35種類のバリエーションそれぞれのサンプルから解析的に抽出された身体的挙動の軌跡の一例である。単一試行解析であるため、統計的な解釈は難しいものの、提案手法を用いることにより、制御パラメータそれぞれに固有の挙動が認められる一方で、部分的には共通性も見出される。この解析では35種類以外に、無刺激時および定常刺激時の身体的挙動の軌跡も得られている。無刺激時あるいは定常刺激時の身体的挙動との比較という観点では、ある触刺激パターンにおける、ある制御パラメータ時のサンプルが、無刺激時サンプルあるいは定常刺激時サンプルを含むクラスタに属するか否かを精査することによって可視化することができる。図5は、触刺激パターン立ち上がり時刻からの3秒間を0.5秒間隔で、その身体的挙動を解析した結果の一例である。上から順に触刺激パターン1、2a、2b、3a、3bそれぞれの解析結果を表している。35種類の制御パラメータ各サンプルが無刺激時サンプルを含むクラスタに属していれば白色ボックス、無刺激時サンプルを含むクラスタに属さなければ赤色ボックスで示されている。刺激提示直後は多くの場合、無刺激とは異なる挙動を示すものの、例えばパターン2bなどはその効果が1秒程しか持続されないと解釈される。この観点においてパターン2a-2b間を比較すると、触刺激の効果には左右差があることが見いだされる。

同様のことは、パターン3a-3b間にも認められ、結果として、左から右へ刺激像が流れるパターン2bおよび3bはその効果その逆の流れと比較して短いことが示唆された。

本研究課題では、身体動作を誘導する技術の確立を目的として、触刺激を利用して身体を所望の方向へ誘導、ガイドするための技術について検討した。脱着が容易な触刺激プレート（触覚ディスプレイ）に基づく身体誘導装置プロトタイプを製作し、身体動作（マウスクリック動作）時の加速度値に連動させて触刺激パターンを提示するシステムを構築した。このシステムの評価実験として、例えば触刺激プレート4枚を体幹部、腹回りに装着し、種々の触刺激パターンを提示、それに伴う身体的な挙動を動態計測して、身体動作への影響、効果が調査された。計測データの解析は混合正規分布モデルに基づくクラスタリングを用いた時系列の単一試行解析手法が適用され、その効果が可視化された。以上の研究成果から触刺激と身体的挙動との関連性が精査され、触覚ディスプレイ型身体誘導装置の実用化へ向けての道筋が示された。

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7件）

①Masato Haga、Masafumi Uchida、Propulsion modeling of caudal fin driving system on balloon fish robot、Artif Life and Robotics、2016、pp. 10-16、査読有、DOI: 10.1007/s10015-016-0328-z

②Ryo Hasegawa、Amir Maleki、Masafumi Uchida、Evaluation of Body Sway Using Tactile Stimuli on the Body Trunk、IEEJ Tran. On Electronics, Information and Systems、Vol.136、No.8、2016、pp.1135-1141、査読有

③Kunio Horiba、Masafumi Uchida、Control of body sway using a tactile device、Artificial Life and Robotics、vol. 19、No. 4、2014、pp.363-369、査読有

④橋本和磨、内田雅文、進行波方程式に基づくバルーン魚ロボットの制御、IEEJ Trans. EIS、vol.134、no. 3、2014、pp.433-440、査読有

⑤内田雅文、水野統太、鼻部皮膚温を用いた点滅視覚刺激に伴う不快感定量評価の試み、IEEJ Trans. EIS、vol.134、no. 2、2014、pp.286-292、査読有

⑥Ali Mokhtari、Masafumi Uchida、EMG analysis accompanied by tactile apparent movement、Artificial Life and Robotics、vol.17、no.3-4、2013、pp.362-366、査読有

⑦Akio Nozawa、Masafumi Uchida、Tota Mizuno、Analysis of 1/f Fluctuation of Keystroke Dynamics and Heart Rate Variability、in Proc. 22nd Int. Conf. on Noise and Fluctuations (ICNF)、2013、pp.24-28、査読有、June 2013 (Montpellier, France)、2013 (c) IEEE、doi: 10.1109/ICNF.2013.6578925

〔学会発表〕（計24件）

①Amir Maleki、Masafumi Uchida、Non-contact measurement of eyeblink by using Doppler sensor、The 22th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 22th 2017)、CD-ROM OS17-4、2017年1月19日、B-con プラザ（大分県別府市）

②Masayuki Miwa、Masafumi Uchida、Noncontact measurement of a respiratory cycle using a microphone array、The 22th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 22th 2017)、CD-ROM OS17-3、2017年1月19日、B-con プラザ（大分県別府市）

③Masato Haga、Masafumi Uchida、Propulsion modeling of caudal fin driving system on Balloon Fish Robot、The 21th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 21th 2016)、CD-ROM OS18-1、2016年1月22日、B-con プラザ（大分県別府市）

④大豆生田卓也、内田雅文、振動刺激に伴う身体動揺の混合正規分布モデルによる特徴抽出、電気学会研究会資料、計測研究会、2016年10月14日、電気学会会議室（東京都千代田区）

⑤寺田雅貴、長谷川諒、内田雅文、触刺激に伴う身体動揺の混合正規分布モデルに基づく時系列解析、電気学会研究会資料、産業計測制御研究会、2016年6月23日、計算科学センタービル（兵庫県神戸市）

⑥三和正幸、内田雅文、心拍音傾聴時における聴覚刺激周期と精神的ストレスに関する一考察、信学技報、MBE2015-126、2016年3月23日、玉川大学（東京都町田市）

⑦寺田雅貴、内田雅文、体幹断面に直交座標系を定めた触覚ディスプレイ、信学技報、MBE2015-126、2016年3月23日、玉川大学（東京都町田市）

⑧熊谷亮、内田雅文、運筆作業を用いた精神的ストレスの評価、信学技報、MBE2015-126、2016年3月23日、玉川大学（東京都町田市）

⑨Ryo Hasegawa、Amir Maleki、Masafumi Uchida、Control of Body Sway Using Tactile Stimuli on the Body Trunk、The International Conference on

Electronics and Software Science (ICCESS2015)、pp.223-228、2015年7月20日、サンポート高松(香川県高松市)

⑩Amir Maleki, Yuki Oshima, Akio Nozawa, Tota Mizuno, Masafumi Uchida, Analysis of Fluctuation in Repeated Handwriting Based on Psychophysiological Factors, 7th International Conference on Unsolved Problems on Noise, no. 21, 2015年7月13日、バルセロナ(スペイン)

⑪Yuki Oshima, Akio Nozawa, Tota Mizuno, Masafumi Uchida, A Consideration of Fluctuation Features in Repetitive Handwriting, The 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 20th 2015), CD-ROM OS16-5, 2015年1月23日、B-con プラザ(大分県別府市)

⑫熊谷亮, 内田雅文, 運筆作業における精神作業負荷評価の試み, IEEE 主催 2015年度第2回学生研究発表会, 2015年12月24日、日本大学(千葉県船橋市)

⑬三和正幸, 内田雅文, 拍動間隔の異なる心拍音傾聴時のストレス評価, IEEE 主催 2015年度第2回学生研究発表会, 2015年12月24日、日本大学(千葉県船橋市)

⑭寺田雅貴, 内田雅文, 振動刺激を用いた物体形状提示システム, IEEE 主催 2015年度第2回学生研究発表会, 2015年12月24日、日本大学(千葉県船橋市)

⑮大豆生田卓也, 内田雅文, 振動刺激が身体動揺に及ぼす影響に関する一考察, 平成27年電気学会産業応用部門大会シンポジウム「診断・監視と周辺技術」, 2015年9月4日、大分大学(大分県大分市)

⑯長谷川諒, 水野統太, 内田雅文, 触刺激に伴う身体動揺における空間的パターンの効果に関する研究, 信学技報, MBE2014-18, 2014年6月13日、北海道大学(北海道札幌市)

⑰Masato Haga, Masafumi Uchida, Evaluation of Balloon Fish Robot Based on Traveling Wave Equation, 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Paper ID:43, 2014年5月15日、コラート(タイ)

⑱Shunsuke Kawazura, Akio Nozawa, Hirotoashi Asano, Naoaki Itakura, Kazuyuki Mito, Masafumi Uchida, Tota Mizuno, Estimation of the autonomic nerve activity with facial thermogram, 2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Paper ID:107,

2014年5月15日、コラート(タイ)

⑲Shunsuke Kawazura, Naoaki Itakura, Kazuyuki Mito, Masafumi Uchida, Tota Mizuno, Evaluation of mental work-load with facial thermogram, UEC & KMUTT Workshop 2014 for Control Applications, 2014年5月13日、バンコク(タイ)

⑳Masato Haga, Masafumi Uchida, Control of balloon fish robot, UEC & KMUTT Workshop 2014 for Control Applications, 2014年5月13日、バンコク(タイ)

㉑Kunio Horiba, Masafumi Uchida, Control of Body-Sway Using a Tactile Device, The 19th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014), CD-ROM OS16-1, 2014年1月23日、B-con プラザ(大分県別府市)

㉒Tadayuki Murata, Masafumi Uchida, Analysis of Biological Signal by Using Multilayer Neural Network, The 19th International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014), CD-ROM OS17-1, 2014年1月23日、B-con プラザ(大分県別府市)

㉓Kunio Horiba, Ali Mokhtari, Tota Mizuno, Masafumi Uchida, EMG analysis and Evaluation of Body-Sway Evoked by Tactile Stimuli, 2013 10th International Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Paper ID:1605, 2013年5月15日、クラビ(タイ)

㉔大島佑貴, 野澤昭雄, 水野統太, 内田雅文, 反復的な手書き随意運動の動態解析, 電気学会, 計測研究会, 2013年11月22日、佐賀大学(佐賀県佐賀市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 雅文 (UCHIDA, Masafumi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 00245341