

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760194

研究課題名(和文)視触覚統合型錯触覚技術の研究

研究課題名(英文)Research on haptic-illusion-based visuo-haptic interface technology

研究代表者

嵯峨 智 (Saga, Satoshi)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：10451535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：近年、情報インタフェースとして、タッチスクリーンのようにマルチモーダルな触覚デバイスが世にあふれるようになり、実物に近い触感を提示しているものもある。しかし、錯触覚ディスプレイは、他の感覚情報や物理情報との齟齬を生じやすい。

そこで我々は視覚などマルチモーダルな情報と齟齬をおさえた錯触覚ディスプレイとして、触覚におけるリッチな質感を提供し、布などのテクスチャ感を提示可能な方式を提案し、凹凸とテクスチャを同時に提示可能なデバイスを開発した。また、触覚信号として多く利用される振動信号そのものの定量的評価として、機械学習を用いた手法およびより弁別精度を向上可能な振動信号を合成する手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：In recent years, lots of multimodal tactile interfaces such as touchscreens have been developed, and some of them enables realistic tactile sensation. However, illusional tactile display may induces conflict between other sensory information.

Here we proposed and developed a method for displaying bump and texture information simultaneously, which realizes rich tactile feelings without inducing conflict between sensory information. Furthermore, we proposed machine-learning-based evaluation method of vibratory signals for tactile display, and integration method of artificial signals whose discrimination ability become higher than original.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学, 知能機械学・機械システム

キーワード：触覚ディスプレイ 錯触覚

### 1. 研究開始当初の背景

近年、情報インタフェースとして、タッチパネルインタフェースなど、視覚などマルチモーダルな情報との統合を目指したデバイスが世にあふれるようになって久しく、iPadのように個人がタッチパネルを情報機器端末とのインタフェースとして利用する機会がますます増えるようになった。このような情報インタフェースだが、現在の情報インタフェースの多くには、表示する対象の質感をよりの確に伝達可能な触覚によるフィードバックが存在しない。触覚による質感伝達を実現することで、安心感や信頼感をユーザに表現でき、情報や知識だけではない、より情感に訴求するものを提供することができるようになる。

このような現状において、研究分野における近年の触覚ディスプレイの多くは、人間の知覚特性としての錯触覚を用いたものが主流となりつつある。錯触覚とは、触覚における錯覚現象であり、実物に近い情報提示が可能となっている。液晶パネルとの組み合わせを前提とした研究として、Chubb, et al.によるスクイーズ膜を利用した摩擦変化による触感デバイスや、Konyo, et al.による、振動周波数制御と仮想ポインタを利用した触感デバイスなどがある。しかし、これらのデバイスは錯触覚を利用しているため、他の感覚情報や物理情報との齟齬を生じやすく、質感伝達にとって好ましくない。

ここで我々は、視覚などマルチモーダルな情報を利用可能な触覚インタフェースにおいて、錯触覚を積極的に利用しながら、触覚における質感を提供するために要求される触覚について検討する。そして、プロトタイプとして、剪断力を利用し、錯触覚と力覚を同時に提示可能な2.5次元触覚提示手法を提案する。さらに、錯触覚を用いた触覚デバイスにおけるその他の感覚情報との統合提示についてプロトタイプを用いた心理物理実験を通して検討し、最適な提示手法を確立する。そして、錯触覚を積極的に利用した実用的な視触覚統合型触覚提示デバイスを開発する。

### 2. 研究の目的

本研究は、これまで開発されてきた多くの触覚提示技術が着目してこなかった錯触覚提示技術に焦点をあてる。錯触覚提示における実物に近い表現力を活かしながらも、錯触覚における弱点であった、他の感覚情報とのずれを解消するための手法について検討を行う。

これらを解消することで、錯触覚を利用した実物のような表現を可能にしながらも、他の感覚情報との齟齬を生じにくい、感覚情報間の統合提示を可能とすることを目指す。

そのための基礎として、はじめにさまざまな錯触覚提示それぞれについて、どのような状況において感覚情報が齟齬を生じるのか

についての条件出しを被験者を通じた実験により明らかにする。

その後、感覚情報の齟齬を生じにくい錯触覚を選定し、提示デバイスのプロトタイプを作成する。その一つとして我々は既に、剪断力を利用し、錯触覚と力覚を同時に提示可能な触覚デバイスを検討している。これらプロトタイプを用いて、錯触覚を用いたときの錯触覚レンダリング手法の詳細について実装をしながら検討をすすめる。また、同時にその他の詳細な錯触覚における網羅的な調査を行うため、汎用の力覚ディスプレイを用いての感覚齟齬についての実験を行う。本実験から得られる成果をプロトタイプデバイスに統合することで、汎用的な錯触覚提示デバイスの提案を行う。

我々が現在提案している設計指針としては下記のような項目がある。これらの項目について念頭におきつつ、上記心理物理実験の結果を加味することで、より最適な設計指針を探る。

- 自己受容感覚を積極的に利用
- 視覚情報との2次元対応
- 触覚における空間分布表現の抑制

このようにして網羅的な実験から得られた成果に基づき、錯触覚提示における感覚齟齬と、齟齬を避けるための手段についての体系的な理論を構築し、今後の錯触覚提示デバイスの設計指針を作ることを目的とする。

### 3. 研究の方法

近年の情報インタフェースの多くは、タッチパネル技術に支えられるものが急速に増加してきた。このようなインタフェースの普及とともに、触覚ディスプレイに関する技術開発が企業においても多く行われるようになってきた。しかしながら、多くのデバイスはまだ情報提示として充分ではなく、また将来的な展望よりも、現在の操作性のみに着目して設計されているようにみうけられる。そこで我々は、触覚による質感伝達を実現することで、通常のインタフェース操作における操作感はもちろん、加えて安心感や信頼感をユーザに表現でき、情報や知識だけではない、より情感に訴求するものを提供することを実現することを目標とした。そのための実現手段として、近年の触覚ディスプレイ開発において着目されている錯触覚をとりあげる。このような研究として、Chubb, et al.によるスクイーズ膜を利用した摩擦変化による触感デバイスや、Takasaki, et al.による表面弾性波を利用した触感デバイス、Konyo, et al.による、振動周波数制御と仮想ポインタ

を利用した触感デバイスなどがある。また、周期の異なる振動子をくみあわせ、そのうなりを知覚させる触感デバイスも牧野らにより開発されている。しかし、これらのデバイスは錯触覚を利用しているため、他の感覚情報との齟齬を生じやすく、質感伝達にとって好ましくない。例えば、視覚情報と触覚情報

の不整合や、物理シミュレータモデルと実世界の不整合などである。そこで我々は、錯触覚を利用しながらも、異なるモダリティとの不整合を生じにくい、高品位な質感を提示可能な触覚インタフェースの実現を目指す。

上記のような目標のもと、初年度は、錯触覚を利用しつつも視覚モダリティとの齟齬を抑えた触覚ディスプレイを開発する。そのための方式の一つとして我々は、剪断力を用いる。視覚ディスプレイに対して平行な方向への力提示を効果的に利用し、錯触覚により視覚ディスプレイに垂直方向の凹凸が表現可能な2.5次元触覚ディスプレイを作成する。

剪断力を用いることにより、垂直方向の変位を起こすことなく操作者に垂直方向の変位を感じさせることができる。また、デバイス自体も大変簡略にできることや、これまでの振動型のデバイスでは出せなかった大きな変位を提示可能なことなど、さまざまな利点がある。

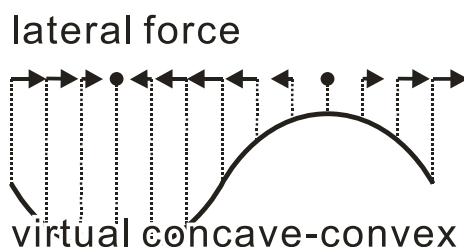


図 1 剪断力による凹凸表現

このように剪断力を用いて凹凸を表現する手法(図 1)は Minsky, et al. 他によって検討されているが、効果的な利用形態については提案されていない。また、定量的な情報提示についての検討もなされていない。そこで我々は視覚ディスプレイとの統合により、視触覚が統合された状態での、錯触覚を効果的に利用した質感提示を実現するプロトタイプを開発する(図 2)。

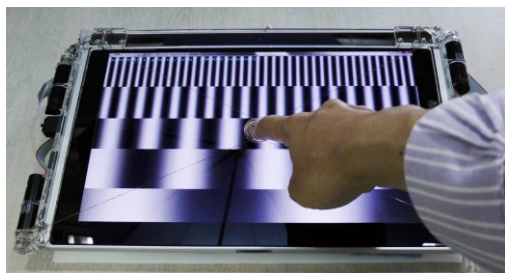


図 2 錯触覚を利用した視触覚提示デバイス例

また、既存の力覚デバイスである PHANToM を利用しながら、剪断力提示の錯触覚特性について心理物理実験を通じて調査する。すなわち、錯触覚を利用しながら、視触覚が統合された情報を与えたときの質感について、被験者を募り調査研究を行う。その後、初年度後半からは、開発されたプロトタイプを利用して同様の心理物理実験を行い、プロトタイプにおける剪断力提示の錯

触覚特性、質感に対する影響を調査する。

その後、25年度からは、それまでに得られた知見に基づき、いくつかの新たな錯触覚提示デバイスを試作する。知見との比較を心理物理実験的に確認しつつ、錯触覚提示においてより感覚間の齟齬が生じない錯触覚レンダリング手法の詳細について実装をしながら検討をすすめる。また、同時に新たに得られた知見の詳細な錯触覚における網羅的な調査を行うため、力覚ディスプレイ PHANToM を用いての感覚齟齬についての詳細な心理物理実験を行い、デバイスの設計論としての完成度を上げる。

錯覚の齟齬の主要素として考えられることは、視覚情報、聴覚情報、皮膚感覚情報、

自己受容感覚情報それぞれの齟齬であるが、これらのうち、どの程度までをあわせ込むことで感覚的な齟齬として意識に上らなくなるのか、それぞれのパラメータを動的に変更しながら調査をすすめる。我々が現在提案している設計指針としては下記のような項目がある。これらの項目について念頭におきつつ、上記心理物理実験の結果を加味することで、より最適な設計指針を探る。

- 自己受容感覚を積極的に利用

ヒトが触れるという動作そのものも触覚であるという、アクティブタッチの概念を積極的に利用し、ヒトの空間把握を阻害しない錯覚を選定する

- 視覚情報との2次元対応

タッチパネルなど広く普及している平面的な情報提示デバイスにおける親和性を鑑み、それでもなお触覚情報との齟齬を生じない仕組みとして、視覚と触覚の2次元対応を優先したデザインを考える

- 触覚における空間分布表現の抑制

触覚における空間分布、すなわち指などでエッジなどを感じる情報は大変重要な情報ではあるが、現状の技術でこれらの微細なテクスチャを提示可能なデバイスを汎用品として作成することは難しい。そこで、触覚における空間分布表現がなくても、おおまかにテクスチャを理解可能な手法を検討する

このようにして網羅的な実験から得られた成果に基づき、錯触覚提示における感覚齟齬と、齟齬を避けるための手段についての系統的な理論を構築し、今後の錯触覚提示デバイスの設計指針を作ることを目指す。このような系統的理論により、誰しもが錯触覚提示デバイスを容易に設計し、多くの情報インタフェースへの触覚情報の付加を加速させることができる。

#### 4. 研究成果

我々は触覚情報を提示可能であり、かつ視覚などマルチモーダルな情報と齟齬をおこすことなく、それぞれの情報を同時に取得可能なインタフェースの開発を目指した。このとき、剪断力を用いた凹凸表現手法の拡張による錯触覚を積極的に利用することで、触覚

におけるリッチな質感を提供し、布などのテクスチャ感を提示しながらも視覚情報との齟齬を起こすことのない方式を提案し、凹凸とテクスチャを同時に提示可能なデバイスを開発した。

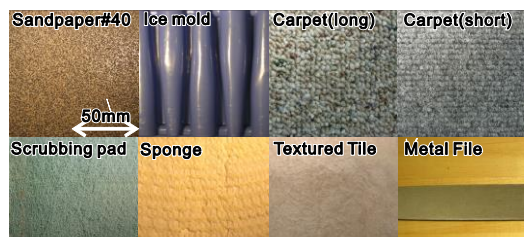
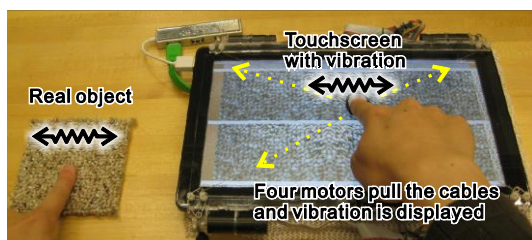


図 4 視触覚提示デバイスとテクスチャ表現例

開発したデバイスにより、定量的な凹凸表現と、いくつかのテクスチャ表現が可能で、凹凸表現とテクスチャ表現を同時に知覚可能なことを実験的に確認した。



図 3 弁別可能性評価のための振動取得装置

また、これまで被験者を用いた評価のみが主な定量化手法であった触覚提示装置における入力情報の信号である振動信号について、より普遍的な評価基準として、振動信号そのものの定量的評価をするため、複数の振動信号の弁別可能性を評価する、サポートベクターマシンによる機械学習を用いた手法を提案した。そして、単純に記録された振動信号を利用する従来手法より弁別精度を向上可能な振動信号を人工的に合成する手法を提案した。

## 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)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① Satoshi Saga, Ryosuke Taira and Koichiro Deguchi. ecise Shape Reconstruction by Active Pattern in Total-Internal-Reflection-Based Tactile Sensor. *IEEE Transaction on Haptics*, Vol. 7, No. 1, pp. 67-77, 2014. 10.1109/TOH.2013.61 (査読有).

〔学会発表〕(計 12 件)

- ① 嵯峨 智. 熱放射を利用した力覚ディスプレイの提案. 第 14 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2013.12.20, 神戸 (査読無).
- ② 嵯峨 智. 熱放射を利用した力覚ディスプレイの光学的制御. 第 11 回力触覚の提示と計算研究会, 2013.11.09, 大宮 (査読無).
- ③ 嵯峨 智. 熱放射を利用した力覚ディスプレイ. 日本バーチャルリアリティ学会 第 18 回大会論文集, pp. 156-157, 2013.09.18, 大阪 (査読無).
- ④ 嵯峨 智, 出口 光一郎. 振動触覚信号の機械学習による分類と評価. In *Proceedings of the 2013 JSME Conference on Robotics and Mechatronics*, Tsukuba, Japan, pp. 2A2-A01, 2013.05.24 (査読無).
- ⑤ Satoshi Saga and Ramesh Raskar. Simultaneous geometry and texture display based on lateral force for touchscreen. In *Proceedings of IEEE World Haptics 2013*, pp. 437-442, 2013.04.16, Daejeon, Korea (査読有).
- ⑥ 嵯峨 智, 出口 光一郎. 振動触覚信号の機械学習による分類と検討. *IEICE-HIP2012-99*, Vol. 112, No. 483, pp. 127-130, 2013.03.14, 沖縄 (査読無).
- ⑦ 嵯峨 智, Ramesh Raskar. 剪断力による形状とテクスチャの重畳提示手法. *インタラクション 2013 予稿集*, pp. 119-124, 2013.03.02, 東京 (査読有).
- ⑧ 嵯峨 智, 出口 光一郎. 振動触覚信号の機械学習による分類. 第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, pp. 2058-2061, 2012.12.20, 福岡 (査読無).
- ⑨ Satoshi Saga and Ramesh Raskar. Feel through window: Simultaneous geometry and texture display based on lateral force. In *Conference Abstracts and Applications of SIGGRAPH ASIA 2012*, Singapore, 2012.11.29, Singapore (査読有).
- ⑩ 嵯峨 智, Ramesh Raskar. 剪断力による振動テクスチャ情報提示手法. 第 9 回力触覚の提示と計算研究会, pp. 37-40, 2012.11.16, 大阪 (査読無).
- ⑪ 嵯峨 智, Ramesh Raskar. 剪断力によるテクスチャ情報提示手法. 日本バーチャルリアリティ学会第 17 回大会論文集, pp. 393-396, 2012.09.13, 東京 (査読無).
- ⑫ 嵯峨 智. 触覚インタフェースの双方向性. No.12-78 触覚講習会「触覚技術の基礎と応用」-ヒトの触覚理解からヒューマンマシンインタフェースやロボットへの応用まで, 2012.07.20, 名古屋 (査読無).

〔図書〕(計 4 件)

- ① 嵯峨 智. 廣瀬 通隆 他 (ed.). 感覚バ  
イス開発. エヌティーエス, 2014 (印刷  
中).
- ② 嵯峨 智. 宮岡 徹 他 (ed.). 触覚認識  
メカニズムと応用技術-触覚センサ・触  
覚ディスプレイ-【増補版】. Ch. 3-2-10,  
4-3-7 S&T 出版, pp. 320-326, 510-516,  
2014.
- ③ 嵯峨 智. 最上 公彦 他 (ed.). 月刊  
研究開発リーダー 2013 年 10 月号. 技  
術情報協会, 2014.
- ④ 嵯峨 智. 椎尾 一郎 他 (ed.). 次世代  
ヒューマンインタフェース開発最前線.  
エヌティーエス, pp. 463-472, 2013.

[その他]

ホームページ等

<http://saga-lab.org/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

嵯峨 智 (SAGA SATOSHI)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：10451535