

平成 21年 3月31日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760179
 研究課題名 (和文) 振動刺激への錯覚を利用した触覚インターフェースの研究
 研究課題名 (英文) Tactile Interfaces Using Sensory Illusion Induced by Vibrations
 研究代表者 昆陽 雅司 (KONYO MASASHI)
 東北大学・大学院情報科学研究科・助教
 研究者番号：20400301

研究成果の概要：素材の手触りのような複合的な触覚情報をできるだけ単純な機械インターフェースで呈示することを目指し、触覚受容器の周波数応答特性を利用して、単純な振動刺激で受容器を選択的に刺激する方法を提案した。触対象をなぞった際の皮膚の変形挙動と触覚受容器の活動を解析した。その結果、圧覚・粗さ感・摩擦感を振動刺激によって呈示することに成功した。また、超音波振動の振幅変調によって振動刺激を呈示する触覚インターフェースを開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	180,000	3,780,000

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：人間機械システム

1. 研究開始当初の背景

触覚ディスプレイの研究は近年盛んに研究されており、触覚受容器の活動を制御するという手法もいくつか提案されている。しかし、圧感・粗さ感・摩擦感などを複合的な触覚を呈示するようなディスプレイは、実現されていなかった。一方、代表者は、振動刺激を用いて複合的な触覚を呈示する手法を提案し、触覚ディスプレイを実際に構築することによってその有効性を実験的に示してきた。本課題研究では、これまでのヒューリスティックに求めてきた刺激の呈示法を、指腹部の有

限要素モデルによって解析的に導出するものであり、より最適な刺激の呈示が実現できると期待できる。また、触感合成に必要な振動刺激を十分に呈示可能な実用的な機会インターフェースが存在しておらず、研究開発が必要である。

2. 研究の目的

素材の手触りのような複合的な触覚情報をできるだけ単純な機械インターフェースで呈示することを目指す。触覚を再現するには、触対象の物理的因子をそのまま呈示する必

要はなく、皮膚内部の触覚受容器の活動を一致させればよい。そこで、本研究では、触覚受容器の周波数応答特性を利用して、単純な振動刺激で受容器を選択的に刺激する方法を提案する。この振動刺激を合成することによって、ヒトが触対象をなぞった際の受容器活動を再現し、あたかも本物の触対象に触れたかのように錯覚させる触覚呈示法を確立する。本研究では、これを実現するために、触対象をなぞった際の皮膚の変形挙動と触覚受容器の活動を解析し、その受容器活動を振動刺激で再現する機械インターフェースを構築する。

3. 研究の方法

(1) 触覚ディスプレイ法

本研究のポイントは、触対象をなぞった際の皮膚の変形挙動と触覚受容器の活動を理解し、その活動を代替刺激である振動刺激で再現することである。代表者らがこれまで構築してきたヒト指腹部構造と触覚受容器配置を再現した有限要素モデル(図1)を用いて、皮膚表面への機械刺激と皮膚内部の触覚受容器位置での力学的現象を定量的に解析する。この解析結果と触覚受容器の周波数応答特性を考慮し、受容器活動を振動による代替刺激で再現する方法を検討する。具体的には、触対象の剛性・表面形状・摩擦係数などの物理パラメータが、触運動を行った際の触覚受容器の活動にどのように影響するかを解析し、その受容器活動の再現を試みる。特に、以下の3種の触覚受容器とそれに関連する触覚情報の呈示法を確立する。

- ① 圧感の呈示：圧覚を生成するメルケル小体の効率的な刺激
- ② 粗さ感の呈示：触運動に伴う機械刺激の周波数成分の変化とマイスナー小体の応答の再現
- ③ 摩擦感の呈示：皮膚表面の接線力の変化とパチニ小体の応答の再現

(2) 触覚インターフェースの開発

機械インターフェースの構築に関しては、代表者のこれまでの研究成果である、分布振動型触覚ディスプレイを発展させ、本研究課題の駆動法、形状を反映させることによって、本研究の有効性を検証する。また、超音波振動の振幅変調を用いた小型触覚インターフェースについても研究開発を行う。このデバイスのメリットは、単一のアクチュエータで、分布的な振動を生成可能であることと、振動周波数成とその振幅を厳密に制御できることである。本課題研究の提案手法をこの超音波触覚ディスプレイに適用することによって、非常に単純な機械インターフェースによって、複合的な触感が呈示できることを示す。

4. 研究成果

(1) ヒト指腹部有限要素モデルと触覚受容器応答モデルの構築

ヒト指腹部有限要素モデルを利用して、皮膚内部の触覚受容器の活動を推定する手法を確立した。触覚受容器の活動は、ひずみエネルギーとの相関が知られていることから、触覚受容器位置でのひずみエネルギー分布の変動と周波数応答特性を考慮して、触覚受容器の活動を推定した。

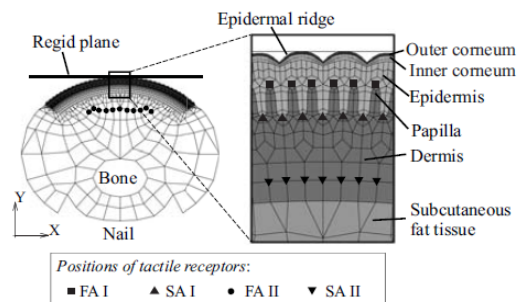


図1：指腹部有限要素モデルの構築

(2) 振動刺激を用いた圧感の呈示法の確立

(1)の触覚受容器応答モデルによって5Hz以下の低周波振動によるSA I受容器の活動を推定し、それと同等の振動刺激を実際に与えることにより、振動ではない静的圧覚を呈示できることを心理物理実験により実証した。

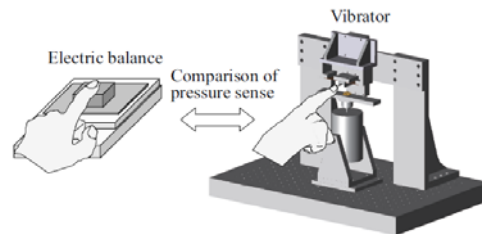


図2：振動刺激による圧覚の呈示実験

(3) 波長伝達による粗さ感の呈示法の検討

触対象の空間波長に基づいて振動刺激を生成することで、粗さ感が呈示できることを心理物理実験によって確認し、触覚伝達を試みた。



図3：分布振動型ディスプレイによる粗さ感呈示

(4) 振動刺激を用いた摩擦感の呈示法の開発

ヒト指腹部の触察時の固着・滑り現象に着目し、固着から滑りに遷移した際の触覚受容器の活動を高周波の振動刺激によって制御し、摩擦感を呈示する手法を開発した。また、皮膚と接触面との固着・滑り現象を計測し、1自由度振動系モデルによって疑似的に再現した。

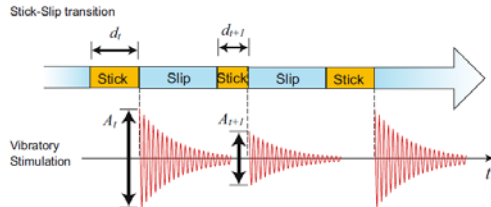


図4：固着・滑り現象の触覚受容器活動に基づく摩擦感呈示法のコンセプト

振動刺激は、 piezo素子を用いた振動子を力覚呈示デバイスに取り付け、押し付け力、触速度に応じた固着・滑り運動を疑似的に発生させることで生成した。力覚呈示デバイスで実際に接線力を呈示した場合と、振動刺激による錯覚で摩擦感を呈示した場合の主観的感覚強度を比較した結果、振動刺激でも想定した摩擦係数と高い相関で摩擦感を呈示できること、力覚呈示デバイスに比べると約1/7の主観的強度になることを確認した。

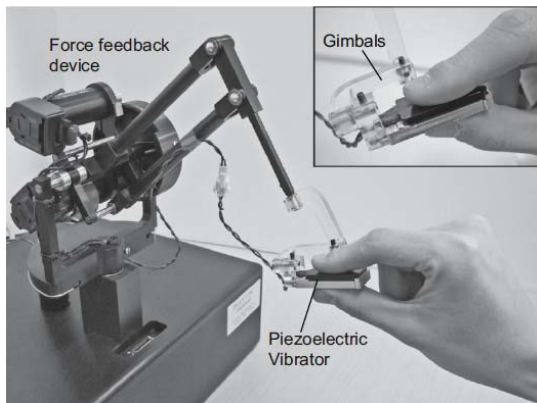


図5：圧電振動子を用いた摩擦感呈示

(5) 超音波振動の振幅変調による触感呈示法の開発

超音波振動を触覚知覚閾で振幅変調することにより、直接振動を与えたときと同じように刺激を与えられることを確認した。

超音波振動による触感呈示法を実現するために、共振を利用してピンアレイ状の弾性体を単一の圧電素子で駆動する触覚ディスプレイを開発し、ゲームコントローラのジョイ

スティック部に装着可能であることを検証した。また、ランジュバン振動子による超音波振動の振幅変調を用いた皮膚感覚呈示と力覚呈示装置を組み合わせ、複数の素材感の呈示を実現した。



図6：ピンアレイ型超音波振動子を用いた触覚インターフェースの開発

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)

- ① Masashi Konyo, Yohei Motoki, Hiroshi Yamada, Satoshi Tadokoro, and Takashi Maeno, Producing Distributed Vibration by a Single Piezoelectric Ceramics for a Small Tactile Stimulator, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 3698-3704, 2008, 査読有り
- ② Yuta Shiokawa, Atsushi Tazo, Masashi Konyo, and Takashi Maeno, Hybrid Display of Realistic Tactile Sense using Ultrasonic Vibrator and Force Display, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2008), pp. 3008-3013, 2008, 査読有り
- ③ Masashi Konyo, Hiroshi Yamada, Shogo Okamoto and Satoshi Tadokoro, Alternative Display of Friction Represented by Tactile Stimulation without Tangential Force, EuroHaptics '08: Proc. of the 6th international conference on Haptics, pp. 619-629, 2008, 査読有り
- ④ Shogo Okamoto, Masashi Konyo, Takashi Maeno, and Satoshi Tadokoro, Roughness Feeling Telepresence System with Communication Time-Delay, Proc. The Second Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interface for Virtual Environment and Teleoperator Systems (World Haptics 2007), pp. 595-596, 2007, 査読有り

- ⑤ 元木陽平, 山田浩史, 昆陽雅司, 田所諭, 前野隆司, 超音波振動を用いた触覚インターフェースのための小型振動子の開発, 第 12 回ロボティクスシンポジア, pp. 466-471, 2007, 査読有り
- ⑥ 岡本正吾, 昆陽雅司, 前野隆司, 田所諭, 表面波長の実時間推定に基づく粗さ感伝達システムの研究, 第 12 回ロボティクスシンポジア, pp. 58-63, 2007, 査読有り
- ⑦ Shogo Okamoto, Masashi Konyo, Yuka Mukaibo, Takashi Maeno, and Satoshi Tadokoro, Real-time Estimation of Touch Feeling Factors Using Human Finger Mimetic Tactile Sensors, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3581-3586, 2006, 査読有り

[学会発表] (計 9 件)

- ① 山田 浩史, 振動刺激を用いた摩擦感呈示法 ~Stick-Slip 現象の撮影・計測に基づく刺激の生成~, 第 9 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(SI2008), 2008 年 12 月 7 日, 岐阜市
- ② 山田 浩史, Stick-Slip 現象に基づく振動刺激を用いた摩擦感呈示法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, 2008 年 6 月 5 日, 長野市
- ③ 塩川 雄太, 超音波振動子と力覚呈示装置の統合に基づく複合触感呈示法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, 2008 年 6 月 5 日, 長野市
- ④ 元木 陽平, 超音波振動を用いた触覚インターフェースの開発 第 3 報:パラレル配置型圧電バイモルフを利用した振動子の開発, 第 8 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, 2007 年 12 月 20 日, 広島市
- ⑤ 昆陽 雅司, 触覚受容器の神経活動に着目した皮膚刺激による摩擦感呈示, 第 8 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, 2007 年 12 月 20 日, 広島市
- ⑥ 元木 陽平, パラレル配置した圧電バイモルフの共振を利用した触覚インターフェースの開発, 第 28 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 2007 年 11 月 14 日, つくば市
- ⑦ 山田 浩史, 振動刺激を用いた摩擦感呈示法, 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, 福岡市

- ⑧ 元木 陽平, 超音波振動を用いた触覚インターフェースの開発第 2 報:ピンアレイの共振を利用した小型圧電振動子の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07, 2007 年 5 月 11 日, 秋田市
- ⑨ 横田 求, 低周波振動刺激を用いた圧覚ディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会, 2006 年 9 月 7 日, 仙台市

[その他]

ホームページ等

<http://www.rm.is.tohoku.ac.jp/~konyo/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

昆陽 雅司 (KONYO MASASHI)

東北大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号: 20400301

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: