

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 20 日現在

機関番号： 15401
 研究種目： 若手研究 (B)
 研究期間： 2011 ~ 2012
 課題番号： 23700209
 研究課題名 (和文)
 滑り知覚規範による人の力制御戦略のモデル化とその工学的応用
 研究課題名 (英文)
 Investigation of human's force control based on slip detection model and its applications
 研究代表者
 栗田 雄一 (KURITA YUICHI)
 広島大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号： 80403591

研究成果の概要 (和文)：

本研究課題では、人の滑り知覚規範の力制御戦略を工学的に応用可能な形で定式化し、人と相互作用する実システムに応用することを目的とした。期間全体の成果として、人の滑り知覚規範をヘルツ接触理論に基づき偏心度の概念からモデル化する技術を開発し、これを利用して重量や摩擦感を錯覚させるデバイスを開発した。また確率共鳴現象を利用した触覚知覚感度向上デバイスを開発した。

研究成果の概要 (英文)：

This project aimed to formulate human's force control capability via a slip detection model at a fingertip and to apply the human's force control model to real systems. We have developed a slip detection model based on Hertzian contact theory, and applied the model to a haptic illusion device. We have also proposed a wearable sensorimotor enhancer based on a stochastic resonance effect.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム

1. 研究開始当初の背景

人の優れた力制御を実現するために人が利用しているのが指先局所滑りの知覚であると言われている。これまでに研究代表者は滑り知覚規範による力制御を実現するために、簡易な計測機構により接触面の局所滑り状態を定量化できる指標（偏心度）を提案していたが、滑り知覚結果を踏まえて力を制御す

るモデルは提案されていなかった。人の知覚規範による力制御戦略をモデル化することは、新しいインタフェースを開発するのに大いに有効である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、触力覚の知覚ならびに力制御機能を工学的に応用可能な形で定式化し、

人と相互作用する実システムに応用することにある。たとえば滑り知覚の重要性・有用性は古くより明らかにされていることであるが、問題はこれを工学的に再現することが難しいという点にある。人は1平方センチあたり5000個以上あるといわれる触覚受容器の働きにより接触や滑りを知覚しているが、現在の技術でこれを工学的に再現することは難しい。そこで我々は、接触面をカメラ等で取得し、エリアごとの接触面変化の割合を求めることで局所滑り状態を定量指標化する技術を活用する。この技術を用いることで従来難しかった人の滑り知覚規範の運動戦略を工学的に再現し、実システムに応用することが可能になる。また、確率共鳴現象を利用して人の触覚機能を改善することにも取り組む。確率共鳴現象とは微弱な信号に最適なノイズを重ね合わせることで、本来知覚できない微弱な信号を感知できるようになる現象である。知覚向上を生起できるウェアラブルデバイスが開発できれば、指先を使った精緻な運動のサポートにつながる。

3. 研究の方法

研究目的を実現するために、局所滑り定量指標化技術である「偏心度」の概念を用いる。偏心度は物体との接触面をカメラ等で計測するだけで簡単に取得できるため、小型かつ安価なシステム構成で計測装置を製作できる利点がある。まず、様々な条件における偏心度プロファイルの取得し、偏心度を入力とし把持力を出力とする伝達関数の同定とモデル類似度の評価することにより、滑り知覚規範による人の力制御戦略のモデル化を行う(図1)。

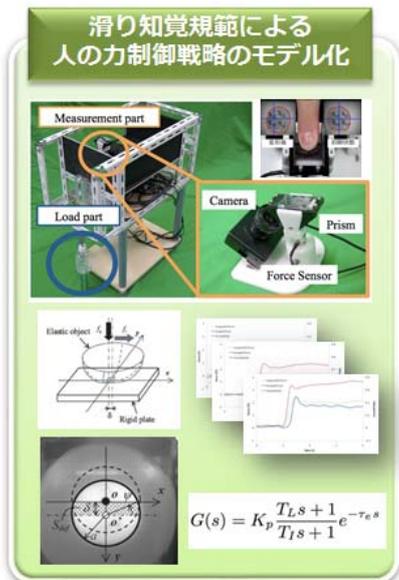


図1 モデル化手法

また構築したモデルの工学的応用例として、物体把持時の人の指との接触面を制御することで人工的に指先変形を作り出し、これによって重量・摩擦感を錯覚させるハプティックデバイスの製作を行うとともに、力センサを用いず、指先接触面の画像のみから印加力を推定する手法を構築する。

4. 研究成果

- 滑り提示による重量・摩擦感を錯覚させるハプティックデバイスの開発

皮膚変形を指先接触面の滑り量という観点から指標化することで重量・摩擦係数を絶対値で指定可能にし、滑り量をデバイスにより適切に制御することで物体の重量感・摩擦感をユーザに呈示するデバイスを構築した。接触面の滑り量は、提案した偏心度の概念を利用し、物体と指との接触面計測を通じて定量化する。この考えに基づき、指と接触するプレート部をモータにより引っ張ることのできる機構を持つカメラ内蔵デバイス(図2)を製作した。

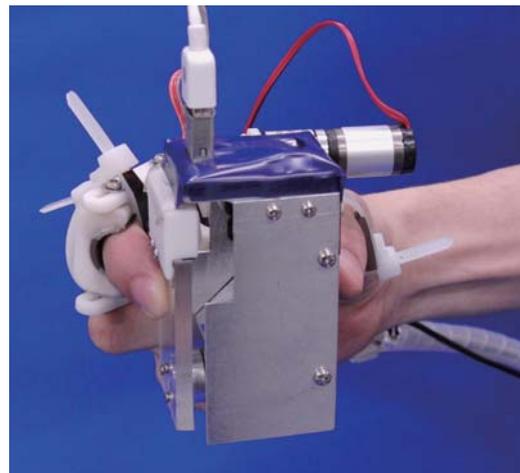


図2 重量・摩擦感呈示デバイス

指の材料定数と物体の重量および摩擦係数によって決まる目標偏心度は、人の把持力制御のシステム同定結果および負荷力変化モデルを利用して与える。

ヘルツ接触理論と偏心度の定義から、偏心度 e_y 、法線方向力 f_g 、接線方向力 f_l 、摩擦係数 μ の間には次の関係が成り立つ。

$$e_y = K \mu f_g^{\frac{1}{3}} \left\{ 1 - \left(1 - \frac{f_l}{\mu f_g} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}$$

$$K = \frac{1}{\pi} \left(\frac{3}{2R^2 E} \right)^{\frac{1}{3}} (2 - \nu)(1 + \nu)$$

このことは、 δ の代わりに偏心率 e を計測・制御することで人に重量感・摩擦感を呈示できることを意味する。人の把持力・負荷力の測定からそれぞれ

$$f_g(t) = G(s)u(t) + x(t)$$

$$f_l(t) = 0.001 * mg(1 - e^{-12t^2})$$

によってモデル化することで、ある重量および摩擦係数を与えたときの目標偏心率を求めることができる。

100g ならびに 200g の重量感を与える目標偏心率を計算した結果(Desired)と、それに合うようにデバイスを制御した結果人から計測した結果を比較したものを図3に示す。

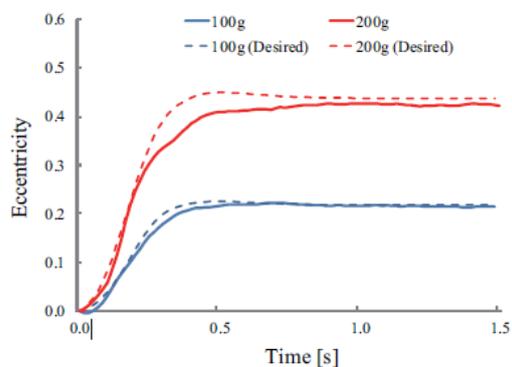


図3 目標偏心率と計測した偏心率

目標重量 100g, 200g, 300g として製作したデバイスにより重量感を呈示した結果、人が感じた主観的な重量を評価した結果を図4に、同様に目標摩擦を0.6, 0.9, 1.2としたときの主観的な摩擦を評価した結果を図5に示す。

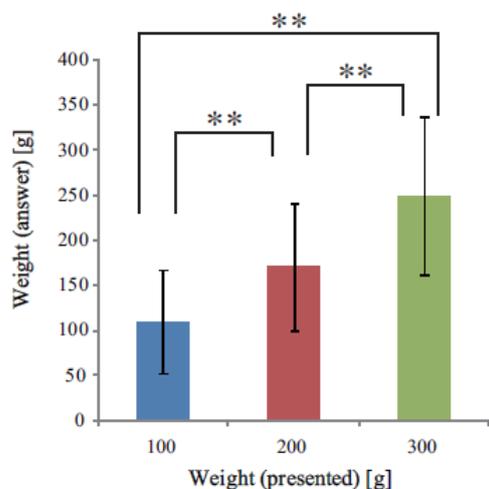


図4 重量呈示実験結果

実験の結果、製作したデバイスが人に重量と摩擦係数の違いを感じさせることが可能であることを確認した。

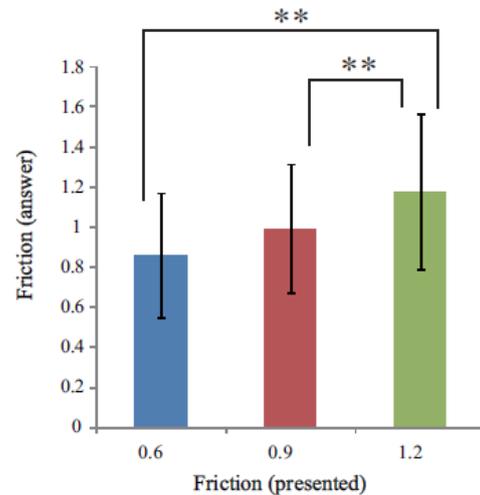


図5 摩擦呈示実験結果

● 確率共鳴による指先触覚感度向上

微小な振動を付与し確率共鳴現象を生起させることで触覚機能の向上が見られることが確認されている。そこでウェアラブルな微弱振動付与デバイスを構築し、これによる指先の触覚知覚向上の評価を行った。製作したデバイスを図6に示す。

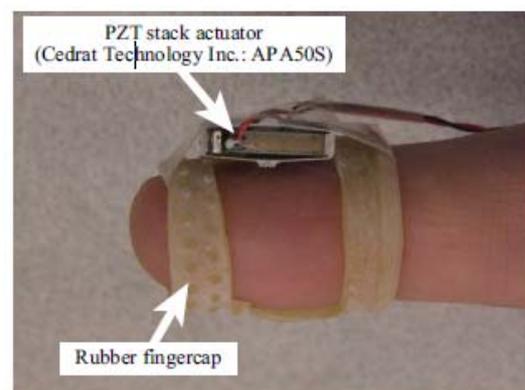


図6 知覚感度向上デバイス

デバイスは振動生成機 (PZT アクチュエータ) とラバーキャップから構成されており、対象物に直接接触するように指先がフリーになっている。確率共鳴を用いて指先での知覚向上を実現するには、個人に合わせた適切なノイズを選定することが重要となる。そこで被験者に提示する適切なノイズを人間が知覚で

きない最大の振動の大きさ(以下, 振動閾値)とし, 指先直接接触方式による触知覚機能向上の検証を行う実験を健常な男性 10 名を対象に行った. 被験者に提示する振動は, ボックスミュラー法で生成したホワイトノイズを人間が知覚できる振動刺激の周波数を考慮し, 周波数帯を 300Hz 以下に設定した. モノフィラメントによるタッチテストを行い, 振動閾値の刺激を加えた時を 1.0T, その 50%, 75%, 125%, 150%をそれぞれ 0.5T, 0.75T, 1.25T, 1.5T と表して, どれくらい小さな刺激に対して知覚できたかを計測した結果を図 7 に示す. よって縦軸の値が小さいほど感度が高いことを意味している. なお本図において各結果は振動なし(No-vib)の結果に対して正規化している.

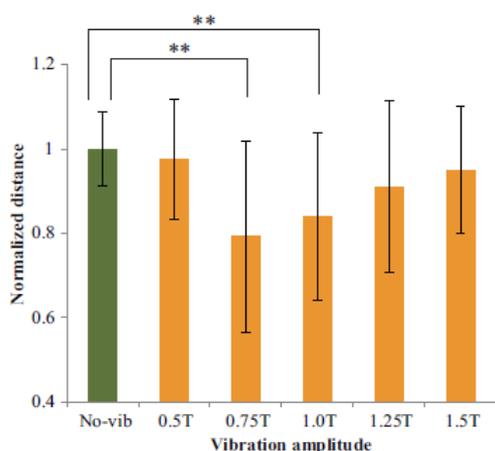


図 7 実験結果

実験の結果, 振動を提示しない条件に比べ振動を提示した全条件で知覚可能な最小の負荷は減少したことが確認された. また多重検定の結果, 0.75T, 1.0T の振動強度が付与された場合, 有意水準 1%以下で統計的有意差が検出された. このことから, 確率共鳴現象を利用することで, 受動的刺激に対する知覚感度の向上を確認することができた.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Yuichi Kurita, Minoru Shinohara, and Jun Ueda, Wearable Sensorimotor Enhancer for Fingertip using Stochastic Resonance Effect, IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 2013 (accepted) 査読有
2. 栗田 雄一, 米澤 智, 池田 篤俊, 小笠原 司, 指先接触面の滑り量制御による

重量・摩擦呈示デバイス, 日本ロボット学会論文誌, Vol.32, No.2, pp.89-96, 2012 査読有

[学会発表] (計 5 件)

1. 末田大和, 服部稔, 澤田紘幸, 惠木浩之, 大段秀樹, 竹村裕, 上田淳, 辻敏夫, 栗田 雄一, 確率共鳴現象による知覚感度向上に関する考察, 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論文集, pp.325-326, 福岡, 2012.12.18
2. Yuichi Kurita, Yamato Sueda, Toshio Tsuji, Minoru Hattori, Masakazu Tokunaga, Hiroyuki Egi, Hideki Ohdan, Hiroshi Takemura, Jun Ueda, Improvement of tactile sensitivity by stochastic resonance: application to vibrating forceps, 2012 ASME Dynamic Systems and Control Conference, Ft.Lauderdale, FL, 2012.10.17
3. 末田大和, 栗田 雄一, 服部稔, 徳永真和, 惠木浩之, 竹村裕, 上田淳, 辻敏夫, 確率共鳴現象を利用した指先知覚感度の向上, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 1P1-C02, 浜松, 2012.5.29
4. 末田大和, 栗田 雄一, 服部稔, 徳永真和, 惠木浩之, 竹村裕, 辻敏夫, 確率共鳴現象による指先触知覚機能向上性の評価, 日本人間工学会中国・四国支部九州・沖縄支部合同開催支部大会講演論文集, pp.112-113, 下関, 2011.11.26
5. Yuichi Kurita, Satoshi Yonezawa, Atsutoshi Ikeda, and Tsukasa Ogasawara, Weight and Friction Display Device by Controlling the Slip Condition of a Fingertip, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IEEE IROS 2011), pp.2127-2132, San Francisco, CA, USA, 2011.10.28

[その他]

ホームページ等

Tactile modeling of humans and their applications to computer interface
http://www.bsys.hiroshima-u.ac.jp/~kurita/work_e_tactile.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗田 雄一 (YUICHI KURITA)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80403591

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし