

タッピング時の硬軟感表現のための 陰極電気刺激と機械振動刺激の融合

○ヤェム ヴィボル (電気通信大学), 梶本 裕之 (電気通信大学)

Combination of Cathodic Electrical Stimulation and Mechanical Vibration for Hardness Tactile Expression

○Vibol YEM (UEC), and Hiroyuki KAJIMOTO (UEC)

Abstract: When tapping an object with a finger, the activity of Merkel cell, Meissner's corpuscles and Pacinian corpuscles existing on the finger pad provide the information of hardness sensation. In this study, we propose a method of combining cathodic electrical stimulation and mechanical high frequency vibration, which mainly generate Merkel cells and Pacinian corpuscles. This paper reports our algorithm of combining these stimuli.

1. はじめに

指で物体を叩くタッピング動作において、我々は指腹に存在する Merkel 細胞, Meissner 小体及び Pacinian 小体の活動によって対象物体の硬軟感を知覚すると考えられる。タッピング時の硬軟感はこれまで多くの場合減衰正弦波振動の提示によってこれらの受容器を活動させることで表現されてきた[1][2]。しかし触覚の研究分野で多用される振動子は Merkel 細胞のみの活動領域である数 Hz 以下の提示が不得手であるため、従来の手法では、柔らかさの表現は限定的であった。

皮膚感覚提示による柔らかさ表現に関しては、接触面積の変化によって物体の柔らかさを提示できることが知られている[3][4][5][6]。これは、柔らかい物体を押した際には硬い物体を押した際とくらべて接触面積が広がる現象に基づいた提示方法である。しかし、タッピングの動作においては、接触面積の変化が急激であり、接触面積よりも物体の反力によって柔らかさや硬さが知覚されると考えられる。

以上のような背景から、本研究では、主に圧覚を生起する陰極電気刺激と機械振動を併用する方法を提案し、これらの刺激を融合するアルゴリズムについて報告する。

2. 関連研究

ヒトの触覚の受容器は 4 種類あることが知られている。これらは、皮膚せん断変形、圧覚、低周波振動及び高周波振動にそれぞれ対応する Ruffini 終末, Merkel 細胞, Meissner 小体及び Pacinians 小体である[7]。Fig.1 に示すように、Ruffini 終末と Merkel 細胞は、遅順応型の受容器であり、それぞれ機械刺激の「変位」と「変位+

速度」成分に対し神経活動を生じる。これに対して、Meissner 小体及び Pacinian 小体は速順応型の受容器であり、それぞれ機械刺激の「速度」と「加速度」成分に対し神経活動を生じる。

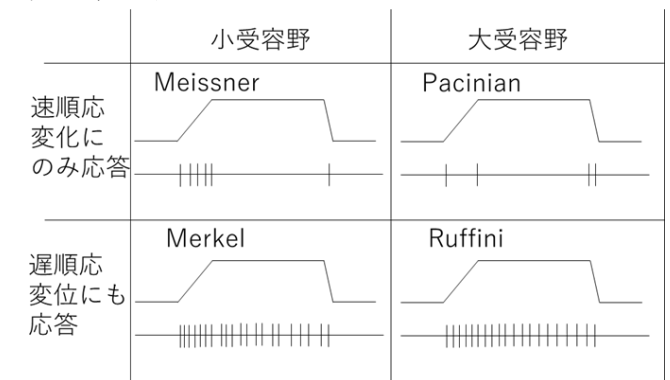


Fig.1 受容器の順応特性と受容野

一方、電気刺激には、陽極刺激と陰極刺激の 2 つの提示方法がある。陰極刺激では主に Merkel 細胞の刺激に起因すると思われる圧覚が特徴的に生じ、陽極刺激では主に Meissner 小体の刺激に起因すると思われる振動覚が特徴的に生じることが知られている[8][9]。Sato らは陰極と陽極の刺激を併用することで力ベクトルの提示方法を提案した[10]。本研究では、陰極刺激のみ利用し、この刺激と機械刺激の高周波振動と組み合わせる方法を調査する。

3. 実験

3.1 目的

タッピング動作のように短時間で陰極の電気刺激と高周波振動の機械刺激を与えると、これらの 2 つ刺激

を1つの刺激のように知覚できるか調査する。また、物体の柔らかさ・硬さをコントロールできるパラメータを検討する。評価方法は、リッカート尺度のアンケートによって行う。

3.2 装置

指先に電気刺激と機械振動刺激を提示する装置を Fig.2 に示す。機械振動刺激を提示するために、アルプス電気株式会社によって開発された振動子を利用した [11]。振動波形生成にはマイクロコントローラ (NXP Semiconductors, mbed NXP LPC1768) を使い、Texas Instruments 社の OPA2544T アンプで増幅した。振動振幅を測定するため、振動子の上に加速度センサ (Freescale 製, MMA7361LC) を取りつけた。

電気刺激の提示には、我々の先行研究[12]で用いた装置と同様な電気刺激キットを利用した。このキットにはマイクロコントローラ (NXP Semiconductors, mbed NXP LPC1768)、高速 D/A 変換及び電圧-電流変換回路が用いられ、刺激電流の波形および極性を制御できる。マイクロコントローラと PC の間で Serial 通信を行うことで、電気刺激の強度 (電流パルスの高さ) を PC のキーボードで操作できるようにした。

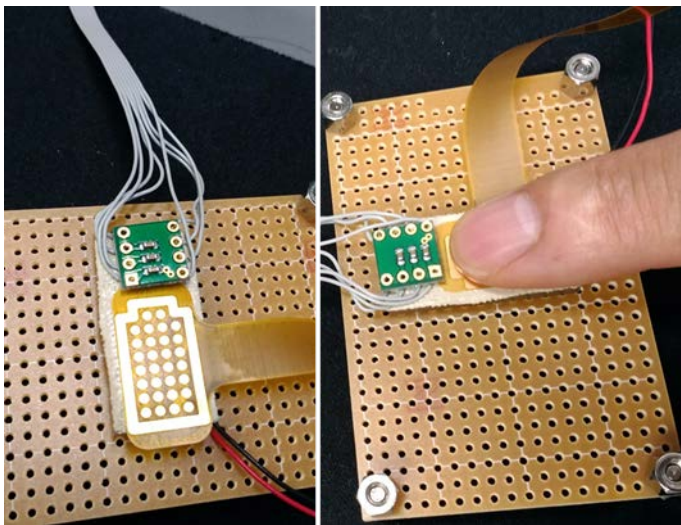


Fig.2 電気刺激と振動刺激を提示する装置 (左) と装置の上に置く指先の様子

3.3 刺激条件

本実験では、Fig.1 に示した受容器の順応特性に基づき、電気刺激と機械振動刺激を組み合わせた条件 6 種類を用意した (Fig.3)。刺激条件①~③は、電気刺激の刺激時間は機械振動の刺激時間と同じであるが、条件④~⑥は、電気刺激の刺激時間を 2 倍長くした。また、条件②と⑤は機械振動刺激が電気刺激より遅く出るようにした (遅延時間=50 ms)。これに対して、条件③と⑥は

電気刺激の方を遅延があるようにした。

機械振動刺激の周波数を 250 Hz、刺激時間を 100 ms、振動振幅を約 2G とした。電気刺激の電流パルス幅を 100 μ s、電流の強度 0 mA~5 mA で調整できるようにした。

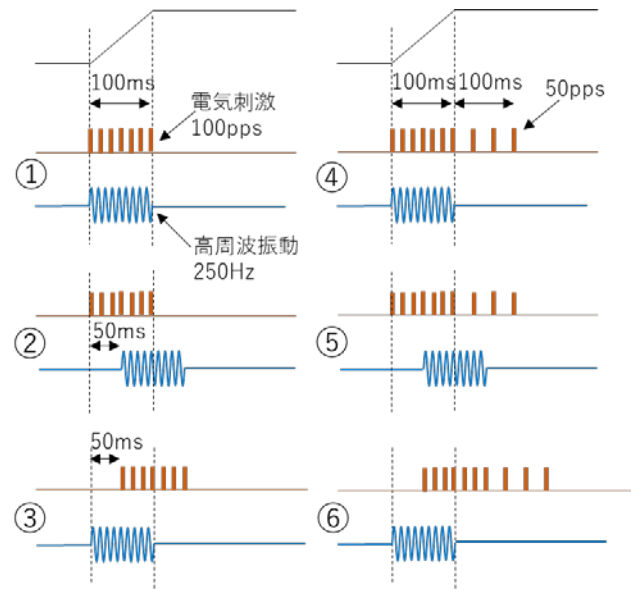


Fig.3 電気刺激と振動刺激を組み合わせた 6 種類の刺激条件

3.4 被験者と手順

被験者は 22 歳~24 歳の 3 名 (全員男性と右利き) であった。

被験者は椅子に座り、右手の人差し指の指先をアルコールで拭き電極フィルムの上に置いた。機械振動振幅が約 2G になるように機械刺激電圧のボリュームを調整した。また、各刺激条件において、機械振動刺激を与えられている際に、電気刺激と機械振動刺激をなるべく 1 つの刺激のように感じるまで電流を調整した。以下の 3 項目の質問を行った。

- ① 電気刺激と機械振動刺激を一つの刺激のように知覚したレベルを教えてください。(1: 完全に 2 つ刺激を感じる - 7: 完全に 1 つ刺激のように感じる)。
- ② 柔らかさをどのくらい感じるか? (0: 柔らかさなし - 4: ゴムのように柔らかい)。
- ③ 硬さをどのくらい感じるか? (0: 硬さなし - 4: 金属板のように硬い)。

刺激を 1 s ごとに繰り返して提示した。被験者がすべ

ての刺激条件を体験し、その後、刺激を与えながら上記の各質問に対して回答させた。

3.5 結果と考察

Fig.4, 5, 6 にそれぞれの質問項目に対する実験結果のグラフに示す。縦軸はリッカート尺度として表した各被験者の回答である。横軸は 6 種類の刺激条件を表す。

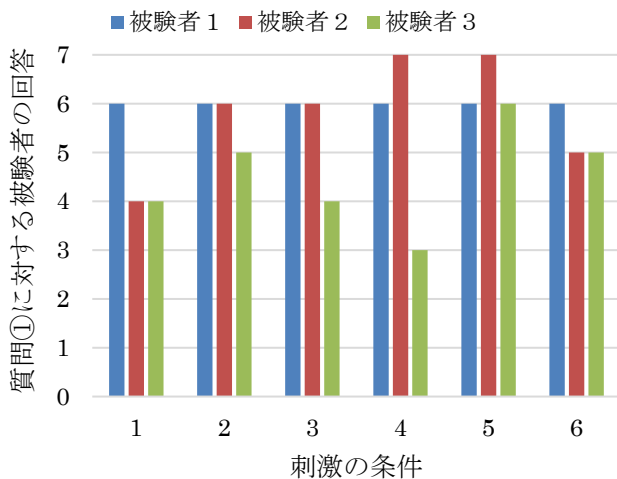


Fig.4 各刺激条件における被験者の質問①に対する回答

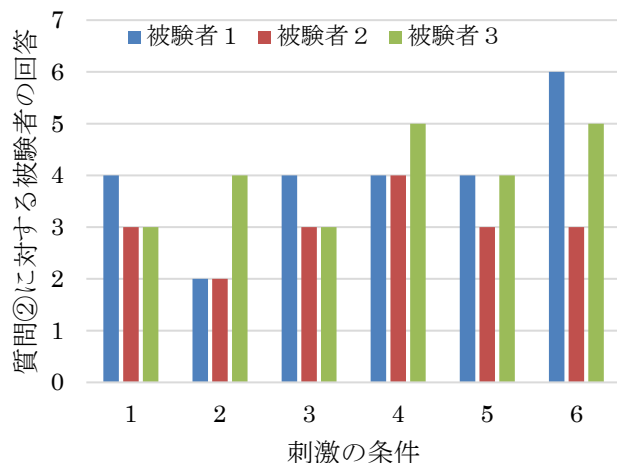


Fig.5 各刺激条件における被験者の質問②に対する回答

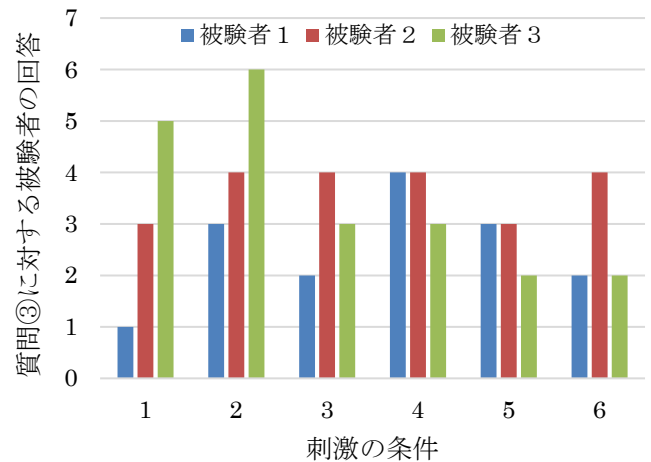


Fig.6 各刺激条件における被験者の質問③に対する回答

電気刺激と機械振動刺激の融合に関する質問①の結果、ほぼすべての刺激条件において各被験者が一つの刺激のように知覚出来た (Fig.4)。最も高く評価されたのは、刺激条件⑤である。これは、電気刺激の刺激時間が機械振動刺激より長く、機械刺激の遅延があるためであると考えられる。電気刺激によって活動した Merkel 細胞は、遅順応であり、機械振動刺激によって活動した Pacinian 小体より活動が遅く終了したのは、正しい刺激の仕方だったと考えられる。また、機械振動刺激の遅延があった方が良い理由は、Merkel 細胞の活動によって起因した圧覚は遅く生じ、電気刺激を機械振動刺激と同じタイミングで与えると、圧覚の遅延があるように感じるためと考えられる。すなわち、圧覚と振動を同時に感じるために電気刺激を先に与えた方が良いと考えられる。

柔らかさと硬さに関する質問②と③の結果、陰極の電気刺激の刺激時間が長くなるほど、柔らかさの強度が高く、硬さの強度が減少する傾向が見られる (Fig.5, 6)。電気刺激は主に Merkel 細胞を活動するため、柔らかさの感覚が生じやすいと考えられる。これに対して、機械振動刺激は Pacinian 小体を活動し硬さの感覚が生じやすい。本実験では、柔らかさと硬さを別々の軸として評するのは、柔らかさと硬さを混ぜて知覚することが多く、これらの知覚を区別する領域が曖昧であるためである。

本実験では、被験者の数が少なく、刺激条件が多いため定量的な評価が難しいと思われる。今後実験結果の精度を上げるため、被験者の数を増やすことと、各刺激に対して比較的な評価をより単純な方法を行う必要がある。

3. おわりに

本研究では、タッピング時の硬軟感表現のための陰極電気刺激と機械振動刺激を併用する方法を提案した。実験の結果、電気刺激の刺激時間を機械振動刺激より長く、機械刺激の遅延がある刺激条件において電気刺激と機械振動刺激を1つの刺激のように感じるという評価がもっと高かった。また、陰極の電気刺激の刺激時間が長くなるほど、柔らかさをより強く感じる傾向が見られた。

今後、現実の物体と比較して柔らかさと硬さを提示可能な範囲を調査する。

謝辞

本研究は JST-ACCEL 身体性メディアプロジェクト (JPMJAC1404) および JSPS 科研費 15H05923 (新学術領域研究「多元質感知」) の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] A.M. Okamura, M. Cutkosky, J. Dennerlein, “Reality Based Models for Vibration Feed-back in Virtual Environments.” IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Vol. 6, No. 3245–252, 2001.
- [2] K. Higashi, S. Okamoto, Y. Yamada, H. Nagano, M. Konyo, “Hardness perception by tapping: Effect of dynamic stiffness of objects.” Proc. of IEEE World Haptics Conference (WHC'17), pp. 37-41, 2017.
- [3] G. Ambrosi, A. Bicchi, D. De Rossi, E.P. Scilingo, “The role of contact area spread rate in haptic discrimination of softness.” Proc. of IEEE Robotics and Automation (ICRA'99), pp. 305-310, 1999.
- [4] K. Fujita, H. Ohmori. “A New Softness Display Interface by Dynamic Fingertip Contact Area Control.” Proc. World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, pp. 78-82, 2001.
- [5] M. Bianchi, A. Serio, E.P. Scilingo, A. Bicchi, “A new fabric-based softness display.” Proc. of IEEE Haptics Symposium, pp. 105-112, 2010.
- [6] S. Takei, R. Watanabe, R. Okazaki, T. Hachisu1, H. Kajimoto, “Presentation of Softness Using Film-Type Electro-Tactile Display and Pressure Distribution Measurement.” Springer, Haptic Interaction, Vol. 277,

pp. 91-96, 2015.

- [7] L.A Jones and S.J Lederman, “Human Hand Function.” 1st ed. USA: Oxford University Press, 2006.
- [8] K. A. Kaczmarek, M. E. Tyler, and P. Bach y Rita: Electrotactile haptic display on the fingertips, Preliminary results. Proc. of IEEE Eng. Med. Biol. Soc, pp. 940-941, 1994.
- [9] H. Kajimoto, N. Kawakami, T. Maeda, S. Tachi, “Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation”, 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence(ICAT99), 1999.
- [10] K. Sato, S. Tachi, “Design of Electrotactile Stimulation to Represent Distribution of Force Vectors.” Proc. of IEEE Haptics Symposium, pp. 121-128, 2010.
- [11] M. Nakatani, K. Sato, K. Sato, Y. Kawana, D. Takai, K. Minamizawa, S. Tachi, “A Novel Multimodal Tactile Module that Can Provide Vibro-Thermal Feedback.”, Springer: Haptic Interaction (AsiaHaptic2016), pp. 437-443, 2017.
- [12] H. Kajimoto, M. Suzuki and Y. Kanno, “HamsaTouch: tactile vision substitution with smartphone and electro-tactile display,” Proc. ACM on Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA), pp. 1273-1278, 2014.