

吸引圧による触覚ディスプレイ

東京大学 牧野 泰才, 浅村 直也, 篠田 裕之

A Tactile Display Using Suction Pressure

Yasutoshi MAKINO, Naoya ASAMURA and Hiroyuki SHINODA University of Tokyo

Abstract: In this paper we propose a novel tactile stimulation method using suction pressure. The method is based on our discovery of a tactile illusion that pulling a skin through a hole by lowering the air pressure causes a sensation as if a stick like object pushes up the skin. We consider that the illusion arises from our insensitivity to the sign (negative and positive) of stress. Based on this property of perception and “multi-primitive tactile stimulation”, we confirmed that we can produce various tactile sensations from a sharp edge to a smooth surface using a sparse stimulation array with a simple structure.

1. はじめに

本稿では、吸引圧を用いた新しい刺激提示手法を提案する。我々は、穴の開いた基板に皮膚を密着させ、その穴より皮膚を吸引することで、物体との接触感覚を提示可能であることを発見した。吸引と接触とを見分けられないのは、人間の触覚受容器が、その歪みエネルギーを検出しており、応力の正負を識別できないためと考えられる。

吸引を用いて触感を提示する利点は、吸引口の周りで皮膚が拘束されていることにより、刺激による皮膚の変形が局所的に生じ、刺激素子が互いに干渉しない点である。このメリットにより、先行研究[1]において提案された、マルチプリミティブ触覚提示法、すなわち複数自由度の刺激を疎らに配置し、その組み合わせにより多様な触感を提示する手法を適用できると考えられる。これが実現すれば、手掌部のような大面積に対して多様な触感を提示可能になる。

以上の考えに基づき、吸引刺激によってマルチプリミティブ触覚提示法を実現する触覚ディスプレイを試作し、鋭い物体との接触感から、滑らかな平面との接触感までを提示可能なことを確認した。

2. 原理

2.1 吸引圧による接触感覚提示

Fig.1は吸引圧による触覚提示の模式図である。図に示すように、穴の開いた基板に皮膚を接触させた状態で皮膚を吸引すると、あたかも棒状の物体が接触したかのような感覚が得られる。

この知覚特性は、人間の触覚受容器が応力の正負に感度を持たず、その歪みエネルギーを検出していることを示唆している。これを検証するために、有限要素法を用い、変形に伴って生じる皮膚内部の歪みエネルギーを解析した。ここで、ヤング率等のパラメータは、前野らの先行研究[2]の結果を用いた。

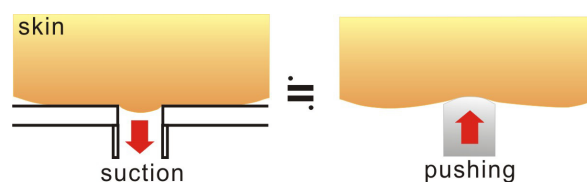


Fig.1: Schematic illustration of suction pressure stimulation. Pulling a skin through a hole causes a sensation as if something like a stick is pushing up.

Fig.2は吸引、接触の各状態における、皮膚表面の歪みエネルギー分布である。吸引時には皮膚表面に歪みエネルギーが局在しているのに対して、接触時は深部までエネルギーが分布しており、両者の違いは明確である。また、この図では判別できないが、応力の正負はほぼ逆向きになっている。

Fig.3は触覚受容器近傍(Fig.2の赤線上)における、歪みエネルギー分布である。皮膚表面における分布は異なっていたが、受容器近傍の分布は似通っていることが分かる。以上の結果は、人間の触覚受容器が歪みエネルギーを検出しており、応力の正負を識別できないとする考え方に符合する。

本手法のメリットは、皮膚の変形が吸引口の内部で局所的に生じることである。そのため、刺激素子をアレイ状に配置した場合にも、互いに干渉することなく安定して刺激を提示できる。

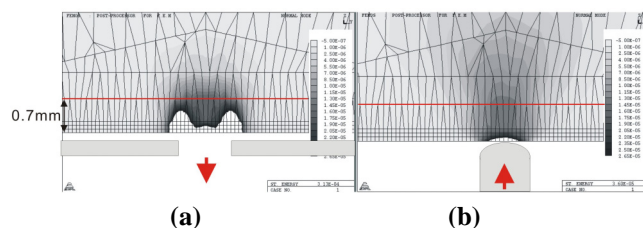


Fig.2: 3-D distributions of strain energy by suction pressure (a) and positive pressure caused by a sticklike object (b).

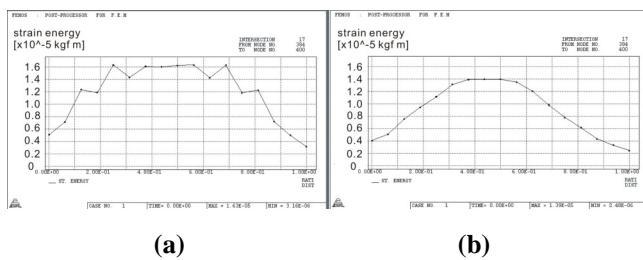


Fig.3: Distributions of strain energy at the receptor level by suction pressure (a) and positive pressure caused by a sticklike object (b).

2.2 マルチプリミティブ触感提示法

手掌部のような大面積に対し触感を提示する際に問題となるのは、刺激素子数が膨大になってしまうという点である。これを解消するための手法として、先行研究において、“マルチプリミティブ触感提示法”が提案された。これは、「二点弁別閾の間隔で複数自由度の基本的な圧力パターン（プリミティブ）を配置することにより、多様な触感を表現する」というものである。手掌部の二点弁別閾は約 10 mm であることから、少数のプリミティブであれば、この間隔で配置するのは容易である。

先行研究においては、接触曲率に着目した、Fig.4 に示す 2 自由度のプリミティブを用いた。すなわち、平面荷重に対応する S1 と、集中荷重に対応する S2 である。これらプリミティブの組み合わせにより中間の曲率を表現できれば、少ない素子数で多様な触感を表現可能になる。

本研究でも、吸引によりこの 2 自由度を表現し、それらをアレイ状に配置することで、多様な触感を提示することを目標とする。

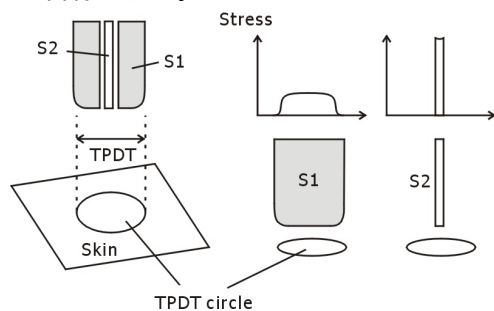


Fig.4: Two primitives described in [1]. The S1 gives smooth pressure distribution and the S2 gives concentrated pressure distribution.

3. 実験

本手法の実現のためには、確認すべき点が二つある。一つは、2 自由度のプリミティブの組み合わせにより、中間の曲率を再現できるのかという点である。もう一つは、平面を提示する S1 を組み合わせることにより、大きく滑らかな平面を提示可能かという点である。

一つめの点に関しては、吸引口のエッジ形状を変えることで 2 自由度のプリミティブを表現し、その組み合わせにより中間の曲率を提示可能なことを心理物理実験により確認した。その結果を Fig.5 に示す。左へいくほど鋭い曲率を持つという評価をされたグラフである。これより、2 つのプリミティブを同時に提示した刺激（赤）が、平面荷重（S1:黄色）と集中荷重（S2:青）の評価の中間に分布していることが分かる。よって、2 自由度のプリミティブの組み合わせにより、中間の曲率を再現できたといえる。

もう一つの点、すなわち S1 の組み合わせによって大平面との接触感が再現されるかという問題は、現在検討中である。同一被験者においても、滑らかな面と見分けのつかない感覚が生じると報告する場合と、明確な差異を感じる場合とがあり、まだ確実なことが言えない段階である。吸引口の間隔、形状、あるいは吸引圧パターン等を最適化しながら、再現性のある実験結果を得るための工夫を行っている。

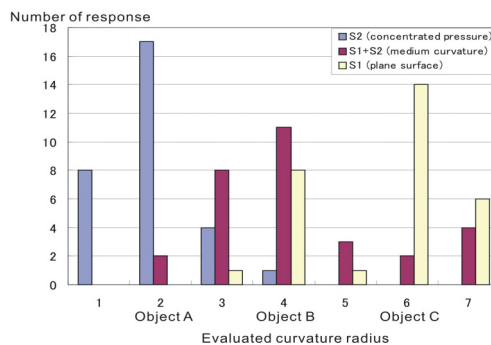


Fig.5: The result of curvature comparison.

4. まとめ

手掌部という大面積に触感を提示する手法として、以下の二つを提案した。

- 1) 吸引圧を用いた刺激による、安定した触感提示手法
- 2) マルチプリミティブの考えに基づく、少ない素子数での多様な触感提示手法

これらの手法に基づき、触覚ディスプレイを試作し、ピン状の鋭い物体との接触感から、滑らかな平面との接触感までを提示可能なことを確認した。

参考文献

- [1] N. Asamura, T. Shinohara, Y. Tojo, N. Koshida, and H. Shinoda: “Necessary Spatial Resolution for Realistic Tactile Feeling Display,” *Proc. 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1851-1856, 2001.
- [2] 前野 隆司, 小林 一三, 山崎 信寿: “ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係,” *日本機械学会論文集中(C 編)*, 63 巻 607 号, pp.881-888, 1997.