

放射圧走査型触覚ディスプレイ

Scanning Radiation Pressure Tactile Display

岩本貴之¹⁾, 篠田裕之¹⁾

Takayuki IWAMOTO and Hiroyuki SHINODA

1) 東京大学 情報理工学系研究科

(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1, {iwa, shino}@alab.t.u-tokyo.ac.jp)

Abstract: We have proposed a tactile display using acoustic radiation pressure. The display can produce a 1 millimeter pressure spot and scan it over the surface of a finger pad. This tactile display has an advantage over conventional displays especially in investigating the effect of moving stimulus. In this paper, we discuss the feature of our prototype system and then explain the experiments on the difference of tactile perception between real spot-sweeping and apparent movement.

Key Words: tactile display, acoustic radiation pressure, linear phased array, scanning

1. はじめに

人間の視覚や聴覚の知覚特性に関してはすでに様々な研究がなされ、多くの知見が得られているが、それは優れた視覚提示装置や聴覚提示装置に拠るところが大きい。同様に、触覚刺激を任意の時間空間パターンで提示可能な装置があるとすれば、触覚の知覚特性の研究に大きく寄与することが期待される。

我々は、人工的に触覚を提示する手法として、超音波の音響放射圧による触覚提示を提案している[1]。音響放射圧による触覚提示手法は、圧力の様々な時間空間パターンを皮膚表面上に容易に正確に生成可能であると考えられる。またこの触覚提示手法は通常の物体との接触では生じにくい皮膚変形パターンを提示することも可能である。

本稿では、まず、音響放射圧を用いた触覚ディスプレイの試作機の性能を定量的に示す。次にそのディスプレイを用いて行った、物体の移動知覚に関する実験について述べる。

2. 原理

以下では、音響放射圧を利用する触覚ディスプレイの原理を簡単に説明する。超音波の伝播が物体により遮られるとき、音響放射圧と呼ばれる圧力が物体表面に働く[2]。この圧力は以下の式で示されるように、物体表面での超音波のエネルギー密度に比例する。

$$P = \alpha E = \alpha \frac{p^2}{\rho c^2} \quad (1)$$

ここで、 ρ は媒質の密度、 c は音速、 p は音圧、 E はエネルギー密度、 α は物体の超音波反射特性による係数である。

式(1)より、放射圧強度は超音波のエネルギー密度の制御により制御できる。放射圧の時間的な強度変化は、超音波振動子への投入電力を制御することで容易に実現できる。また、空間的な強度分布の制御をするには、複数の振動子をアレイ状に配置し、各振動子の振動位相を制御すればよい。アレイ状振動子を用いることで、放射圧焦点の空間位置を電子的に走査することが可能である。

3. 実験装置

3.1 試作機の構成

試作機は、超音波振動子リニアアレイ、音響レンズ、駆動回路、水槽からなる。リニアアレイ(日本電波工業製)は長さ 10 mm 幅 0.495 mm 共振周波数 3MHz の PZT 素子を 30 枚、0.5 mm ピッチでアルミブロック上に並べたものである。水槽底面には、この 30ch リニアアレイを 2 つ配置し、全体として 60ch のリニアアレイを構成している。用いたリニアアレイは 1 次元アレイであるため、振動位相制御による超音波の集束とその集束点の走査は、振動子の配列している方向のみ可能である。振動子の長さ方向に沿った集束はシリコン製の音響レンズを用いて行った。

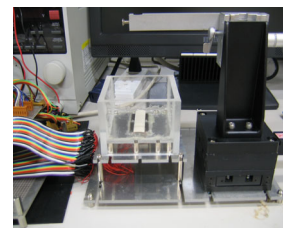


図1 触覚ディスプレイ試作機

3.2 放射圧の測定結果

式(1)より、放射圧はエネルギー密度に比例するため、

放射圧強度の時間変化は、振動子への投入電力を変調することで得られる。変調方式としてはPWMを用いた。皮膚は、2kHz以上の振動には変形が追従しないと考えられる[3]。そこで、それよりも十分に高い10kHzのパルス列によりパルス幅変調を行った。図2に焦点において測定した放射圧の波形を示す。測定した波形はカットオフ周波数10kHzのローパスフィルタを通してある。

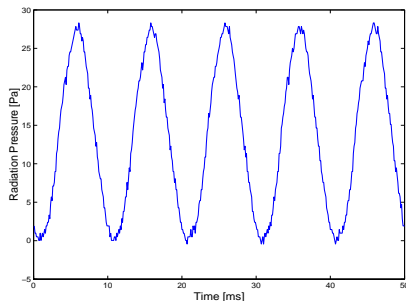


図2 観測された放射圧波形 (100Hz 正弦波)

また、焦点周辺 5mm×5mm の領域での放射圧強度分布を測定したところ、焦点は直径約 2mm に集束していた。

4. 実験

音響放射圧を利用する触覚ディスプレイの特長は、圧力点の走査や様々な振動波形などの生成が、他の機械式の触覚ディスプレイに比べ容易なことである。また、ピンを横方向に連続的に移動させる場合と、離れた2点での振動強度の重心を移動させる場合とで、力の総和を等しく保ちながら両者の比較を行なうことは困難であったが、放射圧ディスプレイの場合、このような実験が容易に行なえる。以下に述べる実験では、音響放射圧を利用する触覚ディスプレイを用い、仮現運動と実際の振動点の移動との比較を行った。

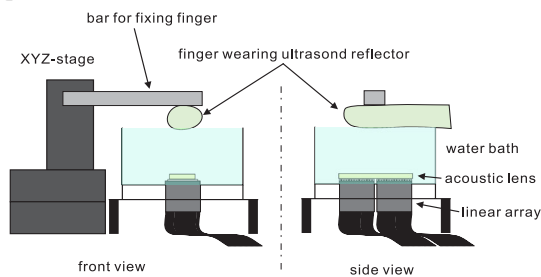


図4 実験装置

4.1 実験設定

被験者は左手示指に超音波反射用の指キャップを装着し、放射圧焦点が指腹部に当たるように指を置いた。振動点の走査は指の縦方向に沿って行った。振動波形は70,100,130,160Hzの正弦波を用いた。振幅は最大値において焦点内の力の総和が1g重になるようにした。

実験では、被験者が振動点の移動を感じる、最小の2点間距離を、仮現運動、および実際の振動点の移動のそれぞ

れについて求めた。最初に、仮現運動について行った実験を説明する。まず、被験者指腹部の1点に400ms間振動を与えた、その後時間をおかず再び振動を400ms間提示した。ただし、2回目は1点目と「同じ位置」または「一定距離離れた位置」のいずれかをランダムに選び、与えた。各刺激セット終了ごとに移動感が生じたかを答えさせ、その正答率を各距離ごとに得た。

次に実際の振動点の移動に関する実験の説明をする。被験者には2種類の刺激をランダムに選び提示した。用いた刺激は「振動点を一定距離走査」と「振動点を固定」の2種類である。刺激提示時間は800ms間であった。各刺激セット終了ごとに移動感が生じたかを答えさせ、その正答率を各走査距離ごとに得た。

4.2 結果

ある被験者についての結果を示す。実際の振動点の移動の場合、最小の2点間距離は周波数に対し正の相関があるように見られるが、仮現運動に関してはそのような傾向は見られない。これら2種類の移動の検出は異なる知覚過程を経ている可能性が示唆されるが、結論づけるにはより詳細な実験を必要とする。

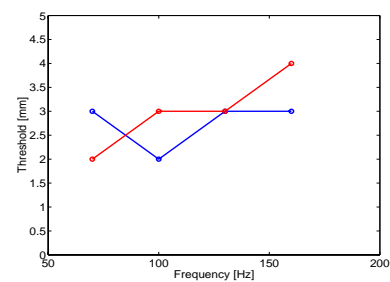


図5 仮現運動(青)および連続移動(赤)が知覚される最小距離

5. まとめ

走査型放射圧触覚ディスプレイの試作機に関して性能を示し、物体の移動覚に関する実験を行った。今後は移動覚についてより詳細な実験を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は文部省科研費補助金(特別研究員奨励費 15-11561)によっている。

参考文献

- [1]岩本貴之, 赤穂大輔, 篠田裕之: 超音波アレイによる放射圧触覚ディスプレイ, ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演集(CDROM), June, 2004.
- [2]超音波技術便覧 改訂新版, 日刊工業新聞社, 1966
- [3]P.J.J Lamore, H. Mujiser, C.J. Keemink, "Envelope detection of amplitude-modulated highfrequency sinusoidal signals by skin mechanoreceptors", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 79(4), pp. 1082-1086, 1986.