

324 チャンネル超音波振動子アレイによる触覚提示

○星 貴之, 高橋 将文, 篠田 裕之 (東京大学), 岩本 貴之 (キヤノン株式会社)

Providing Tactile Sensation with 324-ch Ultrasound Transducer Array

○Takayuki HOSHI, Masafumi TAKAHASHI, Hiroyuki SHINODA (Tokyo Univ.),
and Takayuki IWAMOTO (Canon Inc.)

Abstract: A tactile display is described which reproduces spatiotemporal pressure patterns in 3D space by using nonlinear phenomenon of ultrasound; acoustic radiation pressure. Combined with a 3D stereoscopic display and a hand tracking system, the tactile display enables us to “touch” virtual objects. The prototype consists of 324 pieces of 40 kHz ultrasound transducers and controls their phase and intensity individually.

1. はじめに

我々は超音波の音響放射圧を利用した触覚ディスプレイの提案と開発を行っている。超音波振動子アレイを触覚提示領域から離れた場所に設置し、各振動子の位相・強度を制御することで圧力パターンを生成する。本手法は高い時間空間分解能が見込まれ、また非接触であるためピンなどのように提示力が皮膚との接触状態に依存することもない。

昨年の SICE SI 部門講演会¹⁾では振動子 91 個からなる触覚ディスプレイについて報告した。それは中心から等距離にある振動子を同相で駆動することで中心軸上に焦点を結ぶものであった。

本稿では、新たに開発した振動子 324 個からなる触覚ディスプレイ (Fig.1) について述べる。各振動子の位相・強度を個別に制御することができ、任意の圧力パターンの生成が可能である。

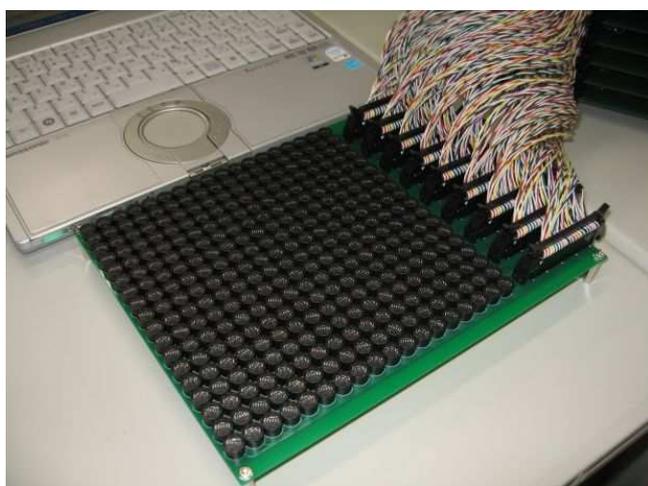


Fig.1 18×18 ultrasound transducer array.

2. 空中超音波触覚ディスプレイ

2.1 原理

音響放射圧 P [Pa] は、式 (1) によって与えられる²⁾。

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

ここで α は対象の超音波反射特性に依存する係数、 E [J/m^3] は超音波のエネルギー密度、 p [Pa] は音圧、 c [m/s] は媒質における音速、 ρ [kg/m^3] は媒質の密度である。上式によると、超音波のエネルギー密度の時空間パターンを制御することによって、任意の圧力パターンを提示できることがわかる。また 300 個程度の振動子からの超音波を集束させることで、空気中において数 gf 程度の力を発生させることができるという試算がなされている¹⁾。

2.2 デバイス

超音波振動子アレイの写真を Fig.1 に示す。324 個の空中超音波送信用振動子 (日本セラミック株式会社製、共振周波数 40 kHz、直径 1 cm) を、18×18 の二次元アレイ状に配列したものである。

Fig.2 にシステム構成を示す。PC が各振動子に関する位相と強度のデータをあらかじめ計算し、マスタ FPGA を介してスレーブ FPGA が持つメモリに書き込んでおく。超音波出力時にはそのデータをもとに各スレーブが駆動波形を生成する。アンプから出力される駆動波形は振幅 24 Vp-p、周波数 40 kHz の矩形波である。現在は単一の焦点を生成するプロトコルを実装している。各振動子から焦点までの距離を用いて遅延すべき位相が計算される。位相は 0 ~ 2π rad を 16 段階に離散化したもの、強度は 40 kHz 矩形波のデューティ比 0 ~ 50 % を 8 段階に離散化したものである。また

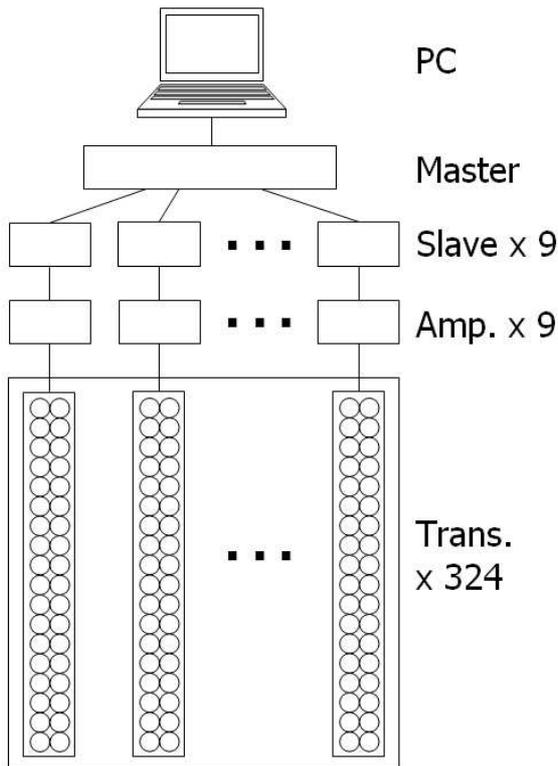


Fig.2 Block diagram of the tactile display.

40 kHz の搬送波に対して矩形波による変調をかけることができ、その周波数は DC と、1 ~ 1000 Hz を対数軸上で 31 等分したもののから選択可能である。

焦点をアレイの中心、高さ 20 cm の位置に設定して変調をかけずに (DC) 強度最大で出力したときの提示力を電子秤で実測したところ、1.6 gf であった。これは微弱であるため焦点において手のひらでかすかに感じる程度であった。また 100 Hz 変調をかけて強度最大で出力すると、十分に触覚を感じることができるようになった。このときの提示力は 0.8 gf であった。これは変調をデューティ比 50 % で行っているためである。

3. アプリケーション

開発した触覚ディスプレイと三次元トラッキングを組み合わせ、ユーザの手の位置に応じて触覚を提示するインタラクションを実装した (Fig.3)。触覚提示領域はアレイの上空 20 cm の、幅 18 cm、奥行き 18 cm の平面とする。幅と奥行きは 1 cm 刻みに離散化した座標値で表現する。よって、あらかじめ計算しておく位相のデータ数は 324 振動子×324 座標点である。強度は最大とする。手のトラッキングは 2 台の Wii リモコン (Nintendo) と赤外線 LED によって、ユーザの中指先端に装着した再帰性反射マーカの位置を特定する。その位置座標をユーザ側に数 cm ずらした位置 (≒手掌部) に 100 Hz 変調をかけた触覚刺激を提示する。

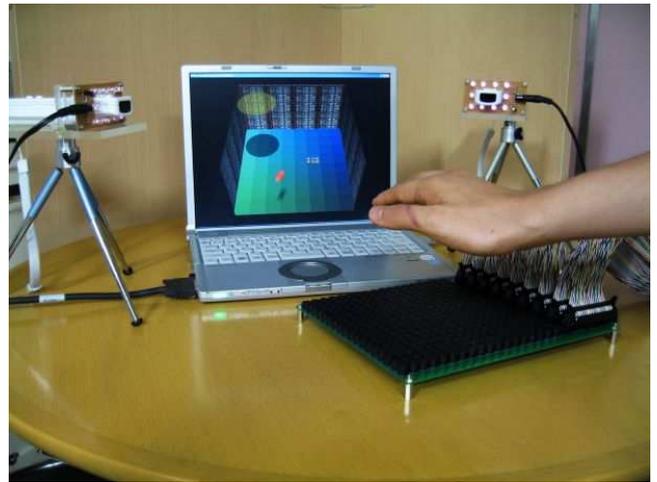


Fig.3 Overview of the interaction system.

アプリケーションは現在のところ 2 種類用意している。1 つは、手の位置がアレイの上空 20 cm ± 3 cm の範囲の高さにあるときのみ超音波を出力して触覚提示する、バーチャルな平面である。この触覚刺激によって平面上を探索する作業を補助する。もう 1 つは、幅と奥行きを持った三次元ブロック崩し (Fig.3) である。カーソルでボールを跳ね返す際の衝突感を、150 ms 間の触覚刺激によって提示する。

4. おわりに

本稿では、324 個の超音波振動子を個別に駆動することで空中に任意の圧力パターンを生成する触覚ディスプレイについて述べた。焦点における出力は 1 gf 程度であり、振動刺激にすることで十分に知覚できる。

本触覚ディスプレイを SIGGRAPH 2008³⁾ 及びインタラクティブ東京 2008⁴⁾ において展示したところ、来場者から「風っぽい」「ビリビリする」という感想が得られた。風は皮膚表面に発生した圧力に付随するものであり、超音波の継続時間を必要最小限にすることで低減できる。またビリビリ感は変調が矩形波状であることに起因しており、強度を制御して滑らかな変調波形 (正弦波など) に近づけることで解消できる。

参考文献

- 1) 岩本貴之, 篠田裕之: 空中超音波による触覚提示, 第 8 回 SICE SI 部門講演会論文集, 29/30 (2007)
- 2) 実吉純一, 菊池喜充, 熊本乙彦: 超音波技術便覧改訂新版, 日刊工業新聞社 (1966)
- 3) Takayuki Iwamoto, Mari Tatezono, Takayuki Hoshi, and Hiroyuki Shinoda: Airborne Ultrasound Tactile Display, Proc. SIGGRAPH 2008, CD-ROM (2008)
- 4) 星貴之, 岩本貴之, 立藺真理, 高橋将文, 篠田裕之: 空中超音波触覚ディスプレイ, インタラクティブ東京 2008 出展作品紹介 DVD-ROM (2008)