

令和元年5月28日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2018

課題番号：18H06475

研究課題名（和文）ミリ波イメージャによる接触皮膚変形センシング

研究課題名（英文）Contact skin deformation sensing using millimeter wave imager

研究代表者

藤原 正浩（Fujiwara, Masahiro）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任助教

研究者番号：30825592

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,200,000円

研究成果の概要（和文）：焦点走査方式のフェーズドアレイ型ミリ波イメージャを構成する上で問題となる、焦点位置切り替え時の各発振子位相不連続を低減する大域的位相変動最小化法を提案した。これにより、位相不連続に由来する振幅変動によって生じるイメージャの誤差が低減されることが期待される。提案法の有効性は、ミリ波イメージャの送信部と類似の構造をもつ超音波フェーズドアレイに本手法を適用し、振幅変動が実際に低減されることにより確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大域的位相変動最小化法により、焦点走査方式のフェーズドアレイ型ミリ波イメージャを開発する際の、振幅変動による誤差の低減が期待される。また、提案法はミリ波イメージャに限らず一般のフェーズドアレイ構造の送信部をもつデバイスに適用可能であり、例えば超音波フェーズドアレイに適用することで可聴域の周波数成分の発生を抑制するなどの性能向上が可能である。

研究成果の概要（英文）：A global phase variation minimization method was proposed to reduce phase discontinuities of each oscillator at the time of focus position switching, which is a problem in constructing a phased array type millimeter wave imager of a focus scanning method. This is expected to reduce the error of the imager caused by the amplitude variation due to the phase discontinuity. The effectiveness of the proposed method is confirmed by applying this method to an ultrasonic phased array with a similar structure to the transmitter of the millimeter wave imager and the amplitude fluctuation is actually reduced.

研究分野：工学

キーワード：センシング フェーズドアレイ 位相最適化

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

接触状態にある皮膚の変形分布は、触知覚に関する本質的な知見を得るために必須であるにもかかわらず、現状では十分な空間分解能で計測する技術が欠落している。特に、近年では皮膚刺激が空間的に移動することでのみ生じる触知覚の知見が得られており、高空間分解能な計測技術の重要性は増している。

上記の技術が欠落している要因として、変形を計測したい接触領域が、皮膚や物体に遮られているというオクルージョンの問題が挙げられる。接触面に直接変位センサを配置する手法では、センサの物理的サイズにより皮膚変形量が変化し、正確な計測が困難になる。また、オクルージョンを回避するために接触領域の周辺にセンサを配置する手法では、周辺領域の変形を基に接触領域における変形分布を推定する必要があり、高精度な解を得ることが困難になる問題がある。

別のアプローチとして、物体を透過する帯域の電磁波を使用したイメージャにより、変形分布をイメージングする方法がある。特に、ミリ波を使用した撮像装置はX線と異なり人体への放射線被曝のおそれもなく、衣類や炎などを透過してイメージング可能であるため、空港での保安検査等に導入されている。その一方で、ミリ波イメージャによる接触皮膚変形のセンシングはこれまでに例がなく、また触覚研究用途において十分な性能を持ちうるか否かは明らかにされていない。

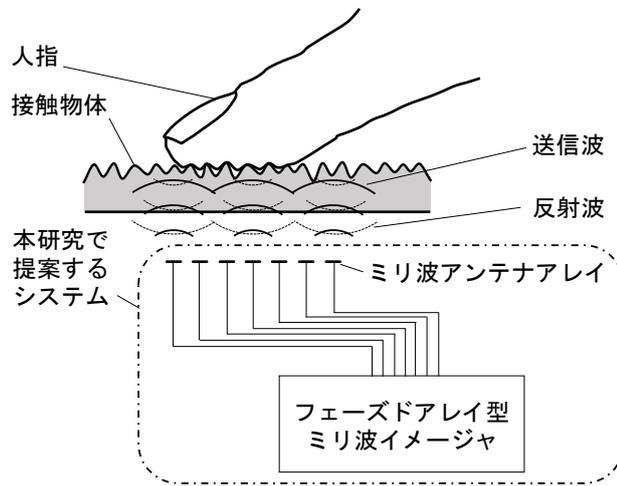
2. 研究の目的

本研究では、接触状態にある皮膚表面の変形分布を図1に示すようなフェーズドアレイ型ミリ波イメージャにより計測する上での技術的困難を分析し、その解決法を提案することを目的とする。

3. 研究の方法

提案するフェーズドアレイ型ミリ波イメージャでミリ波の送信時に形成する波面を動的に変更する際、送信位相が不連続になることにより生じるアーティファクトが問題になる。特に、ミリ波ビームの方位角を切り替えながら接触物体表面を走査する方式では、送信位相が不連続に切り替わることにより意図しない振幅変動等が生じる。反射波の振幅により皮膚変形を測定する際に、この振幅変動が測定精度に大きく影響すると考えられる。

同様の問題は、空中超音波のフェーズドアレイであるAUPA（airborne ultrasound phased array）[1]でも生じ、振幅変動が可聴周波数帯域の騒音として現れる。本研究では、ミリ波イメージャのアーティファクトを軽減することを目的として、まずAUPAにより焦点位置を変化させることで生じる可聴音を、各発振子間の大域的な位相変動を最小化することにより抑制する方法を提案する。



(図1) 本研究で提案するミリ波イメージャによる接触皮膚変形センシングの例

4. 研究成果

下記のように集束ビームの焦点切り替えで生じる発振子の位相変動を分析し、大域的位相変動最小化により送信波の振幅変動を軽減できることを確認した。

(1) 焦点位置に対する発振位相変動の分析

共振出力状態にある発振子に対し、印加電圧の位相をある時刻で不連続にすると、不連続位相量に応じて振幅が減少する。一定周波数の位相増加によって再び元の振幅に戻る時間は、振動子の時定数に比例する。

AUPAで焦点位置を変更したときには振動子ごとに異なる位相変化が生じ、それらが焦点で合成される。図2に示すように、長方形のAUPAに対し座標を設定する。ここで L 、 M はともに奇数とする。超音波振動子が $z=0$ 平面の格子点上に $(L \times M)$ 個配置(間隔 d)されたAUPAにおいて、振動子 (l, m) の相対位相 $\varphi_{l,m}$ ($l = -(L-1)/2, \dots, (L-1)/2$; $m = -(M-1)/2, \dots, (M-1)/2$)は以下のようになる[1]。

$$\varphi_{l,m} = k \sqrt{(x_f - ld)^2 + (y_f - md)^2 + z_f^2} \quad (1)$$

したがって、焦点位置を x 方向に微小距離 Δx だけ移動させたとき、相対位相の変化量 $\Delta\varphi_{l,m}$ は以下のようになる。

$$\Delta\varphi_{l,m} = \frac{k(x_f - ld)}{\sqrt{(x_f - ld)^2 + (y_f - md)^2 + z_f^2}} \Delta x_f \quad (2)$$

特に $(x_f, y_f) = (0, 0)$ のときは、以下のように簡単化される。

$$\Delta\varphi_{l,m} = \frac{-kld}{\sqrt{(l^2 + m^2)d^2 + z_f^2}} \Delta x_f \quad (3)$$

式(3)より、焦点位置変化前後の位相差は焦点中心から離れるほど大きくなる。

(2) 大域的位相変動最小化の提案

集束ビームの焦点は発振子間の相対位相 $\{\varphi_i\}$ により定まり、絶対的な発振位相のオフセット φ_{off} には影響しない。したがって、焦点を移動させる際にその移動前後で以下に定義する大域的な位相変動量 J を最小化する位相オフセットとして φ_{off} を決定することで、可聴音を抑制することが考えられる。

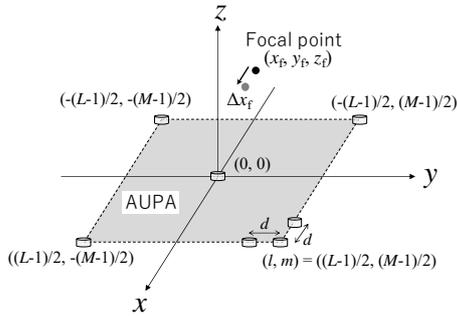
$$J = \sum_{l=-(L-1)/2}^{(L-1)/2} \left\{ \sum_{m=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} |\Delta\varphi_{l,m} + \varphi_{\text{off}}|^2 \right\} \quad (4)$$

式(4)に示す位相変動量 J を最小化する位相オフセット φ_{off} は、式(4)が φ_{off} の2次式となることから容易に計算可能であり

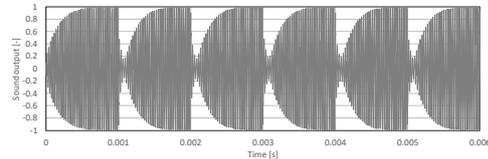
$$\varphi_{\text{off}} = \tan^{-1} \left(\frac{E[\sin(\Delta\varphi_{l,m})]}{E[\cos(\Delta\varphi_{l,m})]} \right) \quad (5)$$

となる[2]。ここで $E[\cdot]$ は (l, m) に対する平均値であり、 $\Delta\varphi_{l,m}$ に 2π の周期性があることを考慮している。焦点を移動する際に式(5)の値を各発振子のオフセット位相として設定することで、位相変動量 J が最小となる。

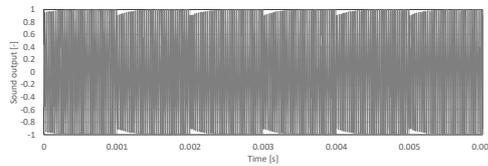
更新周波数 1 kHz で焦点位置を 2 点間で切り替えたときの、それらの中間地点における音圧波形のシミュレーション結果を図3に示す。式(5)の位相オフセットにより、振幅変動が抑制され、可聴帯域が低減されていることが分かる。これにより、ミリ波イメージャにおいてもアーティファクトを軽減することが期待される。



(図2) AUPA 及び焦点の座標系



(図3) 焦点位置切り替えによる超音波振幅変動のシミュレーション結果



(図4) 提案法による振幅変動の抑制

<引用文献>

- [1] Takayuki Hoshi, Masafumi Takahashi, Takayuki Iwamoto, and Hiroyuki Shinoda: Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound, IEEE Trans. on Haptics, Vol. 3, No. 3, pp.155-165, 2010.
- [2] 藤原 正浩, 牧野 泰才, 篠田 裕之, “大域的位相変動最小化による空中超音波フェーズドアレイの可聴音抑制,” 第19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 (SI2018) 論文集, pp.527-529, 大阪工業大学 梅田キャンパス, 大阪, Dec.13-15, 2018.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 藤原 正浩, 牧野 泰才, 篠田 裕之, “大域的位相変動最小化による空中超音波フェーズドアレイの可聴音抑制,” 第 19 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 (SI2018) 論文集, pp. 527-529, 大阪工業大学 梅田キャンパス, 大阪, Dec. 13-15, 2018.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8 桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。