

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870450

研究課題名(和文) 触覚テクスチャ遠隔計測法の研究

研究課題名(英文) Remote measurement of haptic texture

研究代表者

中妻 啓 (Nakatsuma, Kei)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・助教

研究者番号：40635645

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：人間が物体表面に触れた際に生じる「ざらざら」「つるつる」といった触覚テクスチャ情報の遠隔・非接触計測法の確立に取り組んだ。超音波を物体表面に照射しその反射波の空間分布をもとに対象の表面形状を推定する手法を提案した。研究最終年度までに以下の通り基礎技術を確立した。(1)物体表面に超音波を照射した際の反射・干渉の物理モデルを構築した。(2)表面凹凸形状に応じて形成される反射波分布のシミュレーションプログラムを実装した。(3)測定系を構築し反射波分布の測定を実施した。得られた分布がシミュレーションと矛盾しないことを実証した。(4)反射波分布をもとに表面凹凸形状を推定可能であることを数値的に実証した。

研究成果の概要(英文)：We propose a remote and noncontact haptic texture measurement system. Our system is based on the ultrasound reflection and interference. We confirmed following fundamental technologies. 1) We constructed the physical model of the ultrasound reflection and interference. 2) We implemented the simulation program of the reflection wave distribution. 3) We conducted the measurement of the ultrasound reflection wave distribution. The results are consistent with our physical model. 4) We numerically confirmed that the original surface geometry could be solved based on the reflection wave distribution.

研究分野：計測工学

キーワード：触覚計測 表面テクスチャ バーチャルリアリティ

### 1. 研究開始当初の背景

触覚は視聴覚と並び人間の基本的感覚の一つである。視聴覚だけでは得られない物体の材質や形状の特性を知覚する上で欠かすことのできない感覚であり、バーチャルリアリティの分野においては提示する情報のリアリティを高めるための重要性が認識されている。また触覚情報が我々の情動と密接に関係していることは他者との物理的接触がもたらす種々の感情からも想像に難しく、その身体的・精神的な効果については広く検証がなされている。

触覚情報の重要性は経験的にも近年の研究の取り組みからも明らかである一方で、その技術的な利用は同じく人間の基本感覚である視聴覚情報の記録や伝送・再生技術の状況と比較して未熟であった。我々は特に触覚情報の記録技術に注目し、カメラのように記録したい対象にデバイスを向けるだけでその触覚的特性を記録可能な「触覚カメラ」の実現に向けて以下に示す目的を持ち研究を実施した。

### 2. 研究の目的

本研究課題では触覚情報のうち物体の表面を触れた際に近くする「つるつる」や「ざらざら」といったテクスチャ情報を取得するセンサを開発することを目的とした。ここで本研究の応用として考えられる触覚情報の放送（ブロードキャスト）を考える。放送はビデオチャットなどのコミュニケーションや、テレグジスタンスのような遠隔操作と異なり情報の受け手が多数同時に存在する。そのためロボットハンドのような接触式のセンサを用いたマスタ・スレーブ方式を導入すると生放送時には複数の操作者による干渉が起きてしまう。また上述のような「カメラ」と同様の使い勝手も実現されない。そこで我々は目指す測定手法の仕様として遠隔かつ非接触の計測であることと設定した。遠隔から物体の表面状態を取得するには光学式的手法（カメラやレーザー光の利用など）や音の利用がまず思いつくが、我々は超音波を用いて以下のような手法を提案した。

超音波を物体表面に照射すると表面で反射が生じる。表面の各位置の反射波は表面形状に応じて異なった位相差が与えられる。これは複数の点音源から異なる位相差を持つ球面波が発振されているものと考えることができ、これらが干渉して形成される反射波の分布は与えられる位相差すなわち表面凹凸形状に応じたものとなる。光を用いた表面形状（粗さ）の計測手法は存在するが、超音波を用いることで表面の光学的特性に影響を受けずに測定が可能であり木材や金属、プラスチックなどがすべて測定対象となりうる。

### 3. 研究の方法

提案する手法について、以下の通り基礎技術を確認した。

- (1) 物体表面に超音波を照射した際の反射・干渉の物理モデルを構築すること
- (2) 構築した物理モデルに基づいて表面凹凸形状に応じて形成される反射波分布のシミュレーションを実施すること
- (3) 物理モデルを再現する測定系を構築し、凹凸形状に応じた反射波分布が得られることを実証すること
- (4) 得られた反射波分布をもとに表面凹凸形状を推定可能であることを数値的に実証すること

### 4. 研究成果

研究成果はそれぞれ1件ずつの国内・国外発表を行い、また雑誌論文投稿も準備中である。研究の方法に従い、主な研究結果を以下に示す。

- (1) 図1に示す測定系を考案し、このモデルで生じる反射波分布を計算する手法を確立した。1つの超音波発振子から出力した超音波（球面波）を対象表面に照射し、その反射波の空間分布を超音波受信子を走査あるいはアレイを用いて取得する。遠方では表面形状のフーリエ変換と相似の反射波分布が観察されることが理論的に予測されるが、今回のモデルでは測定対象と反射波測定位置との距離がこれを

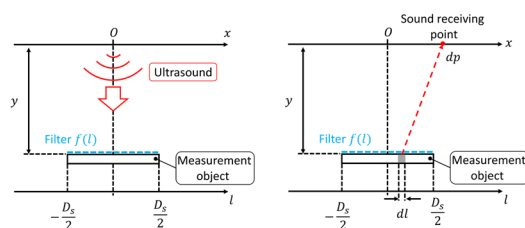


図1 測定系の物理モデルの模式図

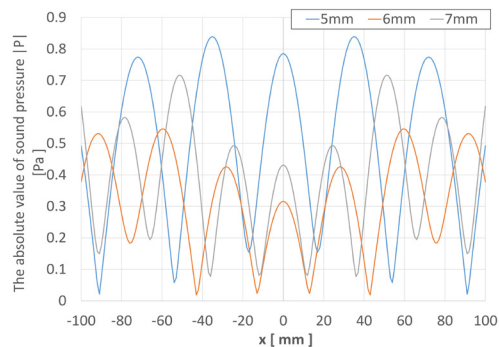


図2 反射波強度分布のシミュレーション結果。5, 6, 7 mm 周期の矩形波パターンを表面形状に持つ測定対象に対応。

成立させる近似が成り立つほど長くない。このため反射波分布の計算に当たっては照射された球面波の位相差に基づいて測定対象表面が点音源の配列とみなした際の素元波の重ね合わせを距離による近似をせず求めた。図 2 に 5mm, 6mm, 7mm の周期の矩形波状表面凹凸形状を持つ測定対象に対して 40kHz の周波数の超音波を照射した際に生じる反射波空間分布（振幅）を計算した結果を示す。

- (2) 図 2 に示したシミュレーションと同様の測定試料を用意し、図 1 に示す測定系を実際に構築した。図 3 に構築した測定装置の概観を示す。なお超音波発振子・受振子は空中での伝搬特性および入手性を考慮して共振周波数 40kHz のものを用いた。実験では超音波を照射するために用いる発振子を測定対象直下に固定し、受振子を 1 軸アクチュエータにて走査することで反射波分布を取得した。実施した測定結果を図 4 に示す。シミュレーションによる結果と比較して絶対値には差

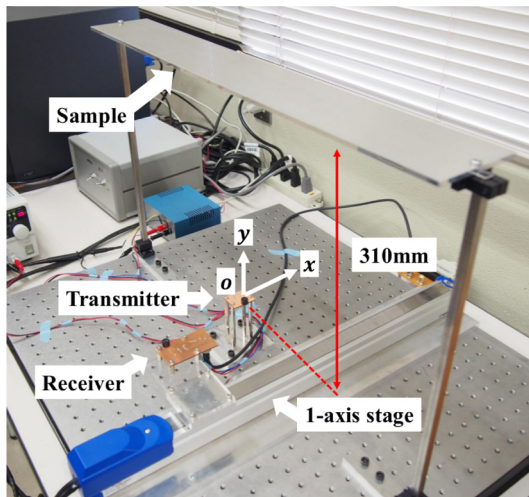


図 3 反射波強度分布の測定装置の概観

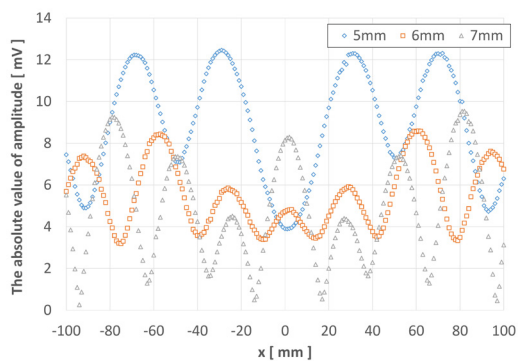


図 3 反射波強度分布の測定結果。5, 6, 7 mm 周期の矩形波パターンを表面形状を持つ測定対象に対応。

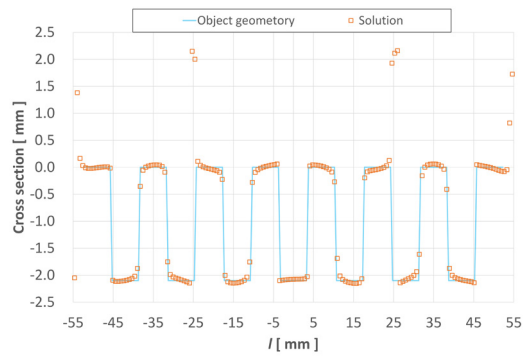


図 3 反射波強度分布からの表面凹凸形状の推定結果。

があるものの全体としての分布波形の一致があること、ピークが出現する位置がシミュレーションと一致することなど、矛盾しない測定結果が得られたこと。このことから物理モデルが妥当なものでありシミュレーションにより計算される反射波分布が実用的なものであることが実証された。また構築した測定系の提案手法における実用性も示された。

- (3) 図 2, 3 のように得られる反射波の空間分布を用いて、測定対象の表面凹凸分布を推定する逆問題解法を検討した。図 1 のモデルで反射波分布を考えると、反射波から測定対象の表面分布を求める問題は一般に解が安定しない。そこで基本的な逆問題解法として広く用いられるティホノフの正則化法を用いて表面凹凸形状推定の可否を検討した。

図 4 に逆問題解法を適用して推定した表面凹凸形状の結果を示す。この結果より、提案する測定系により得られる超音波反射波分布より対象の表面凹凸形状が取得可能であることが示唆される。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 0 件)

〔学会発表〕 (計 2 件)

① Takaaki Kamigaki, Kei Nakatsuma, Yasutaka Oshima, Ippei Torigoe, “Detection of Ultrasound Pressure Distribution for Remote Measurement of Haptic Surface Roughness,” in Proc. IEEE Sensors 2015, pp. 315-318, Nov., 2015, Busan, South Korea.

② 神垣 貴晶, 中妻 啓, 星 貴之, 大嶋 康敬, 鳥越 一平, “超音波回折パターンを利用した表面粗さ計測,” ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集, 2A2-X01, May, 2015, 京都.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nakatsuma.net/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中妻 啓 (NAKATSUMA, Kei)

熊本大学・大学院先端科学研究部・助教

研究者番号：40635645

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

該当なし

### (4) 研究協力者

該当なし