



ドローンを用いた 空中遭遇型ハプティックインタフェースにおける複数触覚の提示

斎藤 悠太¹⁾, Photchara Ratsamee²⁾, 黒田 嘉宏³⁾, 酒田 信親¹⁾, 清川 清¹⁾

- 1) 奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 (〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地 5)
 2) 大阪大学 サイバーメディアセンター (〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-1)
 3) 大阪大学 大学院基礎工学研究科 (〒 560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3)

概要: VR や AR における遭遇型ハプティックインタフェースでは主にロボットアームを用いることが多いが、ドローンを用いることで体験者が自由に動くことのできる空中遭遇型ハプティックインタフェースを実現できる。また、ドローンに複数のテクスチャを取り付けることで複数の触覚を提示できると考えられる。本研究ではドローンに硬度の異なる複数のテクスチャを取り付け、固定されたプローブの先端に対して、一定の速度でドローンを飛行させ、接触時のテクスチャの変形量を RGB-D センサによって計測し、その変形量が硬度によって異なることを確認した。

キーワード: ドローン, ハプティックインタフェース

1. はじめに

昨今, VR や AR の体験空間内で力触覚を得られる, ハプティックインタフェースに関する様々な研究が行われている。体験空間内で様々な種類の触覚を与えられるインタフェースは, より実世界に近い体験を人間に提供することができる。Van der Linde らはロボットアームを用いることで複数の触覚を得られる遭遇型のハプティックインタフェースを開発した [1]。このインタフェースではアクチュエータを細かく制御することで, 剛性や力覚における力の深さの表現を可能としている。ただし, これらの手法では設置型のロボットアームを採用したために, ロボットアームの可動域でしか体験者は自由に動けなかった。Knierim らは, 実空間でドローンを飛行させることによりバーチャル空間にある物体を表現するシステムを開発した [2]。また, 山口らや Abdullah らはドローンを用いて, 体験者の体験範囲を狭めることのないハプティックインタフェースを開発した [3][4]。これらのインタフェースでは力のフィードバックを制御することで, 力覚を体験者に与えることができる。ただし, この手法において同時に触覚を与えられるテクスチャの種類は一種類であり, 複数の触覚を与えることはできない。複数の触覚を提示できることは, 多様な現実物体の触覚を表現するために, 重要であると我々は考えている。また, 触覚における材質感次元において永野らは, 粗い/なめらか, 硬い/柔らかい, 冷たい/温かいの 3 次元に加え, 凸凹したというマクロな粗さ, 摩擦感を加えた, 5 種類の次元があると述べている [5]。これらの幅の広いテクスチャの提示が行え

ることが, より豊かな表現力を提供可能なハプティックインタフェースであるといえる。

そこで本研究では, ドローンに複数のテクスチャを取り付けることで, 体験者に様々な種類の触覚を与えることを目的とする。その第一段階として, 5 次元の材質感次元の中で今回は「硬い/柔らかい」を表す次元に注目し, 異なる硬さのテクスチャを取り付けたドローンが人体と接触することで異なる硬さ感覚を提示できるかを検証する。壁などの固定された剛体とは異なり, ドローンは固定されず空中に浮遊しているため, 物体との接触時には作用反作用の法則によりドローン本体が弾かれ, 意図する硬さ感覚が得られない可能性がある。そこで実験では, テクスチャを取り付けたドローンを飛行させ, そのドローンとプローブの接触時のテクスチャの変形量を計測し, その変形量がテクスチャごとに異なることを確認する。この計測された変形量を元に, 想定する力触覚が得られるかどうかを考察する。

2. 実験方法

2.1 実験概要

本実験では, ドローンに取り付けられたテクスチャが, 飛行時にプローブと接触した場合にどの程度変形するかを計測する。そしてその変形量からどの程度の力触覚を人間に提示できるかを考察する。具体的には, 固定された棒(プローブ)の先端に向かって, 一定の速度でドローンを飛行させ, 取り付けられたテクスチャとプローブの先端の接触時のテクスチャの変形を RGB-D センサによって計測する。硬度の異なるテクスチャを複数用意し, 硬度によって異なる変形量になることを確認する。この確認によって, 浮遊しているドローンであっても, 硬度の異なる複数のテクス

Yuta SAITO, Photchara Ratsamee, Yoshihiro KURODA, Nobuchika SAKATA, Kiyoshi KIYOKAWA

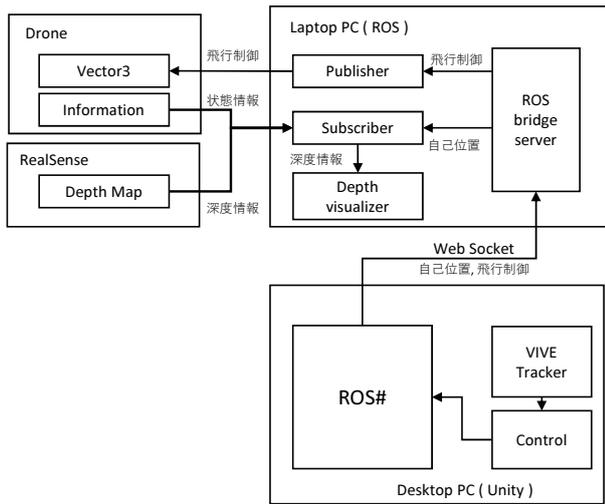


図 1: システム構成

チャを用意すれば、「硬い／柔らかい」といった感覚を人間に与えられるかどうかということが明らかになると考えられる。

2.2 実験環境

本実験に使用するドローンとして Parrot 社の Bebop2 power を、ドローンの自己位置取得には HTC VIVE Tracker を使用する。図 1 に示すように、ドローンは ROS によって制御され、自己位置取得に用いる Unity との通信では WebSocket を用いる。また、安全面を考慮し予め設定した作業範囲からドローンが逸脱した場合、緊急的に着陸するようにプログラムしてある。テクスチャはエクシール社の人肌ゲルの硬度 0, 7, 15 の 3 種類のゲル液を硬化させたものを用いる。テクスチャのサイズは 30 mm × 30 mm × 15 mm である。テクスチャを取り付けたドローンの重量は 625 g である。実験では RGB-D センサとして Intel RealSense SR300 (RGB 解像度: 1080 p, Depth 解像度: 640 × 480, フレームレート: 30 fps) を用意した。この RGB-D センサを、図 2 のように 300 mm のプローブの固定台座の上部 200 mm に固定した。また、プローブの先端には、衝突時にテクスチャの変形がよく観察できるように、先端が尖った部品を取り付けている。

2.3 実験手順

プローブに向かってドローンをピッチ角 1.8°, 速度 0.1 m/s で前方に飛行させ、プローブの先端がテクスチャに接触した時点で逆方向に飛行させる。この逆方向の飛行は、ドローンの損傷を防ぐためである。また、接触時までは一定の速度で飛行しているため、接触時のエネルギーは各テクスチャ条件で一定であるとみなせる。RGB-D センサにて、衝突後に最も変形していた際の深度情報を取得し、三次元の散布図として可視化する。また、RealSense はパターンを照射し深度を計測する方式を採用しているため、フレーム内の計測時間差等は無視できると考えた。

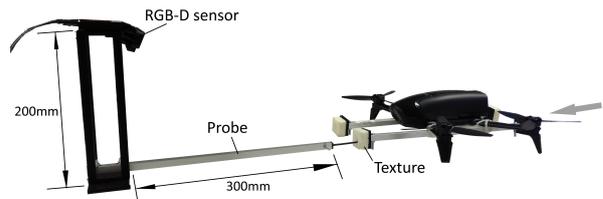


図 2: 実験レイアウト

3. 結果

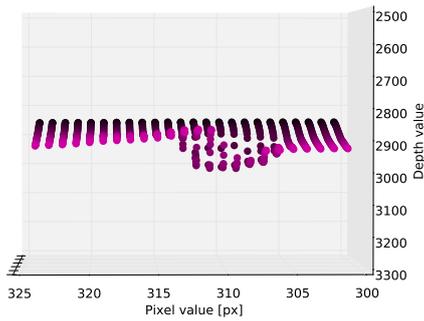
図 3 に実験で得られた変形量を硬度別に散布図として示す。左右及び奥行き方向は深度画像の X および Y 軸であり、高さ方向は深度値である。中央部において深度の低い、盛り上がった箇所が得られたが、これはテクスチャを変形させるプローブの先端部位の深度情報が含まれているためであり、それらの画素は目視で除去してある。硬度 0 のテクスチャでは、テクスチャ平面から深度値で 100 ほど下方向に変形している様子が見られた。硬度 7 で 50 ほど、硬度 15 で 10 ほどの深度の変形が見られたが、硬度 0 に比べて変形量は顕著ではなかった。

4. 考察

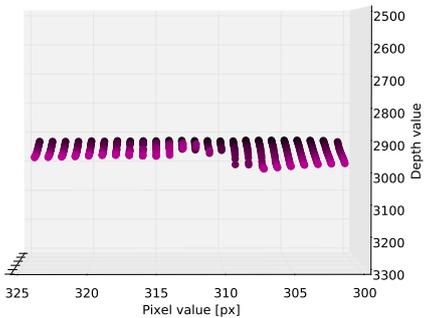
硬度 0 においては大きな変形量が得られ、柔らかさの提示が可能であることが示唆されている。硬度 7, 15 における深度センサの x, y, z の変形量にも個別に着目したが、大きな違いがみられず、近い硬度のテクスチャでは「硬い／柔らかい」の次元の違いの提示が困難な可能性がある。試しに硬度 7 のテクスチャを電子天秤に設置し、プローブの先端を RGB-D センサの付いた固定台座ごと押し当て、テクスチャの変形が目視できる 80 g の状態で保持した際の変形量を図 3 に示す。ドローンに取り付けた際の変形量に比べて大きく変形していることがわかる。これは、今回の実験で設定したドローンの速度と質量によるエネルギーからくる反力では、テクスチャを変形させる力にまで達していないことを表している。このため、ドローンの制御によって、より大きな反力を提示する必要がある。今回の実験条件として、変形量の測定を容易に行うために、プローブに対してドローンが飛行して衝突するという形を採った。実際のハプティックインタフェースとして用いる際には、ドローンは現在いる位置にホバリングし続け、被験者が近づいてテクスチャに触れる形式となる。その場合に「硬い／柔らかい」の提示を行うには、テクスチャの変形が起きるのに十分な反力を提示することが可能なホバリングの制御が必要になると考えている。

5. まとめ

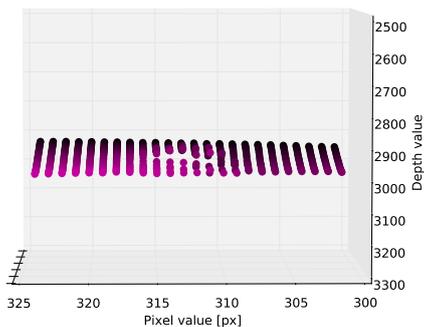
ドローンにおけるハプティックインタフェースにおいて「硬い／柔らかい」の材質感次元の違いを示せることを確認



(a) 硬度 0



(b) 硬度 7



(c) 硬度 15

図 3: 硬度別の変化量

した。また、より細かい違いを与えるにはテクスチャを変形させるのに十分な反力を提示する必要があることを確認した。今後は「硬い／柔らかい」以外の材質感次元の提示が可能かについても検証を行っていく。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 JP17H01780 による。

参考文献

図 4: 手で把持した際の硬度 7 テクスチャの変形量

- [1] Van der Linde, R. Q, Lammertse, P., and Frederiksen, E.: “The HapticMaster, a new highperformance haptic interface,” In Proceedings of Eurohaptics 2002, pp.1–5, 2002.
- [2] Knierim, P., Kosch, T., Schwind, V., Funk, M., Kiss, F., Schneegass, S., and Henza, N., “Tactile Drones - Providing Immersive Tactile Feedback in Virtual Reality through Quadcopters,” In Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 433–436, 2017.
- [3] Yamaguchi, K., Kato, G., Kuroda, Y., Kiyokawa, K., and Takemura, H., “A Non-grounded and Encountered-type Haptic Display Using a Drone,” In Proceedings of the 2016 Symposium on Spatial User Interaction, pp. 43–46, 2016.
- [4] Abdullah, M., Kim, M., Hassan, W., Kuroda, Y., and Jeon, S., “HapticDrone: An Encountered-Type Kinesthetic Haptic Interface with Controllable Force Feedback: Initial Example for 1D Haptic Feedback,” In Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '17), pp.115–117, 2017.
- [5] 永野 光, 岡本 正吾, 山田 陽滋, “触覚的テクスチャの材質感次元構成に関する研究動向 (ハプティクスと VR)”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2011, 16 巻, 3 号, pp. 343–353, 2011.