



軽量浮遊物体による VR 環境での遭遇型触感呈示

砥出悠太郎¹⁾, 古本拓朗¹⁾, 藤原正浩¹⁾, 牧野泰才¹⁾, 篠田裕之¹⁾

1) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5,
toide@hapis.k.u-tokyo.ac.jp,
furumoto@hapis.k.u-tokyo.ac.jp,
Masahiro_Fujiwara@ipc.i.u-tokyo.ac.jp,
yasutoshi_makino@k.u-tokyo.ac.jp,
hiroyuki_shinoda@k.u-tokyo.ac.jp)

概要: 本研究では, ユーザーの手の届く範囲で立体的に移動する浮遊物体に触れることによって, 任意の位置にある VR オブジェクト映像に対して接触感を提示するシステムを提案する. 超音波による音響放射圧で浮遊物体の位置を制御し, VR オブジェクト映像と浮遊物体の位置を同期させることによって映像と触覚を整合させる. ユーザーは任意の位置にある VR オブジェクトに直接手で触れたり, 手に持った棒やコントローラーを介して触れたりすることで, 接触感を得ることができる. 本稿ではシステムのプロトタイプを作成し, その基本性能について評価を行った結果を述べる.

キーワード: VR, 接触感呈示, 軽量浮遊物体

1. はじめに



図 1: 提案システムのコンセプト

本論文では, 任意の 3 次元位置に存在する VR オブジェクトに触ったときの接触感を提示する新しいシステムを提案する (図 1). このシステムは接触感提示に VR オブジェクトと位置を同期した浮遊物体(風船)を採用する. ユーザーは広い範囲を自由に移動しながら VR オブジェクトとインタラクションすることができ, かつ特殊な触覚提示デバイスを装着する必要もない. その結果, VR 体験の質

が向上する可能性がある.

以前より, VR オブジェクト映像に対して接触感を提示しようとする試みは様々な形で行われてきた. 接触感提示を可能とするためのデバイスは接地型と非接地型に大別される. 接地型では地面や机の上といった固定された環境下で使用される[1][2]. 接地型デバイスは, その特質上, 人の位置が拘束されてしまうため, ユーザーが自由に移動することができない. 一方, 非接地型デバイスは指先に装着したり[3], 体に背負ったり[4]などして使用される. しかし, VR 世界に没入するためには装着時の疲労や, 重量から生じる違和感, 着脱の手間といったものを極力避けることが望ましい. すなわち, 何も装着していない自分の手がそのまま VR オブジェクトと接触感提示のインターフェースになることが理想である.

この実現のため, 浮遊物体を直接手に接触させることによって遭遇型接触感呈示を試みた. 遭遇型接触感呈示[5]とは VR オブジェクトの対応位置に予め接触感提示部を待機させ, ユーザーと遭遇させることによって接触感を呈示する方式である. 提案システムにおける浮遊物体の位置制御は超音波フェーズドアレイ[6]を用いて空間的に離れた位置に音響放射圧を与えることにより行われる. 超音波フェーズドアレイはそれ自体でも任意の位置への接触感提示は可能であるが, 遠方で強い接触感を与えるためには大開口の超音波フェーズドアレイを使用する必要がある. 一

Toide Yutaro, Furumoto Takuro, Yasutoshi Makino
and Hiroyuki Shinoda

方、浮遊物体の位置制御は開口の小さな超音波フェーズドアレイでも可能なため、よりコンパクトな装置で強い接触感を提示できることが期待される。また、どの面を触れても安全であることも浮遊物体を採用した理由である。

2. 先行研究

本稿で述べる軽量浮遊物体による遭遇型触感提示を実現するために使用している浮遊物体の位置制御システムの枠組みは、古本らによって作成された。古本らは初めに AUPA (Airborne Ultrasound Phased Array) を用いた収束超音波による浮遊物体の滞空実験を行った[7]。この研究によって、超音波波長よりも十分大きな物体を特定の3次元位置に滞空させることに成功した。続いて彼らは AUPA による平面超音波ビームを用いて浮遊物体の動的な位置制御を試みた[8]。地面水平方向、垂直方向それぞれについてフィードバック制御を行うことにより、1m 以上の高度で物体を滞空させることに成功した。

以上一連の成果に基づいて VR オブジェクトと浮遊物体の位置の同期を行うとともに、VR オブジェクトの対応する位置へと浮遊物体を移動できるならば、任意の位置の VR オブジェクトに対して遭遇型接触感を提示できることが期待される。

3. 提案システム

3.1 システム概要

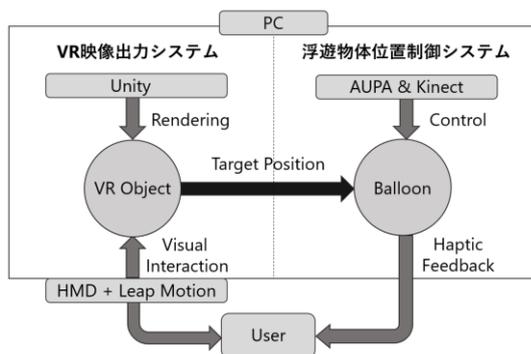


図 2: システム構成

本システムは、VR 空間出力システムと浮遊物体の位置制御システムから構成される(図 2)。インタラクションを行う VR オブジェクトの対応位置に接触感提示部である浮遊物体の位置を制御することにより、VR オブジェクト映像と整合した接触感を提示する。浮遊物体の位置の移動は超音波フェーズドアレイで音響放射圧を与えることにより行われる。また、位置の制御には Kinect v2 から得られた浮遊物体の位置情報に基づくフィードバック制御を用いる。以上の過程により、HMD を装着したユーザーが任意の位置にある VR オブジェクト映像に対してインタラクションする際に、浮遊物体からの接触感が提示される。

3.2 VR 空間出力システム

VR 空間の出力システムは PC, Unity, HMD (Oculus Rift), Leap Motion から構成される。VR 空間は Unity (ver.2018.1.3f1) を用いて構築され、HMD を通してユーザーに提示される。ユーザーは Leap Motion によって VR 空間

上に表示された手に基づいて、任意の位置にある VR オブジェクト映像とのインタラクションを行う。

3.3 浮遊物体位置制御システム

浮遊物体位置制御システムは PC, 浮遊物体, 超音波フェーズドアレイ (AUPA), Kinect v2 から構成される。また、システムの各デバイスの配置は図 3 の通りである。浮遊物体にはヘリウムガスを詰めたゴム風船を採用した。重量調整のため、ゴム風船の表面にテープを貼付した。超音波フェーズドアレイには文献[7]で使用されているものを用いた。このデバイスには、縦 14 個、横 18 個、計 249 個の超音波振動子が配置されて

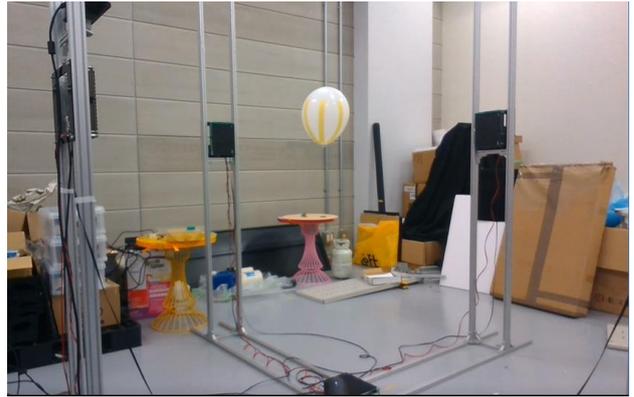


図 3: 接触感提示システム



図 4: AUPA (Airborne Ultrasound Phased Array)

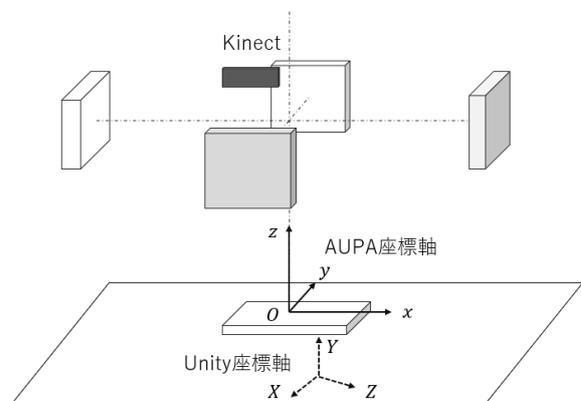


図 5: システム概形

いる(図 4)。AUPA の各振動子は独立に位相と振幅を制御できるため、様々な形状の超音波波面を作成することが

出来る。この特徴によって、指向性を持ったビームを形成でき、任意の位置に配置された浮遊物体に対して音響放射圧を加えることができる。

浮遊物体の位置制御の手順として、初めに Kinect v2 を用いて浮遊物体の 3 次元位置を取得する。ここで得られた位置情報を基に、システムの四方と下部 (図 5) に設置された各 AUPA が浮遊物体に対して平面波の超音波ビームを照射し、音響放射圧をくわえる。この音響放射圧の合力によって浮遊物体を移動させることができ、さらに PID 制御を用いて浮遊物体を目標位置まで適切に収束させる。以上の手続きによって、浮遊物体の位置制御を行う。

3.4 位置の同期

Unity 上の座標系と実空間上の座標系の幾何関係は(図 5)のようになっている。この 2 つの座標系間で、VR オブジェクト位置の座標変換を Unity 上で毎フレーム毎に行い、位置を同期させた。

4. 実験

4.1 動作確認実験手順

浮遊物体と VR オブジェクトとの位置の同期が行えているかを検証する実験を行った。初期位置から Unity 座標系の各軸方向に VR オブジェクトを移動させた際に、VR オブジェクトに対応した位置に浮遊物体を制御できているかを調べた。続いて、同様の手順で動的な位置制御を行い、HMD を装着したユーザーが VR オブジェクトに触れた瞬間に実際に浮遊物体に対して触れられるかどうかを検証した。

4.2 結果

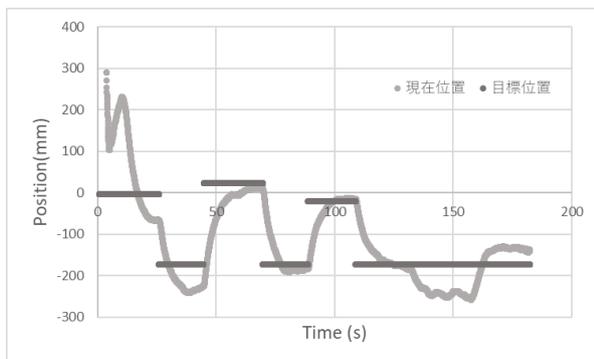


図 6 : x 軸 (AUPA 座標軸) の位置履歴

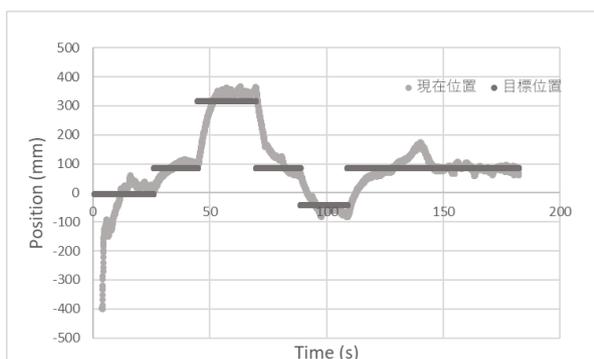


図 7 : y 軸 (AUPA 座標軸) の位置履歴

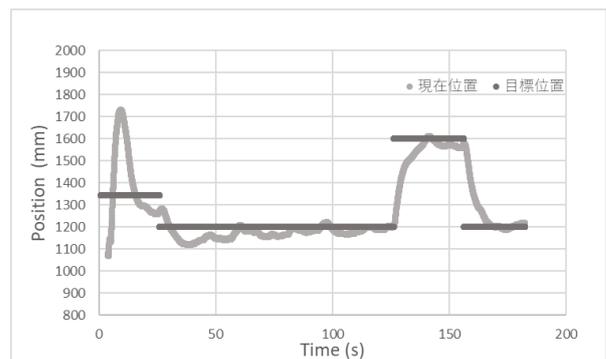


図 8 : z 軸 (AUPA 座標軸) の位置履歴



図 9 : 実験の様子

図 6～図 8 に動的な位置制御実験における浮遊物体の位置履歴を示した。各軸ともに VR オブジェクトの位置が切り替わった際に浮遊物体は目標位置に向かって移動しており、浮遊物体の誘導はできていることが分かる。また、xy 平面内で行われる目標位置の変化に対しては、フィードバック制御は正常に作動し、図 9 の実験の様子のように実際にユーザーが浮遊物体に触れることもできていた。しかし、z 軸方向の目標位置の変化させた際には、x 座標が目標位置に対しておおきくずれ、ユーザーが浮遊物体に触ることが出来なかった。今後はこの原因を解明する必要がある。

5. まとめ

本稿では浮遊物体による遭遇型触感提示のシステムを提案した。また、そのプロトタイプを作成し、VR オブジェクトの位置に合わせて、実際に浮遊物体を誘導することに成功した。

一方で、現状のシステムはオブジェクトの位置を z 方向に変更しようとする浮遊物体を正しく制御できない問題を抱えている。今後は、この課題を解決した後、VR オブジェクトと浮遊物体の位置に関する一致度を向上させるとともに、提案システムが提示する接触感を評価したいと考えている。

参考文献

- [1] 五十嵐達郎, 田島寛之, 小山達也, 朱顔, 赤羽克仁, 佐藤誠: ストリング内蔵型ハプティックインタフェース SPIDAR-I の開発, 情報処理学会インタラクティブ 2012, pp.113-120, 2012.
- [2] PHANTOM. SensAble Technologies Inc. , <https://ja.3dsystems.com/scanners-haptics>
- [3] 青木孝文, 三武裕玄, 長谷川晶一, 佐藤誠, ワイヤによる皮膚感覚刺激を用いた指先装着型接触感提示

- デバイス, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 14, No. 3, pp. 421-428, 2009.
- [4] 永井一樹, 田上想馬, 赤羽克仁, 佐藤誠, 没入型 VR 環境のためのウェアラブル手首力覚提示デバイス, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム, pp.365-371, 2015.
- [5] 中河原修平, 梶本裕之, 川渕一郎, 川上直樹, 舘樟, テレイグジスタンスの研究 (第 41 報) 遭遇型多指マスタハンドを用いた指のマスタスレーブ制御, 第 9 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.469-470, 2004.
- [6] Takayuki Hoshi, Masafumi Takahashi, Takayuki Iwamoto, Hiroyuki Shinoda, Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound, *IEEE Trans. Haptics*, Vol 3, No.3, 2010.
- [7] 古本拓朗, 長谷川圭介, 牧野泰才, 篠田裕之: 空中超音波による浮遊物体の運動制御, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 360-362, 2017.
- [8] 古本拓朗, 長谷川圭介, 牧野泰才, 篠田裕之: 空中平面超音波による浮遊物体の動的 position 制御, 第 18 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 1984-1987, 2017.
- [9] Keisuke Hasegawa, Hiroyuki Shinoda, Aerial Vibrotactile Display Based on Multiunit Ultrasound Phased Array, *IEEE Trans. Haptics*, doi:10.1109/TOH.2018.279922.