



自然な把持操作を実現する高解像度力覚提示装置の実現

A High-Definition Haptic Device for Natural Grasp

赤羽 克仁

Katsuhito AKAHANE

広島工業大学 情報学部 情報工学科

(〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅 2-1-1, k.akahane.3s@it-hiroshima.ac.jp)

概要：本研究では、自然な把持操作を可能にする 7 自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置を用いて、高速な更新周波数を実現する高解像度力覚提示装置を実現した。Unity3D により構成された、剛体物理シミュレーションを伴う VR 世界を力覚提示可能な環境にするため、力覚提示装置専用の物理シミュレータを導入し、マルチレートによる力覚レンダリングを実現し、安定性と忠実性を両立した質の高い力覚提示環境を実現した。

キーワード：力覚提示装置，ヒューマンインタフェース，バーチャルリアリティ

1. はじめに

計算機能力の向上により 3 次元 VR (Virtual Reality) 空間の構築が可能になった。VR 世界の操作を直感的に可能にするヒューマンインタフェースの構築もその 1 つである。特に、力のフィードバックを有する力覚提示装置の開発が盛んである[1,2,3]。本研究では、自然な把持操作を可能にする高解像度力覚提示装置について述べる。

力覚提示装置を用いて操作する対象物を操作する際に、現実世界で操作者が物体を多指で操作する際に行う把持を力覚提示装置において実現する。剛体などの操作には並進と回転の 6 自由度の力覚提示装置が必要であるが、この把持操作を実現するために、エンドエフェクタの自由度を上げ把持操作の 1 自由度を加えることで実現する。

本研究では、図 1 のような自然な把持操作を実現する 7 自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置を用いる[2]。この装置は、エンドエフェクタ全体の位置・姿勢の 6 自由度の力覚提示のみならず、物を掴む際に行う把持を 1 自由度として力覚提示を可能にする。ワイヤ (糸) は押すことができないので、N 自由度の力覚提示装置を構築する為には N+1 以上の糸でエンドエフェクタを駆動する必要がある。対象の装置では 8 本の糸により、7 自由度の力覚提示を実現する。

更新周波数の高速化は装置の安定性と忠実性に対し、重要な要素である[4,5]。本研究では、力覚提示装置専用のコントローラ及び、剛体物理シミュレーション専用の物理演算サーバを構築し、これらをネットワークで結合することで、それぞれの処理に応じて機能分散させ、安定で高速な更新周波数を実現した。

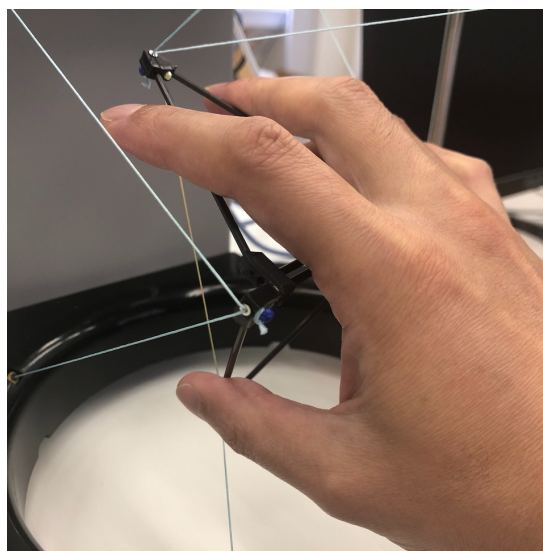


図 1 自然な把持操作を実現する
7 自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置

2. 提案手法

提案する高解像度力覚提示装置のシステム構成を図 2 に示す。力覚提示装置固有の処理には、糸長から操作者が操作するエンドエフェクタの位置・姿勢計算、司令提示力を各糸の張力に分配する張力分配計算がある。また、VR 物体とエンドエフェクタを結合する 6 自由度のバーチャルカップリングを行う計算がある。これらの処理は力覚提示の忠実性と安定性に重要な役割を果たし、安定で高速な更

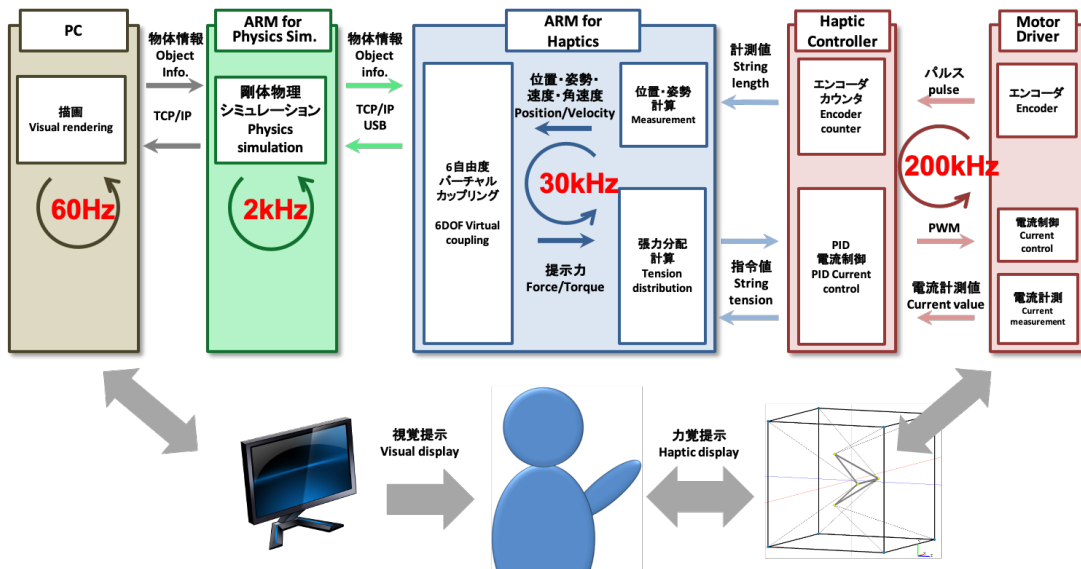


図 2 高解像度力覚提示装置のシステム構成

新周波数の実現が必要である。力覚提示装置とバーチャルカップリングによって結合される VR 物体に関する物理シミュレーションの更新周波数も重要である。VR 世界のシミュレーションを力覚提示装置と同等の更新周波数で実現できれば良いが、VR 世界の規模などにより困難である。そこで、バーチャルカップリングによって双方の更新周波数の違いを吸収し、安定した結合を実現することを目指す。一方、描画のための物理シミュレーションは力覚提示装置が求めるほどの更新周波数は必要なく、ビデオレート (60Hz) 程度の更新周波数が実現できれば映像提示可能である。VR 世界の設計は Unity3D を用いて行う。VR 世界の中で剛体物理シミュレーションの対象物となる物体については、物体の幾何学的情報および物理特性に関する情報を開始時に Open Dynamics Engine で構築した物理演算サーバに送りシミュレーションを行う。物理演算を力覚提示装置のために実行する専用物理演算サーバを構築した (図 2 の緑色の部分)。

3. 評価実験

提案システムにおける物体操作時の更新周波数を計測した (図 3)。縦軸は力覚提示装置の更新周波数(device)、物理シミュレータの更新周波数(sim)、映像提示のフレームレート(fps)を示す。横軸は時間ステップ数を表す。物体操作時 (1000 から 11800 ステップの間) には力覚提示装置の更新周波数の変動は見られるが 28kHz 程度、物理シミュレータの更新周波数は 2kHz 程度、描画のフレームレートは 60Hz 程度である。力覚提示のための高い更新周波数とそれに伴う物理演算の高い更新周波数が実現できていることがわかる。

4. まとめ

自然な把持操作を可能にする高解像度力覚提示装置を実現した。Unity3D で構築した VR 世界を力覚提示装置の

ために専用開発した物理シミュレータ上で実行し、高速で安定した物理演算の更新周波数を実現した。力覚提示装置のための高速な更新周波数の実現と相まって安定で忠実性の高い高解像度力覚提示装置を構築した。

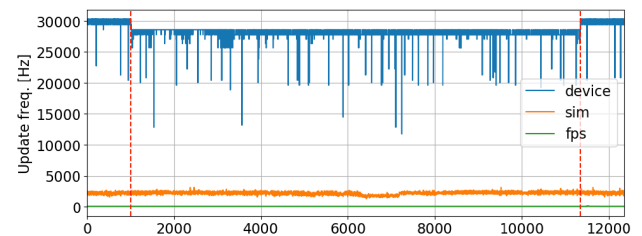


図 3 更新周波数の測定結果

謝辞 本研究は科研費 JP20K11916 の助成を受けたものです。東京工業大学名誉教授佐藤誠先生に感謝する。

参考文献

- [1] 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘:"空間インタフェース装置 SPIDAR の提案", 電子情報通信学会論文誌 Vol.J74-D-2,0,7,p.887-894 (1991)
- [2] 赤羽克仁:"自然な把持操作を実現する 7 自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置の開発", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 25 巻, 4 号, p.356-365 (2020)
- [3] P. Lambert and J. Herder:"A novel parallel haptic device with 7 degrees of freedom," 2015 IEEE WHC, Evanston, IL, p.183-188 (2015)
- [4] 赤羽克仁, 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠, "10kHz の更新周波数による高解像度ハプティックレンダリング", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.9, no.3, pp.217-226 (2004)
- [5] 赤羽克仁, 小池康晴, 佐藤誠, "安定性と忠実性を両立させる高解像度力覚レンダリングの開発", 情報処理学会論文誌, vol.48, no.3, pp.1316-1325 (2007)