

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の試作

赤羽克仁^{†1} 中本高道^{†1}

概要: 本研究では、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試作を行う。合計8本のワイヤにより、エンドエフェクタの並進・回転の6自由度の力覚提示のみならず、把持操作を追加の1自由度として合計7自由度の力覚提示を実現することを目的とする。実際に試作機の製作を行い剛体物理シミュレーションにより構築されたVR空間において、把持を伴う剛体操作のVR環境の構築を行った。

1. はじめに

近年、3次元空間での操作を行うためのヒューマンインタフェースとして、力のフィードバック機能を有する力覚提示装置の開発がされている[1][2][3][4]。VR技術は様々な分野で応用されているが、本研究では把持操作に着目する。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自由度を追加することで実現する。このようなエンドエフェクタの多自由度化の研究は、訓練やシミュレーション、遠隔操作など様々な応用が期待できる[5][6][7]。本論文では、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試作を行う。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。本研究では8本の糸により、7自由度の力覚提示を実現する(図1)。試作機を製作し、剛体物理シミュレーションにより構築されたVR世界において、把持を伴うVR物体の操作環境を構築した。

2. エンドエフェクタの設計

提案するエンドエフェクタを図2に示す。エンドエフェクタに固定された座標系からみたエンドエフェクタ側の糸取り付け点の座標 $d_j(\theta)$ とする。辺の長さ a の正四面体を考える。正四面体の1辺を取り除き、取り除いた辺の対辺を回転軸とするエンドエフェクタを考える。四面体の重心を原点にとり、面 $d_0(\theta)d_1(\theta)d_3(\theta)$ と面 $d_0(\theta)d_1(\theta)d_2(\theta)$ のなす角を 2θ とすると、各糸の取り付け点 $d_j(\theta)$ の座標は式(1)~式(4)となる。ただし、 $b = a\sqrt{3}/2$ である。エンドエフェクタに接続される糸はそれぞれ図2のような配置となり、モータ

タ側の糸出口を通り、モータ軸のプーリにより糸が巻き取られる。モータ側の糸出口座標とエンドエフェクタを構成するためのパラメータにより、力覚提示装置の幾何学的特性が決定する。

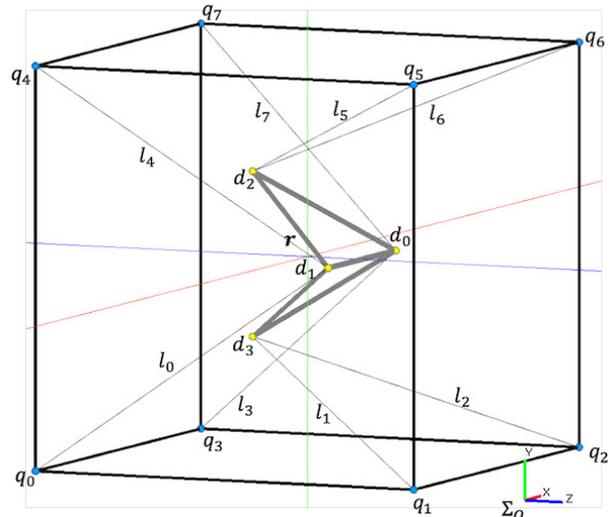


図1 試作機の7自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置の幾何学的特徴

このエンドエフェクタの特徴は、四面体の辺を操作者が把持することで、糸の干渉を抑え、自然にエンドエフェクタを操作することが可能な点にある。把持の方向とエンドエフェクタ内の回転が一致しており、シンプルで軽量なエンドエフェクタの実現が可能である。しかしながら、欠点として把持する方向への反力(正方向)の力覚提示(把持力)は可能であるが、その逆方向(負方向)への力覚提示が困難である点がある。しかしながら、多くの操作は物体を把持し操作する把持の正方向の力覚提示が必要な操作であり、把持の負方向の力覚提示は必要性が乏しい提示方向であると考えられる。

^{†1} 東京工業大学

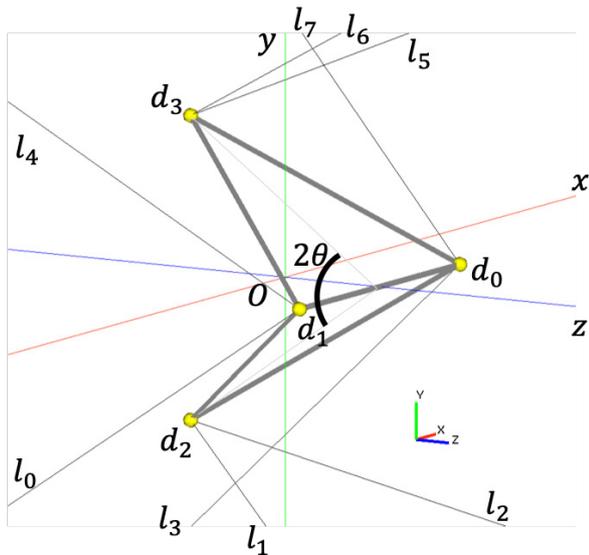


図 2 試作機のエンドエフェクタ

$$d_0(\theta) = \left(\frac{a}{2} \quad 0 \quad \frac{b}{2} \cos \theta \right)^T \quad (1)$$

$$d_1(\theta) = \left(-\frac{a}{2} \quad 0 \quad \frac{b}{2} \cos \theta \right)^T \quad (2)$$

$$d_2(\theta) = \left(0 \quad b \sin \theta \quad -\frac{b}{2} \cos \theta \right)^T \quad (3)$$

$$d_3(\theta) = \left(0 \quad -b \sin \theta \quad -\frac{b}{2} \cos \theta \right)^T \quad (4)$$

3. 試作機の製作

提案型の7自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置の試作機を作成した。我々がこれまで研究開発してきた高解像度力覚提示システム[10][11]に本研究による提案手法を実装することで実現した。VR 世界には剛体物理シミュレータ Open Dynamics Engine を用いて構築した。VR 物体とエンドエフェクタの接続には6自由度バーチャルカップリングを用いることで並進と回転の操作を可能にした。7自由度目の把持力の生成にはペナルティ法による反力生成手法を用いた。操作の様子を図3に示す。VR 空間内の黄色の立方体を把持操作し、把持力を感じながら床面や紫色の固定物体、物理則に従う黄色の剛体球などのインタラクションが可能である。

4. まとめ

本論文では、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試作を行った。本研究では8本のワイヤにより、7自由度の力覚提示を実現するエンドエフェクタを試作した。試作機の製作を行い剛体物理シミュレーションにより構築されたVR空間において、把持を伴う剛体操作のVR環境の構築を行った。



図 3 試作機の操作の様子

謝辞 本研究は科研費 JP17H00754 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, o.7, p.887-894 (1991)
- [2]金時学, 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠, "7自由度力覚ディスプレイ SPIDAR-G の提案", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 7 巻, 3 号, p.403-412 (2002)
- [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]S. Perreault, A. Talasaz, A. L. Trejos, C. D. W. Ward, R. V. Patel and B. Kiaii: "A 7-DOF haptics-enabled teleoperated robotic system: Kinematic modeling and experimental verification," 2010 3rd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, Tokyo, p.906-911.(2010)
- [5]Dongjin Huang, Pengbin Tang, Xianglong Wang, Tao Ruan Wan, Wen Tang: "New haptic syringe device for virtual angiography training," Computers & Graphics, Volume 80, P.97-103 (2019)
- [6]B. Gonenc and H. Gurocak: "Haptic interface with hybrid actuator for virtual needle insertion and tissue cutting," 2012 IEEE Haptics Symposium, Vancouver, BC, p.451-455 (2012)
- [7]Pepley DF, Yovanoff MA, Mirkin KA, Miller SR, Han DC, Moore JZ: "Integrating Cadaver Needle Forces Into a Haptic Robotic Simulator." ASME. J. Med. Devices. (2017)
- [8]長谷川晶一, 井上雅晴, 金時学, 佐藤誠, "張力型力覚提示装置のための張力計算法", 日本ロボット学会誌 Vol.22, No.5, pp.68-73 (2004)
- [9]吉川恒夫, "ロボット制御基礎論" 株式会社コロナ社 (1988)
- [10]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)
- [11]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)