

掌を使った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†

概要: 本研究では、掌を使った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提案を行う。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、掌を使った把持操作を追加の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、計算機処理能力の飛躍的な発展により、比較的容易に3次元VR (Virtual Reality) 空間を構築できるようになってきた。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、本研究では掌を用いた把持操作に着目する。実世界において、我々は物体を操作する時、指先とともに対象物に応じて掌を巧みに使う。とくに、指先だけの操作では不安定な比較的大きな物体操作において、掌は重要な役割を果たす。

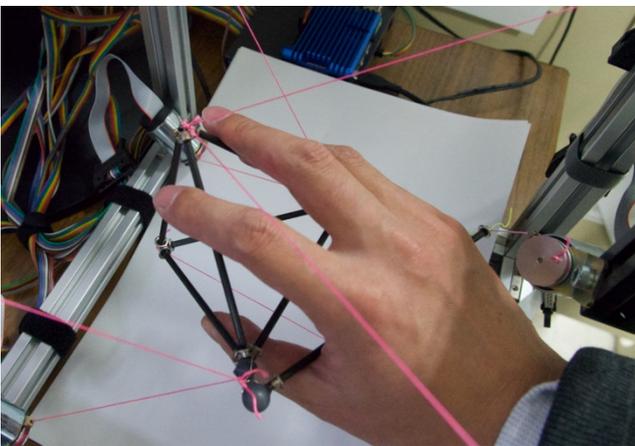


図1 提案する掌を使った把持操作デバイス

力覚提示装置を用いて操作の対象物を操作する際も、複数の指先を使った物体操作だけでなく、掌を利用した操作環境を構築することで、より安定で操作性の高い力覚提示を実現できるのではないだろうか。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、掌を使った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掌への1自由度を追加し、掌を押す感覚提示を

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][8]。本論文では、掌を使った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提案を行う(図1)。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自由度として掌への力覚提示することを目的とする。

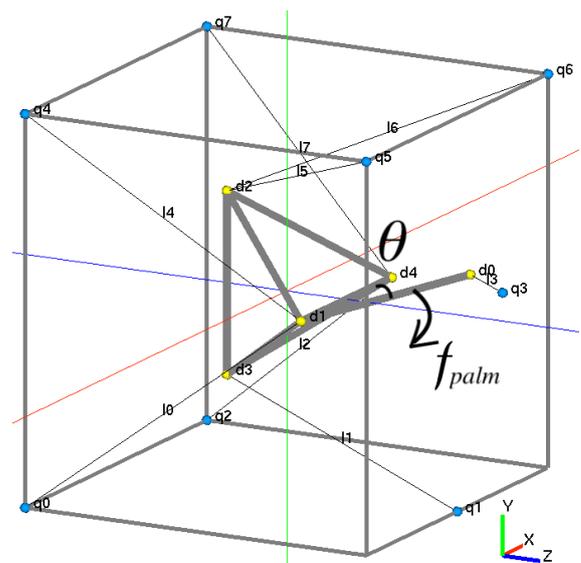


図2 提案する7自由度ワイヤ駆動型力覚提示装置の外観

2. エンドエフェクタの設計

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 $d_1(\theta)d_4(\theta)$ に対し xz 平面で点 $d_1(\theta)$ 中心に Y 軸方向を回転軸とする辺 $d_0(\theta)d_1(\theta)$ を持つエンドエフェクタを考える。四面体の重心を原点にとり、回転角を θ とし、辺 $d_0(\theta)d_1(\theta)$ の長さを b

† 東京工業大学

とすると、各糸の取り付け点 $\mathbf{d}_i(\theta)$ の座標は

$$\mathbf{d}_0(\theta) = \left(b \cos \theta - \frac{a}{2} \quad 0 \quad b \sin \theta + \frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^T \quad (1)$$

$$\mathbf{d}_1(\theta) = \left(-\frac{a}{2} \quad 0 \quad \frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^T \quad (2)$$

$$\mathbf{d}_2(\theta) = \left(0 \quad \frac{a}{2} \quad -\frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^T \quad (3)$$

$$\mathbf{d}_3(\theta) = \left(0 \quad -\frac{a}{2} \quad -\frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^T \quad (4)$$

$$\mathbf{d}_3(\theta) = \left(\frac{a}{2} \quad 0 \quad \frac{\sqrt{2}}{4} a \right)^T \quad (5)$$

となる。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。このエンドエフェクタの特徴は、四面体の辺に操作者の指先が接触することで、エンドエフェクタを自由に操作しながら、把持対象物を把持する時に掌を用いてエンドエフェクタ全体を包み込むように把持することで、角 θ が変化し、その変化を計測することで、把持を行うことを可能にする点である。また、その際、角 θ に応じて反力を発生させることで、把持力を提示可能な点である。

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[9][10]に本研究による提案手法を実装することで実現した。評価実験のために作成した3DパズルのVR世界における提案装置を用いた操作の様子を図3に示す。剛体物理シミュレーションによるVR空間内の3Dパズルのピースを把持操作し、掌への把持力を感じながら床面や薄紫色の固定物体、物理則に従う剛体などとのインタラクションが可能である。

4. まとめ

本論文では、掌を使った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提案を行った。正四面体に基づく物体操作のエンドエフェクタに加え掌への1自由度の力覚提示を可能にするエンドエフェクタの提案を行った。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、掌を使った把持を伴う剛体操作のVR環境の構築を行った。

謝辞 本研究は科研費 JP20K11916, 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。

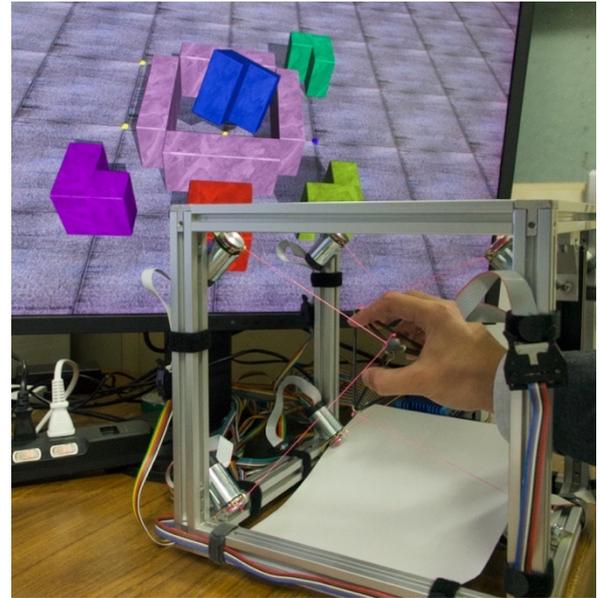


図3 試作機の操作の様子

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. Talasz, 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] Son, Bukun and Park, Jaeyoung: "Haptic Feedback to the Palm and Fingers for Improved Tactile Perception of Large Objects" 10.1145/3242587.3242656. (2018).
- [6] Shor, D. Zaaijer, B. Ahsmann, L. Weetzel, M. Immerzeel, S. Eikelenboom, D. Hartcher-O'Brien, J. Aschenbrenner, D: "Designing Haptics: Improving a Virtual Reality Glove with Respect to Realism, Performance, and Comfort" International Journal of Automation Technology. 13. 453-463. 10.20965/ijat.2019.p0453. (2019).
- [7] Kouta Minamizawa, Sho Kamuro, Naoki Kawakami, and Susumu Tachi: "A palm-worn haptic display for bimanual operations in virtual environments" Haptics: Perception, devices and scenarios (2008), 458-463. (2008)
- [8] Ahmet Guzererler, William R Provancher, and Gagatay Basdogan: "Perception of Skin Stretch Applied to Palm: Effects of Speed and Displacement" In International Conference on Human Haptic Sensing and Touch Enabled Computer Applications. Springer, 180-189. (2016)
- [9] 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)
- [10] 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)