

仮想世界のオブジェクトを現実世界の道具で操作する
ハプティックインタフェース

Haptic Interface for Manipulating Virtual World Objects with Real World Tools

柏木 敏朗[†] 角 薫[†] Sidney Fels[‡]
Toshiro Kashiwagi Kaoru Sumi Sidney Fels

1. 概要

近年, Hololens[1]などの現実世界と仮想環境(VE)をより密接に融合させた複合現実(MR)が注目を集めている. MRは現実世界(RW)に仮想物体を投影するだけでなく, その仮想物体をジェスチャや音声, 視線などの直感的な操作でインタラクションを行うことができる[2-5]. しかしユーザは有形のインタフェースを好む[6]. 拡張現実(AR), 仮想現実(VR)や MR の過去の研究において, 触覚フィードバック(HF)を与えることで自然で説得力のある VE とのインタラクションができることが示されている[7-10]. そのなかでも AR と MR 内でユーザと仮想物体の自然なインタラクションを確立するには, HF だけでなく視覚フィードバックが要求される[11]. そこで私は, 実際の道具を用いて HF を得ることにより, 先ほど述べた問題に対しての解決方法を提案する.

2. 関連研究

2.1 触覚フィードバック

HFは大きく2つに分類することができる. 1つは能動的触覚, もう1つは受動的触覚である. 能動的触覚はアクティブタッチとも呼ばれ, 能動的に手で触れることで得られる知覚のことであり, 随意的に自ら作り出す接触運動で得られる HF である[12]. それに対して受動的触覚とは, 物体によって与えられる刺激によって生じる HF のことである. ユーザの実環境における身近な物体による物理的な操作は, 3次元ユーザインタフェースの設計にとって重要である[13]. 受動的触覚デバイスとは, 単にそれらの形状, 質感, 性質をユーザに提供する単なる物体であり, コンピュータによって制御されない. そのため低コストで忠実度の高い HF を与える. また親しみやすさ, 明快な使用法, 直接的な操作, 物理的存在感, 視覚的・触覚的フィードバック, 操作の理解のしやすさなど自然に生じるいくつかの利点があり, 効果的な HI を提供できる[13-17].

2.2 タンジブルユーザインタフェース

タンジブルインタフェースとは, コンピュータから出力される情報を物理的なオブジェクトと連携させたインタフェースである. それはコンピュータの操作の中で存在感, 直感さ, 没入感, ユーザの好みが高い[6,18,19]. より自然で現実世界に近い操作感にすることによって, インタフェースの馴染みなどの理由から忠実性やアクセシビリティの向上が期待される. TapeWidget は, ShapeTape と呼ばれる高自由度曲線入力デバイスを用いて仮想空間内での仮想曲線の作成および操作することを可能とする[20]. ToolDevice は 3次元モデリングなどの 3次元作業を支援す

[†] 公立はこだて未来大学 Future University Hakodate

[‡] The University of British Columbia

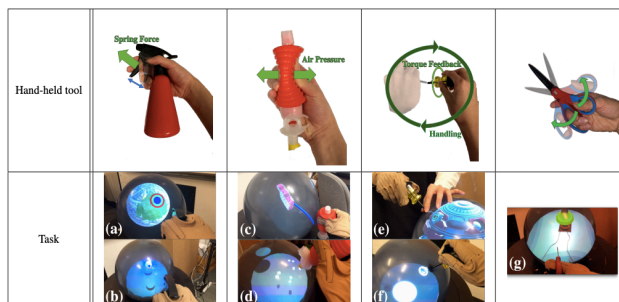


図 1 それぞれの道具の受動的触覚と操作

るために開発された[21]. それは TweezersDevice, Knife/HammerDevice, および BrushDevice の 3つのコンポーネントで構成されている. 操作を実際の操作に似せることで, 直感的なシステムを実現しユーザエクスペリエンスを向上させた.

3. ハプティックインタフェースシステム

3.1 システム概要

実際の道具を操作デバイスとして利用するシステムを開発する. 人間の物体の握り方には複数のタイプに分かれており, 物体の把握分類法が定義されている[22]. そのためグローブ型コントローラを用いてユーザの指の動きを認識することで, その把持タイプを識別することが可能である[23]. そこでグローブ型コントローラから得られるセンサーデータをもとに, その道具の動作を認識できると仮定した. 本研究では CyberGlove と呼ばれるグローブコントローラを使用し, 道具の動きを推定するシステムを開発を行った.

3.2 システム詳細

対象とした道具は, スプレー, ハサミ, ドライバー, ポンプの 4つである. その道具をどのように指を動かして操作するか次のように定義し, それに沿って, その道具の動きを推定した.

- スプレー
人差し指の第 2 関節を曲げることでレバーを動かし操作する.
- ハサミ
親指の第 1 関節と人差し指もしくは中指の第 1 関節を同時に同様に手の中心に向かって動かすことでハサミの開閉を行う.
- ドライバー
親指の第 1 関節と人差し指もしくは中指の第 1 関節を同時に対称的に, 手のひらに対して垂直方向に動かすことでドライバーを回転させる.
- ポンプ
親指と人差し指の指先を近づけることで, ポンプを潰す.

3.3 複合現実との連携

本研究のシステムを用いたMRとのインタラクティブシステムの開発を行った。手の位置をトラッキングするためにPolhemus Fastrakという磁気式の高精度モーショントラッキングセンサを利用し、VEの出力に球体ディスプレイを用いる。図1のように、スプレーの場合、レバーを引くとVE内のオブジェクトのマテリアルへの描画やオブジェクトを引くように位置変更、オブジェクトを潰すようにサイズ変更をすることができる。ポンプの場合、ポンプを潰すことによって、仮想オブジェクトのサイズ変更、VE内のオブジェクトの吸い込みおよび吐き出しをすることができる。ドライバーの場合、ドライバーを回すことでVE内の仮想ネジを回すことができる。ハサミの場合、刃を開閉することで、VE内のオブジェクトを切断することができる。それぞれの道具が持つHFにより、現実世界に近い感覚で仮想オブジェクトとのインタラクションを可能とした。

4. 評価実験

被験者3人に対してスプレーを用いたタスクを行ってもらった。

- タスク

被験者にボール運びゲームを行わせた。プレイヤーは球体型ディスプレイ内にあるボールを、障害物を避けながらゴールまで運ばなければならない。ボールの横移動は手首に取り付けているPolhemus Fastrakに追従する。上下の移動はレバーを引くと上昇し、離すと下降する。またレバーを引いて保持した状態にするとボールはその位置で止まる。

- 結果

被験者にジェスチャのみとスプレーの2つの状態でタスクを行ってもらった後、その操作の楽しさ、現実性、操作の難易度について回答してもらった。その結果、操作の楽しさについては、「どちらもとても楽しかった」「ジェスチャだけよりスプレーの方が楽しかった」「スプレーを用いると操作性に自由度が少なく、ジェスチャの方が楽しかった」と三者三様の評価となり、スプレーを使うことで楽しさが向上するかは分からなかった。次に現実性については、「スプレーを持つことで実際の操作に近い操作感覚であった」「ジェスチャより現実感があった」「ジェスチャの場合、ボールを持ち上げる時に現実感がなかった」とスプレーを用いることで実際の操作感覚を提供することができた。最後に難易度について、「スプレーは操作を事前に練習する必要があった」「スプレーはジェスチャよりも自由度が少なく、難しかった」とジェスチャの方が、操作性が簡単であった。

実験終了後、実際の道具を操作デバイスに使うについての意見を聞いたところ、「実際の道具を使うことで現実に近い触覚フィードバックを生み出すため現実的な操作が向上する」「正確さが求められるタスクにおいて有益であるかもしれない」と前向きな意見が得られた。

5. 考察・まとめ

実際の道具を使うことで現実に近い操作感覚を提供することができた。しかしシステム的设计上、ユーザに普段の

その道具の握り方ではなく特殊な握り方になってしまい、操作難易度が上がってしまった。そのためユーザの指の太さや手の大きさに合わせるキャリブレーションやアルゴリズムの改良などのシステムの改善が必要である。

参考文献

- [1] S. Karthika, P. Praveena and M. Gokilamani: "Hololens", IJCSMC, Vol. 6, Issue. 2, pp. 41-50, 2017.
- [2] P. Milgram et al.: "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", IEICE Transactions on Information Systems 77, pp. 1321-1329, 1994.
- [3] E. Costanza, A. Kunz, and M. Fjeld, "Mixed Reality: A Survey", Human Machine Interaction, LNCS 5440, pp. 47-68, 2009.
- [4] L. Nguyen, "Direct Manipulation of Virtual Objects", Electronic Theses and Dissertations, 3907, 2009.
- [5] L. Lee and P. Hui, "Interaction Methods for Smart Glasses: A Survey", IEEE Access, Vol. 6, pp. 28712-28732, 2018.
- [6] M. McEwan et al.: "Natural Mapping and Intuitive Interaction in Videogames", 1st ACM SIGCHI annual symposium on Computer-human interaction in play, ACM, New York, USA, pp. 191-200, 2014.
- [7] J. McClelland, R. Teather, and A. Girouard: "HaptoBend: Shape-Changing Passive Haptic Feedback in Virtual Reality", ACM Symposium Spatial User Interaction, Brighton, UK, 2017.
- [8] M. Achibet et al.: "FlexiFingers: Multi-Finger Interaction in VR Combining Passive Haptics and Pseudo-Haptics", 3D User Interfaces, 2017 IEEE Symposium, IEEE, pp. 103-106, 2017.
- [9] I. Choi et al.: "Gravity: A Wearable Haptic Interface for Simulating Weight and Grasping in Virtual Reality", 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, ACM, pp. 119-130, 2017.
- [10] I. Choi et al.: "Wolverine: A Wearable Haptic Interface for Grasping in Virtual Reality", 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IEEE, Daejeon, South Korea, 2016.
- [11] S. Jeon and S. Choi: "Haptic Augmented Reality: Taxonomy and an Example of Stiffness Modulation", Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 18, Issue. 5, pp. 387-408, 2009.
- [12] 岩村吉見, 能動的触知覚(アクティブタッチ)の生理学, バイオメカニクス学会誌, Vol.31, No.4, 2007.
- [13] K. Hinckley et al.: "Passive Real-World Interface Props for Neurosurgical Visualization", ACM CHI '94 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 452-458, 1994.
- [14] R. Lindeman, J. Sibert, and J. Hahn, "Hand-held Windows: Towards Effective 2D Interaction in Immersive Virtual Environments", IEEE Virtual Reality 1999, Houston, TX, 1999.
- [15] M. Azmandian et al.: "Haptic Retargeting: Dynamic repurposing of Passive Haptics for Enhanced Virtual Reality Experiences", 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, pp. 1968-1979, 2016.
- [16] C. Seim et al.: "Passive Haptic Training to Improve Speed and Performance on a Keypad", ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies, Vol. 1 Issue 3, 2017.
- [17] S. Teng, et al.: "PuPop: Pop-up Prop on Palm for Virtual Reality", UIST 2018, ACM, Berlin, Germany, 2018.
- [18] P. Skalski et al.: "Mapping the Road to Fun: Natural Video Game Controllers, Presence, and GameEnjoyment, New Media & Society, Vol. 13, Issue 2, pp. 224-242, 2011.
- [19] M. McEwan, D. Johnson, P. Wyeth, and A. Blackler, "Videogame Control Device Impact on the Play Experience", 8th Australasian Conference on Interactive Entertainment: Playing the System, 2012.
- [20] T. Grossman, R. Balakrishnan, and K. Singh, "An Interface for Creating and Manipulating Curves using a High Degree-of-Freedom Curve Input Device", SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Florida, USA, pp. 185-192, 2003.
- [21] R. Arisandi et al.: "Enjoying Virtual Handcrafting with ToolDevice", UIST Adjust Proceedings 2012, pp. 17-18, 2012.
- [22] I. Bullock, R. Ma, and A. Dollar: "A Hand-Centric Classification of Human and Robot Dexterous Manipulation", IEEE Transactions on Haptics, Vol. 6, Issue 2, pp. 129-144, 2012.
- [23] N. Adnan and T. Mahzan, "Grasp Analysis using Multi-Fingered Manipulation of Objects", 2015 IEEE Conference on Systems, Process and Control, IEEE, Bandar Sunway, Malaysia, pp. 106-111, 2015.