

VR空間の地面の高低を提示可能な伸縮杖型デバイス

上出 千隼¹ 高嶋 和毅¹ 藤田 和之¹ 北村 喜文¹

概要: 本デモでは、地面と3次元的なインタラクションを可能にする杖型のハプティックデバイスを提案する。このデバイスは先端の伸縮によって地面との接地タイミングを調整することができ、現実とは異なる高さのバーチャル地面に杖を突く際に、地面の高さの感覚を力触覚でユーザーに提示することができる。本デモ発表では、試作した杖型デバイスを用いて地形モデリングをするアプリケーションを紹介し、地形の高さ感覚を杖と腕で得ながら地面を所望の形に変形させてゆく体験を提供する。

1. はじめに

棒を使って地面に絵を描く行為や、大きな筆を使って巨大な書をしたためるパフォーマンスなど、棒状の道具を把持して地面とインタラクションする場面は数多く存在する。地面を活用することで、等身大の大きな絵を描くことができるのみならず、その絵の上を歩いたり跳ねて遊んだり、フィールドを設定してスポーツを楽しむなど、他の体験への発展や応用ができる。しかし、こういったインタラクションは、地面という性質から主に平坦で変化しない面に限られ、入力自由度も2次元に限定されてきた。

我々は、これら棒型オブジェクトを用いた地面とのインタラクションをバーチャル空間で再現することで、これまで2次元に制限されてきた地面とのインタラクションを3次元に拡張し、地形のモデリングや立体感のある絵描きなど、部屋規模で地面をより有効活用する多彩なインタラクションを実現したいと考えた。その一つの検討として、本デモ発表では、VR空間の地面との3次元インタラクションにおいて、地面の高低の力触覚を提示可能な伸縮杖型デバイスを提案する。このデバイスはコンピュータ制御によって長さを伸縮可能であり、ユーザーがVR空間で杖を突く際に、VRと実空間の地面の高低差分だけ杖を自動的に伸縮させることで、VR空間の地面の高さを杖による力触覚を介して正確に再現することができる。

今回のデモ発表では、この伸縮杖型デバイスの最もシンプルな応用例として、インタラクティブに地面を3次元的に変形(例:凹凸や起伏)させる地形モデリングアプリケーションを紹介する。

2. 関連研究

棒状のオブジェクトとVR平面とのインタラクションとして、ペン型のデバイスを用いて3Dオブジェクトに触れる研究がある。Kataokaらによる先端伸縮型デバイス ExtickTouch [5]では、ペン型のデバイスの先端を伸縮させることで、VR空間の3Dオブジェクトの立体的な表面をなぞる触覚をユーザーに与えることに成功している。また、その他にもデスクトップで利用可能なペン型触覚提示デバイスの研究は複数存在している [1], [3]。しかし、これらの研究はあくまでもデスクトップなどの小さなスペースでの利用を目的としたものであり、地面とのインタラクションまではサポートしていない。

また、棒と地面とのインタラクションを実現するものとして、杖のメタファを用いて手から地面の情報を入力する研究が存在する [4], [6]。Shimozawaら [6]は杖のグリップ部分を振動させることで地面のテクスチャを伝える杖型触覚提示デバイスを開発した。また、Zhaoら [4]は視覚障害者が周囲の状況を把握するために用いる白杖をモデルとした非接地型の杖型デバイス Canetroller を開発した。Canetrollerはブレーキ機構と振動提示機構、及び聴覚フィードバック機構を搭載したデバイスであり、視覚障害者を対象に、VR空間での3Dオブジェクトとのインタラクションと地面のテクスチャ提示に成功している。このように、杖の有用性は見出されているものの高低差の力触覚を提示するものは今だない。

本研究では、上記の研究から杖の性質に着目し、地面との3次元的なインタラクションに向けた杖型のデバイスを開発することにした。

¹ 東北大学 電気通信研究所

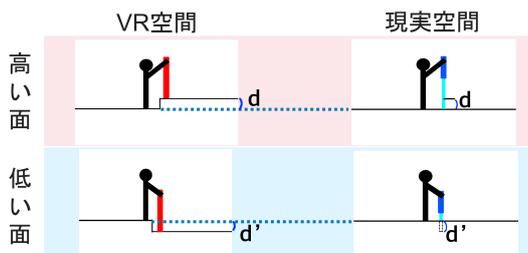


図 1 杖の長さの変更による地面高さ再現の仕組み

3. 提案手法

本研究では、バーチャルな地面との3次元的な力触覚インタラクションを実現することを目的として、先端が伸縮する杖型デバイスを提案する。

この手法では、ユーザは、実空間において杖型デバイスを把持し、そのユーザがHMDを介して見るVR内でもそれと対応したバーチャルな杖が表示される。杖型デバイスは状況に応じて先端が伸縮するが、バーチャルな杖の長さは常に一定である。ユーザが、VR空間において、バーチャル杖を実空間とは異なる高さの面に接地させる際、VR空間と実際の地面の高低差の分だけ杖型デバイスの先端を適宜伸縮させ、VR内でバーチャル杖をつくのと同じタイミングで実空間の杖が地面に接地するようにする。具体的には、図1上に示すように、現実空間よりも d だけ高いバーチャル地面に杖をつく場合には杖型デバイスを長さ d だけ長く伸ばし、同図下に示すように、現実空間よりも d' だけ低いバーチャル地面に杖をつく場合には杖型デバイスを長さ d' だけ短くする。これにより、ユーザは杖を介して腕や姿勢全体で地面の高低差の感覚を得ることができる。

4. 伸縮杖型デバイスの試作

提案デバイスの具現例として、コンピュータ操作で伸縮する杖型デバイスを実際に試作した。そのシステム全体の構成を図2に示す。杖型デバイスの3次元位置検出のためにVive Tracker 3.0を杖の根本に装着した。杖の接地の検出のために杖の先端に圧力センサを設置し、その情報をArduino Unoによるシリアル通信でPCに送信する。杖の伸縮には、バイポーラスステッピングモータ(SM42BYG011)を用いた伸縮機構を導入し、Arduino Unoとモータドライバ(AE-L6470DRV)でそのステッピングモータを駆動・制御する。

杖型デバイスの基準となる状態の長さが108cmであり、そこから内部の伸縮レールを用いて $\pm 15\text{cm}$ の範囲で伸縮する。杖に体重をかけた場合の先端の伸縮部分の耐荷重はステッピングモータの静止トルクより23Nである。また、先端の伸縮速度は目標伸縮長によって変化するが、目安としてはステッピングモータの性能の上限値を採用して約

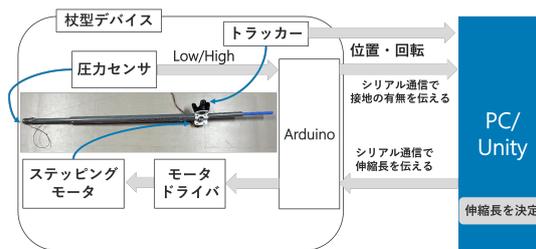


図 2 システム構成

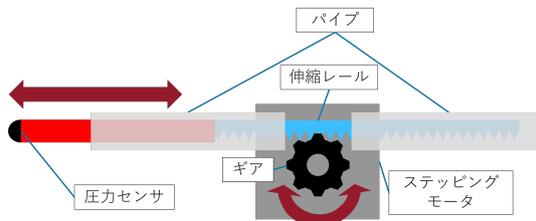


図 3 伸縮機構概略図

100mm/s程度である。

伸縮機構については、ラックアンドピニオンを採用し、図3にあるように、ステッピングモータの回転を、杖内部を貫通する伸縮レールとギアにより接続し、レールの長軸方向への運動に変換することで、杖を伸縮させている。使用したギアのピッチ円直径は20mmであり、ステッピングモータの1周当たりのステップ数はモータドライバのハーフステップモードを使用し1周400ステップであるため、杖型デバイスの先端部分の伸縮長の解像度は $20\text{mm} \times \pi \div 400 = 0.157\text{mm}$ より、0.16mmである。

5. 地形モデリングアプリケーション

試作した杖型デバイスを用いて、杖を用いた地形をモデリングをするアプリケーションを実装した。

このアプリケーションでは、ユーザは、地面を盛り上げる、または凹ませるといった複数のモードを切り替えながら、杖を使って地面に地形をモデリングしていく。初期画面では、VR空間には現実の地面の高さと同じ高さにブロックが敷き詰められており、それらのブロックに杖を突いたり、なぞったりすると、事前に設定された高さのモードに応じて、ブロックが昇降したり下降したりする。ユーザはこの杖型デバイスを使って地面のブロックの昇降を自在に操り、地面と接地する力覚を得ながら地形を変形させ、Minecraft [2]のように周囲の地形を好きなようにモデリングする体験ができる。作成した後はユーザがその地形を散策することも当然できる。

本デモアプリケーションでは、実際に地面の凹凸をモデリングする際に地面が盛り上がる感覚や、地面を沈めるような感覚を、杖からの力覚だけではなく姿勢の変化からも得ることができる。本アプリケーションを予備実験で体験してもらったところ、高い面よりも低い面の方がより臨場感を感じるという意見が出たが、これは高い面に杖を突く

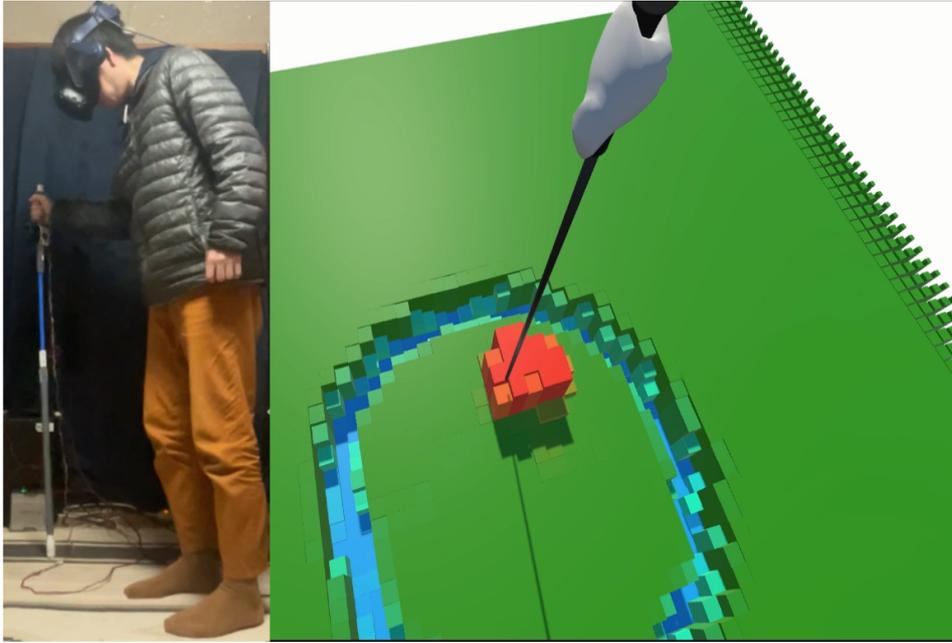


図 4 アプリケーション画面と操作の様子

場合は腕の上げ下ろしの変化に収まるのに対し、低い面に杖を突く場合は、姿勢全体がかがみこむようになるため違いを感じやすくなるのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 3DSYSTEMS: 3D Systems Touch, <https://ja.3dsystems.com/haptics-devices/touch> (2023). Accessed on June 7, 2023.
- [2] Microsoft: Minecraft, <https://www.minecraft.net/ja-jp> (2023). Accessed on December 21, 2023.
- [3] Nagasaka, S., Uranishi, Y., Yoshimoto, S., Imura, M. and Oshiro, O.: Haptylus: haptic stylus for interaction with virtual objects behind a touch screen, *SIGGRAPH Asia 2014 Emerging Technologies*, pp. 1-3 (2014).
- [4] Zhao, Y., Bennett, C. L., Benko, H., Cutrell, E., Holz, C., Morris, M. R. and Sinclair, M.: Enabling People with Visual Impairments to Navigate Virtual Reality with a Haptic and Auditory Cane Simulation, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '18, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, p. 1-14 (online), DOI: 10.1145/3173574.3173690 (2018).
- [5] 片岡敬志郎, 大槻麻衣, 柴田史久, 木村朝子ほか: 先端伸縮型仮想物体接触デバイス ExtickTouch の評価, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 2021, No. 20, pp. 1-6 (2021).
- [6] 下澤 弾, 濱崎 愛, 杉浦裕太, 橋本悠希: 低遅延杖型触覚提示デバイスの開発および性能評価, 第 24 回日本バーチャリアリティ学会大会 (2019).