

ワイヤの張力とクランク機構を利用したチェーンソー型 VR デバイス

竹島 康平* 小池 崇文

* 法政大学情報科学部

1. はじめに

近年ではホラー映画やゲームにおいて、様々な武器が登場している。中でも現実で取り扱うことが難しい武器として、チェーンソーがある。林業に用いられることが多く、日常において触れる機会はほとんどない。チェーンソーを使用する機会は実際に体験する他に、VR による仮想体験がある。VR によって現実にあるものを仮想的に体験でき、ヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）に付属するコントローラーを用いることで、チェーンソーを VR 空間で武器のように操作できる。

しかし HMD のコントローラーを使用するだけでは、剣のような他のオブジェクトを操作していることと差異を感じられない。本研究では、VR 空間内でチェーンソーを自由に操作しているかのような体験を行うためのデバイスを提案する。このデバイスを使用することで、ただ HMD のコントローラーで操作するのは違い、実際にチェーンソーを用いて操作をしているような体験の提示を目指す。

2. 関連研究

本研究ではチェーンソーによる切断の特徴を、振動と抵抗の2つに分けた。チェーンソーは山中で自分のいる位置を相手に伝えるため、激しい振動による音が発生する。そのためユーザーはエンジンによる激しい振動と音を受ける。抵抗には2種類あり、一つは接触平面に対して垂直な抵抗で、木材にチェーンソーを押し当てるとき、接触する平面に対して生じる。また、チェーンソーが物体を切断しようとする力は接触平面に対して平行であるため、接触平面に対して平行な方向に抵抗が生じる。

本研究ではこれらの要素を、人間が物体との接触時に感じる力感覚（以下力覚）を利用して提示する。人間に力覚を提示する手段として、人間の感覚知覚を利用した手法が存在する [1]。雨宮は非対称な振動によって起こる牽引力を牽引力錯覚と名付けた [2] [3]。牽引力錯覚には、重りの往復運動が等速でないものを利用しており、等速の場合ユーザーには振動として感じられる。本研究では、対称な振動でチェーンソー稼働時の振動を、非対称な振動で切断時の平行な抵抗を提示する。

糸による張力を利用した手法も存在する [1] [4]。チェーンソーでは物体を切断中、刃の進行方向に対して抵抗が生じる間も刃の進行が進んでいる。本研究ではワイヤの伸び縮みに抵抗を与える仕組みを利用することで、切断時の垂直な抵抗を提示する。

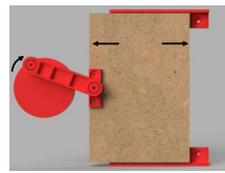
3. 提案手法

本研究では HMD のコントローラーを取り付けることのできるチェーンソー型デバイスを製作する。振動と抵抗を提示する機構を製作し、提案デバイスの機能とする。

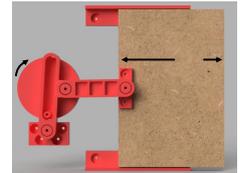
3.1. 錯覚による力覚提示

重りの往復運動を利用して、チェーンソーの振動と切断面に平行な抵抗を表現する。この運動には、図1の円盤の回転運動をアームによって往復運動へと変換する、クランク機構を利用する。図1[a]のスライダクランク機構では、アーム

は回転円盤の軸に直接つながっており、黒い重りは左右に等しい速度で往復する。一方図1[b]の早戻り機構では、スライダのあるアームは回転円盤の軸からずれた位置で接続されており、円盤の回転によって左右に異なる速度で揺動する。提案デバイスの振動にはスライダクランク機構を使用し、平行方向への抵抗は早戻り機構を使用する。



[a] スライダクランク機構。



[b] 早戻り機構。

図1. 2種類のクランク機構のイメージ図。[a]のスライダクランク機構では左右に等しい早さで揺動するが、[b]の早戻り機構では円盤の回転方向によって、どちらかの方向に早く揺動する。

3.2. 張力による力覚提示

チェーンソーを物体に押し当てる力に対する抵抗を表現するため、図2のような機構を製作する。この機構は実線丸の巻き取り式リールにワイヤを取り付けたものと、左下のサーボモーターによって制御されるブレーキパーツで構成されている。これを8つ用意する。

VR空間で何もしていない状態では、チェーンソー型デバイスを動かしても、ワイヤが自動で伸びるために動きは阻害されない。3Dオブジェクトを切断しようとする際、サーボモーターが矢印の向きに回転することでワイヤにブレーキパーツが接触し、自転車のブレーキのように抵抗を加える。このときサーボモーターの回転角によって、ワイヤに加えられる抵抗の大きさが変化する。この抵抗の大きさの違いを、硬さの異なるオブジェクト切断時の抵抗の表現に使用する。

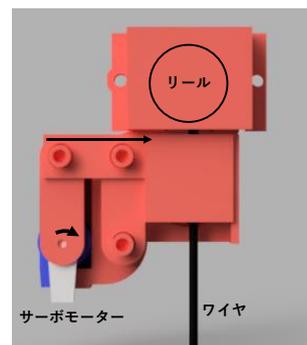


図2. 提案デバイスに抵抗を与える機構。巻き取り式のリールワイヤを取り付けた物に、サーボモーターによって制御をかける。

4. 実装と実験

4.1. 実装

3章で述べた機構を基に、図3のチェーンソー型デバイスを製作した。被験者は HMD とイヤホンを装着し、VR 空間上でチェーンソーの 3D モデルを操作してもらう。このとき HMD のコントローラーから入力信号を送ることで、図2の機構を起動し、振動を起こすことができる。VR 空間で物

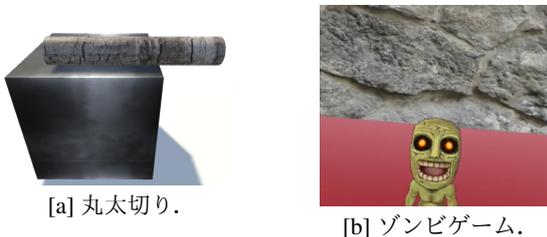
体を切断する際、デバイス内部では図 1[b] の機構が、外部では図 2 の機構が起動することで、ユーザーに切断における手応えを提示する。同時に PC から音を発生させる処理を行い、イヤホンからチェーンソーの稼働音を再生する。

HMD は HTC VIVE (以下 VIVE) を使用した。VIVE を使用した理由は二つある。一つはチェーンソーの持ち手の形状が VIVE のコントローラーに似ているためである。もう一つは、一定の実空間内で直感的な動作を行いやすいためである。

提案デバイスを使用するために、VR 空間上でチェーンソーを使用するシステムを 2 種類用意した。一つ目は図 4[a] の丸太型オブジェクトを切断するシステム (丸太切り) である。二つ目は被験者に次々と向かってくる図 4[b] のゾンビオブジェクトを、チェーンソーで切って倒していくシステム (ゾンビゲーム) である。



図 3. チェーンソー型デバイスを操作している様子。右手の持ち手に HMD のコントローラーを取り付けて使用する。



[a] 丸太切り。

[b] ゾンビゲーム。

図 4. 本研究で使した 2 種類の評価システム。

4.2. 丸太切りによる実験

提案手法で提示する抵抗の妥当性を評価するために、丸太切り体験時の切断時間を計測した。被験者には丸太切りを、VIVE のみでのときと、提案手法のときで操作してもらう。持ち手や重量による差異を減らすため、VIVE のみでの操作では、提案デバイスからリールを外したものに VIVE のコントローラーを取り付けて操作してもらう。

VIVE のみと提案手法による切断時間と、実際の丸太の切断時間との比較を行う。YouTube に挙がっている丸太の切断動画を 6 本用意し、切断時間の平均値である 12.17 秒を、実際の丸太の切断時間として使用する。また、切断する丸太の大きさは直径 20~25cm とする。

実験の結果、VIVE のみが 1.51 秒と最も短い結果となった。次に提案手法が 7.03 秒、実際の切断時間が 12.17 秒であった。このことから、提案デバイスは VIVE のコントローラーに十分な抵抗を付与するが、実際のチェーンソー程度の抵抗は提示していないことが分かった。

4.3. ゾンビゲームによる実験

提案手法がゲームプレイに与える影響を評価するために、ゾンビゲーム体験時のスコアと、ユーザーの感想を計測した。

被験者には丸太切りの実験と同様の操作をしてもらう。ゾンビゲームでの体験後、それぞれのデバイスを使用した結果に関して、7 段階評価によるアンケートを用いて評価してもらう。アンケートは操作性、没入感、魅力度、爽快感、振動提示、抵抗提示の項目について調査する。また、何体ゾンビを倒したかをスコア結果として比較する。

ゾンビゲームでのアンケート結果では、すべての項目において、提案手法の方が平均値が高い結果となった。中でも大きかった項目は、「魅力度」の 6.17、「爽快感」の 5.33 であった。この結果をレーダーチャートにし、図 5 に記した。アンケート結果についてそれぞれの項目ごとに有意水準 5% で t 検定を行った結果、「振動提示」と「抵抗提示」の 2 項目で有意差があった。このことから、提案デバイスは VIVE のコントローラーに十分な振動と抵抗を付与できることが分かった。

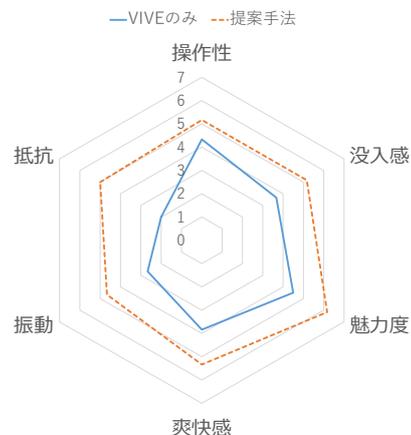


図 5. ゾンビゲームのアンケートの平均値。

スコアの平均を比較したところ、VIVE のみでは 4.6 体、提案手法では 8.6 体となり、提案手法の方が高い結果となった。提案手法では被験者全員が VIVE のみでのスコア以上の値を記録した。これは提案デバイスを使用した際、リールがある程度デバイスのガイドの役割を果たすことで、スコアが向上したと考えられる。

5. まとめ

本研究では、クランク機構とワイヤの張力を利用し、VR 空間でのチェーンソーの自由な操作を可能にするチェーンソー型デバイスを提案した。デバイスの機能を振動と抵抗に分類し、切断時の抵抗を、切断平面に対して垂直な方向と平行な方向の 2 種類に分けた。実験では、提案デバイスと VIVE のコントローラーにおいて、VR 空間上でチェーンソーを操作する際の比較実験を行った。実験結果より、提案デバイスは VR デバイスの操作性に振動と切断時の手応えの提示を付与できることを示せた。今後は操作性の向上のために、デバイスの軽量化や強度の向上を目指す。

参考文献

- [1] 梶本 裕之: 触覚・力覚ディスプレイ, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.19, No.4, pp.326-332, 2007.
- [2] 雨宮 智浩: 知覚の非線形性を利用した牽引力感の提示, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.5, pp.483-485, 2012.
- [3] 雨宮 智浩: 触覚・身体感覚の錯覚を活用した感覚運動情報の提示技術, 基礎心理学研究 Vol.36, No.1, pp.135-141, 2017.
- [4] 田島 寛之, 赤羽 克仁, 佐藤 誠: 6 自由度力覚提示装置 SPIDAR-I の提示力等方性について, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.483, pp.137-142, 2013.