

VR アクションゲームにおける超人的剣撃体験システムの開発

平野祐也^{†1} 橋本直^{†1}

概要: 剣撃体験に主眼を置いた VR アクションゲームが数多く登場し、剣を振って敵を倒す体験はエンタテインメントコンテンツとして多くの人を楽しめるようになった。これらのゲームではユーザの身体動作が直接ゲームに反映されるため、ユーザの持つ身体能力や技術を超えた高速のアクションの表現は難しいものとなっている。そこで我々はユーザの高速の動作に同期した剣の透明化と時間スケール変換を行うことで、ユーザに身体能力の限界以上の速度で行動していると知覚させる手法を提案する。この手法によって、ユーザはフィクション作品に登場するような超人的な速度の剣撃体験を楽しむことが出来る。

1. はじめに

VR アクションゲームにおいて、剣は登場頻度の高い武器である。現在 Valkyrie Blade VR[a]や Sword Master VR [b], SWORDS of GARGANTUA[c]のような剣撃体験に主眼を置いた VR アクションゲームが多数登場しており、剣を振って敵を倒す体験は、エンタテインメントコンテンツとして楽しめるものとなった。これらのゲームではユーザの身体動作が直接ゲームに反映されるため、ユーザは「まるで自身が剣士になったかのような感覚」を得ることができる。一方この操作方法では、キャラクタの動きはユーザの持つ身体能力や技術に依存するため、フィクション作品に登場するような、超人的なアクションを行う演出を行った場合に身体感覚と演出との間に齟齬が発生する恐れがある。特に超人的速度の演出において、ユーザの動作速度が変化しないのであれば、演出から推測されるキャラクタの動作速度との乖離により、違和感を覚えると予想される。そこで本研究では、ユーザに身体能力の限界以上の速度で行動していると知覚させることを目的に、ユーザの高速な動作に同期した剣の透明化と時間スケール変換を行う手法を提案する。本稿では提案手法の概要と実装方法について説明する。

2. 関連研究

2.1 VR における剣の触覚表現

VR 空間における剣の表現手法として、剣を持って振り回した際に感じる触覚情報に着目したアプローチが提案されている。古賀らのバーチャルチャンバラ[1]では、回転する錘が急停止する際の慣性力により、刀がバーチャルな敵と衝突したときの反力を提示している。茂山らの Transcalibur[2]では、ハンドヘルドコントローラの重量と角度を動的に変化させることで、剣や弓などの形状の触覚を再現している。また藤輪らは、質量特性を触覚的に知覚さ

れる形状に関連付ける形状知覚モデルを構築し、触覚形状知覚を維持しながら実際の形状が目標形状より小さいハンドヘルド VR コントローラの自動設計を可能にした[3]。これらの研究はいずれも触覚刺激を工夫することによって、コントローラを現実の剣のように知覚させている。

本研究では、フィクション作品に登場するような超人的な剣撃体験の提供を目的とし、視覚的なアプローチによって素早く剣を振ったように感じさせることを目指した。

2.2 視覚情報による身体運動知覚の錯覚

人間の身体運動知覚は視覚情報の影響を受けることが知られている。笠原らの Malleable Embodiment[4]では、HMD 越しに自身の身体を時空間的に変化させた映像を観測することで、自身の身体の軽さなどの物理的な感覚の変化を感じることを示した。また人間の周辺視野が動きに対する感度が高いことに着目し、それを速度感提示に利用する研究も行われている[5]。山下らの制作した Ocluduss[6]は、トンネル状に配置した LED アレイが周辺視野に提示するオプティカルフローによって体感速度を増強させるデバイスである。この研究では、提示するオプティカルフローの速度が速くなることで体感速度も速くなることが示された。本研究では、剣を高速で振っている最中に剣を透明にすることで、高速に剣を振っている感覚を提示する。

2.3 時間スケール変換の作業支援やコンテンツへの応用

時間スケール変換を利用して人間が知覚する速度を変化させ、状況判断や行動を容易にする手法が提案されている。篠原らは時間スケール変換を利用したトレイグジスタンスシステムを提案している[7]。この手法では、ロボットを作業対象の動きに追従させることで、ユーザに作業対象の速度を遅く知覚させている。スロー再生した映像における手話知覚について調査した阿部らの研究[8]では、再生速度を 50%にすることで手話の学習効率が向上することが示された。この他にも、時間スケール変換によって人間が感じる印象に影響を与える例もある。井手口らの研究では、映像

^{†1} 明治大学

a) https://www.oculus.com/experiences/rift/1272603409520828/?locale=ja_JP
b) https://store.steampowered.com/app/523710/Sword_Master_VR/
c) <https://www.gargantuavr.com/home>

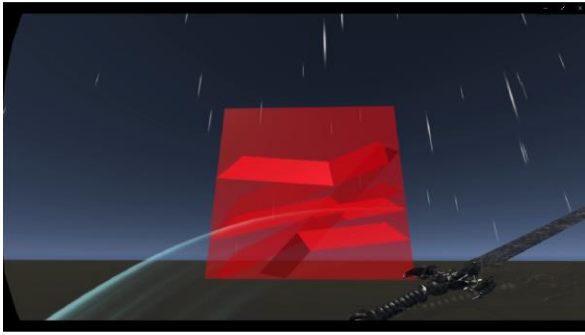


図1 動作中の様子

内の「迫力のある」という評価をされたフレームの提示時間を伸長させるスローモーション表現により、印象の強化を確認した[9]。橋本らの開発したスローモーション触覚再生装置[10]では、人間が普段知覚できない周波数領域の現象を可触化することで臨場感や異様さ、美しさを感じさせる効果があることを示した。本研究では時間スケール変換による知覚速度の変化が、剣を振る速度の知覚に与える影響を明らかにする。

2.4 VR アクションゲームにおける時間スケール変換

VR アクションゲームにおいては、戦闘を有利に進めるためのギミックや、キャラクターの個性を表現するための演出として時間スケール変換が用いられることがある。例えば、Blade and Sorcery[d]では、敵の動きを遅くする魔法が登場する。また、Sairento VR[e]では、忍者のような激しいアクションと操作のしやすさを両立するため、任意にスローモーションに切り替える機能がある。SUPERHOT VR[f]では、ユーザの動きに合わせて時間が進むという独特のアクションルールが採用されている。ユーザが静止している間は非常にゆっくりと時間が流れるため、飛び交う銃弾を避けたり、相手から武器を奪ったりすることが可能となる。このようなスローモーション演出を行う際の要素として発動条件がある。多くの場合はコントローラのボタン押下で発動するが、前述した SUPERHOT VR のように自分の動作速度により発動するものや、Space Pirate[g]のように敵のレーザが近づくと自動で発動するものがある。本研究では「自分がより速く動いている」と印象付けるため、剣を高速で振っている最中に時間スケール変換を適用する。

3. 提案手法

提案手法では、ユーザに身体能力の限界以上の速度で行動していると知覚させるために、ユーザの剣の振りに同期した剣の透明化と時間スケール変換を行う。また、剣の振りに合わせて音と振動の提示も行う。図1に実行中の画面の様子を示す。実装に用いたハードウェアはOculus Rift S、ソフトウェアはUnity 2018.2.21f1、Oculus Integration 1.42 で

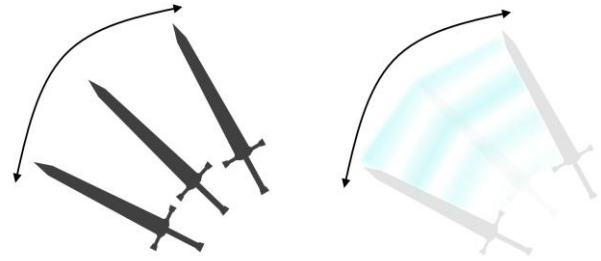


図2 剣の描画方法

(左：通常の描画処理，右：提案手法)

ある。以下に提案手法の詳細について述べる。

3.1 剣の振りの検出

剣の振りの検出には、コントローラから得られる角速度を用いる。現在の実装では、振り降ろしの回転軸の角速度が7[rad/s]以上になった状態を「剣を振っている状態」としている。また「剣を高速に振っている状態」の角速度の値に関しては個人差があるため、ユーザごとに角速度の平均値を算出する。この値は後述する剣の透明化と時間スケール変換を行うため閾値として用いた。

3.2 剣の振りに同期した剣の透明化

VR 空間における剣のCGの描画方法について図2を用いて説明する。通常の描画処理では、コントローラの三次元位置・姿勢情報に基づいて、フレーム毎の剣の位置にCGを描画するが、この方法では剣を高速に振った際に離散的な残像が生じてしまい、不自然な見え方となる。そこで提案手法では、剣を高速に振っている最中に剣を透明化し、軌跡の表示を行う。剣オブジェクトの不透明度を α (0.0を完全に透明、1.0を不透明と定義)、剣の振り始めからの経過時間を $t[s]$ とおくと、計算式は以下のようになる。

$$\alpha = \begin{cases} 0.1 : 100 t^2 \leq 0.1 \\ 100 t^2 : 0.1 < 100 t^2 < 1 \\ 1 : 1 \leq 100 t^2 \end{cases} \quad (1)$$

予備実験において、不透明度が0の場合は剣を振っているように感じず、0.2以上では剣の残像が消えにくいことがわかった。そのため、本研究では透明度の下限を0.1に設定した。

軌跡の表示は、フレーム毎に記録した剣先と剣元の三次元位置を頂点とするメッシュに、テクスチャを貼り付けることで実装した。使用したテクスチャを図3に示す。テクスチャの黒い部分は透過部であり、徐々に薄れて消えていくような剣の軌跡を表現した。剣の移動軌跡とテクスチャの割り当て例を図4に示す。実装では10フレーム前までの位置情報を記録し、10個の四角形によって剣の軌跡の表示を行った。Unityでのメッシュ作成は三角形で構成する必要がある。そのため f フレーム目の剣先の位置を S_f 、剣元の位置を E_f とすると、剣の軌跡を表現する四角形のメッ

d) https://store.steampowered.com/app/629730/Blade_and_Sorcery/

e) <https://www.sairentovr.jp/>

f) <https://www.jp.playstation.com/games/superhot-ps4/>

g) https://store.steampowered.com/app/418650/Space_Pirate_Trainer/?l=japanese



図3 軌跡に使用したテクスチャ

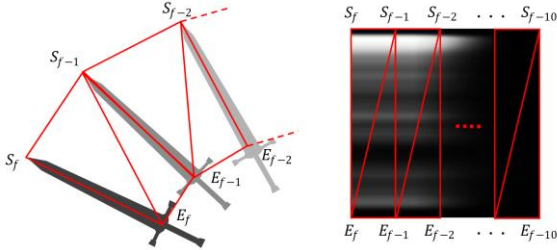


図4 テクスチャの割り当て

シユは $E_{f-1} \cdot S_{f-1} \cdot E_f$ の3つの頂点からなる三角形と、 $E_f \cdot S_{f-1} \cdot S_f$ の3つの頂点からなる三角形の2つから構成されることとなる。メッシュのテクスチャは、テクスチャの横幅をメッシュの個数で分割し、左から順に割り当てている。

3.3 剣の振りに同期した時間スケール変換

時間スケール変換係数（VR空間内での経過時間と現実世界での経過時間の比）を k と定義する。 $0.0 \leq k \leq 1.0$ では、世界が静止または遅く動くことになる。このとき、ユーザの主観的な捉え方として「世界が遅くなった」と「自分が速くなった」という二つの解釈が成り立ち、両者は相対的な関係にある。提案手法では、自分がより速く動いていることを印象づけるために、ユーザの高速なアクション（剣の振り）に同期した時間スケール変換を行う。倍率の最小値を k_{min} 、剣の振り始めからの経過時間を $t[s]$ とおくと、時間スケール変換係数 k は、次式で計算される。

$$k = \begin{cases} k_{min} : 5t^2 \leq k_{min} \\ 5t^2 : k_{min} < 5t^2 < 1 \\ 1 : 1 \leq 5t^2 \end{cases} \quad (2)$$

なお実装では、時間スケール変換係数 k はUnityのTime.TimeScaleに対応する。

3.4 音と振動の提示

時間スケール変換に伴い、コンテンツ内で再生される音のピッチを変化させた。また剣で物体を斬った際にコントローラを振動させた。現在の実装では、環境音として雨が降る音、効果音として剣を振ったときの風切り音を使用した。BGMは使用していない。音のピッチを p 、時間スケール変換係数を k とすると、計算式は以下のようになる。

$$p = \begin{cases} 0.02 : k \leq 0.02 \\ k : 0.02 < k < 1 \\ 1 : 1 \leq k \end{cases} \quad (3)$$

4. まとめと今後の展望

本研究では、ユーザに身体能力の限界以上の速度で行動していると知覚させるために、ユーザの剣の振りに同期した剣の透明化と時間スケール変換を行う手法を提案し、実装した。今後は、提案手法の有効性を明らかにするために評価実験を予定している。実験では、時間スケール変換の発動条件として「ボタンを押下している間」と「対象との接近時」を加えた3条件を比較し、発動条件によって時間スケール変換に対する解釈の違いが生じるかを検証する。また、「自分が速くなった」と解釈するのに適した時間スケール変換の倍率についての調査を行う。

参考文献

- [1] Daijiro K and Takahiro I.. Virtual Chanbara. SIGGRAPH, 2002.
- [2] Jotaro Shigeyama, Takeru Hashimoto, Shigeo Yoshida, Taiju Aoki, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose.. Transcalibur: dynamic 2D haptic shape illusion of virtual object by weight moving VR controller. SIGGRAPH, 2018.
- [3] Eisuke Fujinawa, Shigeo Yoshida, Yuki Koyama, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose.. Computational design of hand-held VR controllers using haptic shape illusion. VRST, 2017.
- [4] Shunichi Kasahara, Keina Konno, Richi Owaki, Tsubasa Nishi, Akiko Takeshita, Takayuki Ito, Shoko Kasuga, and Junichi Ushiba.. Malleable Embodiment: Changing Sense of Embodiment by Spatial-Temporal Deformation of Virtual Human Body. CHI, 2017.
- [5] 中嶋慶輔, 福地健太郎. 周辺視野の動的知覚特性にもとづくスポーツ映像の速度感増強システム. 情報処理学会研究報告. Vol.152, No.8, 2013.
- [6] 山下真由, 深町太一, 可知怜也, Adam Myers, Jesse Marcian, 伊藤雄一. Ocoduss: オプティカルフロー制御による速度感提示デバイス. 情報処理学会 インタラクシオン, 2017. P. 745-748.
- [7] 篠原亮, 梶本裕之, 川上直樹, 舘暲. テレグジスタンスの研究 (第 49 報) 時間スケール変換による オグメンティドテレグジスタンスの研究. 日本バーチャルリアリティ学会 第 11 回大会論文集. 2006. P. 25-26.
- [8] 阿部悟之, 遠田望, 山本英雄, 鎌田一雄, Susan FISCHER. 手話映像の再生速度と知覚との関係に関する一考察(福祉工学および一般). 映像情報メディア学会技術報告. 2002.
- [9] 井手口健, 西山元規, 古賀広昭. 迫力感性増幅を意図した映像提示方法の検討. 映像メディア学会誌 Vol.54, No1, 2000.
- [10] 橋本悠希, 梶本裕之. スローモーション触覚再生装置. インタラクシオン 2009, 2009