

VR 環境における高速度な斬撃動作体験システムの開発

山本 虎ノ介^{†1} 福地 健太郎^{†1}

概要：VR アプリケーションにおいて、仮想空間内で刀剣を手にし、ハンドコントローラを振ることでその刀剣を振ることができるものがあるが、刀剣の軌道を素朴に表示すると体験者の身体動作そのままに見えてしまい、TV アニメーションのような低フレームレートメディアで見ると瞬間の効果と比べると刀剣の動きが遅く見えてしまい、爽快感が減殺されてしまうという問題がある。そこで本研究では斬撃動作の開始を検知し、瞬時に刀剣を振りぬくアニメーションをモーションブラー効果によって提示した上で、刀剣の位置を瞬時に斬撃動作の終端位置に移動させることで、体験者の動作速度の如何に関わらず爽快感のある斬撃動作を体験できる手法を開発した。現在の実装では斬撃動作入力の前に、動作の終端位置をコントローラを用いてあらかじめ設定する必要があるが、これは将来的には斬撃動作の開始時に終端位置を予測することで事前設定を不要とする計画である。著者が試した範囲では、コントローラの入力そのままに刀剣を表示するのに比べて、提案手法では高速な斬撃動作を自身が達成できたかのような錯覚を覚え、爽快感を得ることができた。現在はこの実装を用いての評価実験を準備している。

1. はじめに

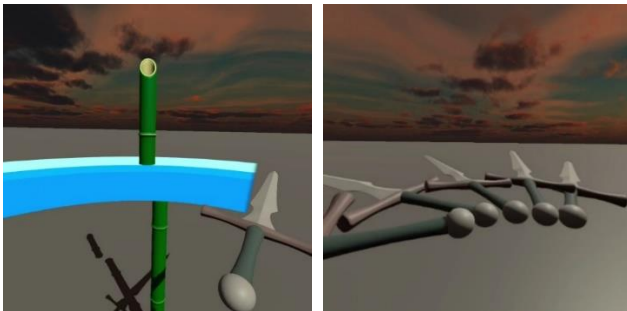


図 1 左図—剣の瞬時移動とブラー表示, 右図—剣を瞬時移動させない場合の表示 (模式図)

VR アプリケーションにおいて、仮想空間内で仮想の刀剣類をプレイヤー自身が手にし、ハンドコントローラを実際の斬撃動作を真似て振ることで、仮想空間内で刀剣を振ることができるものがある。このとき、自身の斬撃動作は刀剣の動きとして視野内で可視化される。

ここで、仮想空間内では例えば剣の達人というキャラクターを与えられていたとしても、自身が入力する斬撃動作は自身の身体動作の限界という制約を受けるため、その動作が遅かったり、狙った軌道から外れたものとなってしまう。それはおよそ達人の動作としてふさわしくないと感じられ、ロールプレイの感覚を削がれることが危惧される。

おそらく多くのプレイヤーにとって、剣の達人による斬撃動作がどのように見えるかのイメージは映画やアニメーション、非 VR 型のビデオゲームを通じて形成されたものであろう。そうした作品においては、斬撃動作は少ないコマ数で、かつモーションブラーを伴って表現されること

が多い。例えばアニメーション作品の場合、TV アニメで一般的な秒間 8 コマの動画枚数であれば、斬撃動作はせいぜい 1~2 コマで表現されることとなり、必然的に剣の軌道はモーションブラーを伴って表現される。映画やビデオゲームのように 24~60fps の描画であったとしても、その動きの素早さを強調するために同様の表現が用いられることが多い。

それに対し VR アプリケーションの場合、一般に表示フレームレートは 90fps 程度が望ましいとされ、仮に TV アニメで見られるように 1/8 秒で斬撃動作を完了したとしても、その動作は約 11 フレームをかけて提示される事となり、アニメで見られるような「紫電一閃」とでも形容すべき、一瞬の動作としての表現にはなりにくい。体験者のコントローラを振る速度がさらに遅ければ、視野内の剣の動きはますます鈍重なものに見えかねず、体験者によっては爽快感が大きく減殺されることになる。

本研究ではこのような、VR 環境においてプレイヤーの身体動作をそのまま可視化した結果が、ユーザが持つ従来型の低フレームレートメディアを通じて形成された高速動作のイメージに馴染まないという問題に着目し、後者のイメージを模した可視化を行うことでこれを解消することを目的としている。具体的な手法としては、VR 環境において体験者のコントローラ操作から斬撃動作の開始を検知し、あらかじめ設定された動作の終端位置まで刀剣を瞬時に移動させた上で、モーションブラーによる軌道の表示を行うことで、あたかも剣を一瞬で振り切っているような爽快感を提示する。このとき、ハンドコントローラと刀剣位置との間に生じる乖離は、斬撃動作終了後に体験者が気づきにくいように少しずつ乖離を縮めていく、という手法を採っている。

^{†1} 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

2. 関連研究

平野らは VR 環境における体験者の斬撃動作に対し視覚的なアプローチにより、剣の振りやすさや爽快感を提示するシステムを提案している[1]。まず斬撃動作の間に剣を半透明化させることで、その間に生じる離散的な残像を無くしモーションブラーに近い表現を行っている。また我々が着目している、体験者の入力の違いに起因する遅い斬撃動作を速いものに見せかける手法として、剣の速度に応じて時間スケール変換によりアプリケーション内時間を遅くすることで、相対的に動作を速く知覚させることを狙っている。

土屋らは3DCGアニメーションを手描きアニメ風の誇張表現に近づける手法を研究しており、その中で刀剣状の武器（いわゆる「ビームサーベル」）の斬撃動作中の表現として、刀剣がしなっているかのように、その動きの速度に応じて形状を曲げて表現する手法を提案している[2]。これはあくまでも静止フレームにおける刀剣のレンダリングへ適用する技術であるが、手描きアニメの表現になじむ表現を示唆する。

本研究で提案する手法は体験者の身体能力を超えた運動ができていくかのように見せかけることができる。こうした手法をビデオゲームにおける操作に適用したものととして、築瀬らはジャンプゲームにおいてプレイヤーのジャンプ操作に補正をかけてジャンプの成功率を向上させることでプレイヤーに上達感を与えプレイの継続意欲を高める仕組みを提案している[3]。これを築瀬らは「誰でも『神プレイ』できる」と呼んでいるが、この考え方を本研究に応用すると、「剣の達人」になった気分を味わわせることで斬撃動作の上達感の提示に繋がることが考えられる。

3. 提案システム

3.1 概要

本システムではヘッドマウントディスプレイ(HMD)およびハンドコントローラに Qculus Quest2 を用いた。アプリケーションはゲームエンジンである Unity を、また VR 環境の構築やハンドコントローラからの制御のために Oculus Integration アセットを利用して作成した。アプリケーションは PC と接続せずにスタンドアロンで動作するよう構築しており、図2のようにケーブルレスで運用できる。ハンドコントローラは改造を加えておらず、剣の重量や慣性モーメントは再現されていない（ハンドコントローラに改造を加えてモーメントを疑似的に再現する手法については[4]を参照されたい）。

仮想空間は空と地面を表すテクスチャが貼られたものの空間である。空間内にはプレイヤー自身を表すアバターは設置せず、剣を握る手や地面と接する足など自身の身体の確認できるようなものについても設置していない。また、プレイヤーの正面には斬撃によって切断できる竹を



図 2 本システムを使用している様子

設置した。

3.2 剣の操作と斬撃動作入力

通常時、剣はハンドコントローラの動きに追従し、あたかも実際に剣を握っているかのように動く。

斬撃動作はハンドコントローラを勢い良く振ることで行う。具体的には後述するようにハンドコントローラの速度が設定された閾値を超えると斬撃動作の開始とみなす。

斬撃動作が始まると図1左図のように、剣はハンドコントローラの実際の位置とは無関係に、斬撃動作の終端位置まで瞬時に移動し、斬撃動作の開始位置から終端位置までの軌道を、モーションブラーを模した円盤状のエフェクトとして描画する。この時、空間内に配置した竹と剣の軌道とが交差する場合は、竹が切れた演出を加え、効果音を出力する。

図1右図には、同じ斬撃動作時に上述のような演出を加えずにハンドコントローラの入力通りに剣を表示した際の剣の表示を重ねたものを示している。すなわち、体験者はこの軌道に沿って剣が移動するのを視認することとなる。

3.3 斬撃動作の制約

上述した演出を実装する上で、現時点ではいくつかの制約を設けている。

まず、現在の実装は右利きの体験者のみを想定しており、剣を動かす事ができるのは右手のコントローラに限られ、斬撃動作は左から右へと斬る動作のみに限定される。

斬撃動作の終端位置は、本来であれば斬撃動作の開始時の動きから予測すべきであるが、簡単のため現在の実装では実験時に体験者が自分で斬撃動作に先んじて終端位置を定めるようにしている。具体的には、ハンドコントローラを持った状態でこれから入力する斬撃動作をまず行ってもらい、その時の終端位置でハンドコントローラのボタンを押下するとその位置を記憶する。斬撃動作が入力されると剣はこの位置まで瞬時に移動することとなる。

また剣の軌道は水平面と平行になるように制約される。具体的には、斬撃動作が入力された際に表示されるエフェクトは常に動作の終端位置を含む水平面と平行な軌道を描

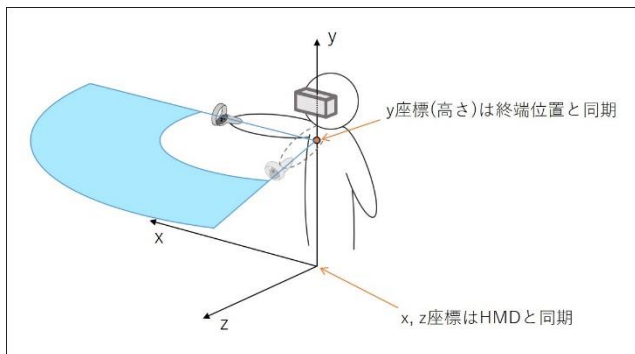


図 3 エフェクトの表示位置

く、実際の入力では斬撃動作の開始位置と終端位置とを結ぶ軌道面は水平面と平行になるとは限らず、開始位置については実際の入力と異なる位置となる。詳しくは 3.4 節で説明する。

3.4 斬撃動作の軌道表示

斬撃動作開始時に表示する剣の軌道について説明する。3.2 節および 3.3 節で述べたように、斬撃動作の開始を検知すると、設定された終端位置までの剣の軌道を表すモーションブレンダーを模した円盤状のエフェクトを画面に表示する(図 1 左図)。このとき、実写的なモーションブレンダーを目指すのであればこれは半透明化して不明瞭にすべきであるが、本実装では軌道を明瞭に視認できるように、また古典的アニメでのモーションブレンダー表現を模擬するために、不透明な表現を採用している。

エフェクトの表示位置については、図 3 を用いて説明する。円盤の中心座標は体験者の身体の鉛直軸上に位置する。具体的には、 x, z 座標は HMD と等しく、 y 座標、すなわち高さについては設定された終端位置のそれと等しく設定される。この座標は斬撃動作開始時に固定され、以後斬撃動作が完了するまでそれを維持する。

エフェクトの法線は 3.3 節に述べたように鉛直方向に設定される。したがって斬撃動作の開始位置とエフェクトとは必ずしも重ならないことになるが、著者らが試した限りでは、水平斬りを入力している限りにおいてはこの差異はほとんど気にならなかった。おそらくは、斬撃動作中は終端位置に意識があり、開始時位置は曖昧にしか知覚されていないのではないかと考えている。袈裟斬りのような明確に斜めの軌道を描く斬撃動作を入力した際には差異が知覚され、違和感があった。

エフェクトは斬撃動作中は常に同じ位置姿勢・形で表示され、3.5 節で後述する形で斬撃動作が完了したら、エフェクトは非表示となる。

3.5 斬撃動作終了後の処理

3.2 節で述べたように、本手法では斬撃動作の開始時に、仮想空間内で剣を設定された終端位置まで、実際のハンドコントローラの位置とは無関係に瞬時に移動させる。その

ため、実際の斬撃動作の入力が完了した時点で、ハンドコントローラの位置と剣の表示位置との間には不整合が生じる。この不整合は、体験者自身があらかじめ設定した終端位置通りにハンドコントローラを動かさないということからのみ生じるものではなく、終端位置を斬撃動作開始時の動きから予測するようになったとしても、予測精度の限界から必ず生じるものであり、対処が求められるものである。

本手法ではこの不整合を徐々に補正する処理を設けている。具体的には、ハンドコントローラがほぼ停止した時点で斬撃動作の終了と判定し、その時点での剣の位置姿勢とハンドコントローラのそれとの差分を記憶する。その後、ハンドコントローラが動くたびに、その差分を少しずつ減らすように剣の位置姿勢を動かす。現在の調整ではおおむね 3 秒から 5 秒間ほどの時間をかけて本来の位置姿勢と同期するようにしている。こうすることで、体験者に両者の不整合をほとんど知覚させないことを狙っている。

4. 提案手法の主観的評価

著者らが実際に本システムを体験しての主観的な感想を述べる。

斬撃動作時の剣の瞬時移動は、図 1 右図に示すような通常表示と比べて大きな爽快感を得られることが分かった。通常表示では剣の動きが遅く見えることに加え、その軌道が一直線にならない場合もあり、気持ちの良い斬撃動作をすることは難しかった。提案手法では、素早い剣の動きと終端位置まで一直線に伸びるエフェクトが、自分が剣を上手く振れているかのような感覚を与えていた。

斬撃動作完了時の、実際のコントローラの位置姿勢と終端位置へ移動した剣の位置姿勢との不整合およびその後の補正処理については、小さな不整合については十分な効果が得られているように感じられる。特に、終端位置が視野の外に来るように設定してから大きな斬撃動作をした場合にはその不整合は視覚的には知覚されず、その補正処理も目立たない形で行えている。一方で大きな不整合が生じている場合には、瞬時移動後の剣の位置やその後の補正処理で違和感を覚えた。

今回は試験的に、空間内に竹を置き、斬撃動作開始直後に剣の軌道が竹と交差した場合に竹が切れる処理を加えている。これはつまり、実際には動作中であるにも関わらず竹が切れてしまうことを意味し、それが違和感を与える可能性が考えられたが、著者らにはその不整合は感じられなかった。

5. 議論

著者らが試した範囲においては、斬撃動作終端位置への剣の瞬時移動については特段の違和感を覚えず、爽快感のある斬撃を味わうことができたが、ハンドコントローラの操作速度が十分に早くない体験者の場合には、瞬時の移動

は大きな違和感を与えかねない。これについては十分な検証が必要であり、剣の瞬時移動を行う場合の操作速度の下限を定める必要があるだろう。あるいは、1フレームで瞬時移動するのではなく、数フレームかけて移動させるなど別の手段でこれを解消できるかもしれない。ただし後者の場合は、爽快感を減じる可能性がある。

現時点での実装では、端末位置は斬撃動作の前にあらかじめ設定しておく必要があり、これは現実的ではない。実際のアプリケーションに適用するにあたっては、斬撃動作の開始時にハンドコントローラの微小な動きから端末位置を予測する必要がある。しかしながら本手法が対象とするような、斬撃動作に不慣れた体験者による入力を前提とした場合、開始時の動きから端末位置を精度よく予測するのは困難が予想される。端末位置の予測尤度がある程度を超えるまでは端末位置の決定を遅らせ、予測精度を上げるといった工夫が必要になるだろう。

また、体験者自身が予測した軌道と実際に入力された軌道との乖離も少なくないと考えられ、可能ならば体験者の予測に沿うように表示した方が、体験者の主観的には違和感が少ないであろうが、これもおそらくは難しいだろう。斬撃動作をボタン入力で行う一般的なビデオゲームであれば、定められた軌道でしか動作を行えない代わりにこうした問題は生じないため、非VR型のビデオゲームと比べてVRでの斬撃動作はアニメや映画で見ると爽快感を感じられない、という判断がなされる可能性がある。これを解決するためには、ある程度は体験者にも練習を積ませ、斬撃動作に慣れてもらう必要があるかもしれない。本手法の評価においては、被験者の習熟度に応じた分析が必要であろう。

今回の実装は単発の斬撃動作を前提としており、斬撃動作完了後に直ちに他の動作へと移ることは考慮に入っていない。実際に本手法をゲームに応用した場合に、続けて斬撃動作を行ったり、空間内の他のオブジェクトに触れるなど他の動作を続けて入力したりする場合などでは、補正処理が間に合わずに不整合なまま入力を続けねばならない可能性がある。補正処理にどれほどの時間をかけてよいかは未検証であるが、実際の応用を考えるなら短い越したことはないだろう。しかし著者らが試した範囲ではこれを早急に行くと強い違和感を覚えた一方で、動作完了時に剣が視野外にある場合には即座に補正してしまっても気づかない。同様に何らかの形で補正処理中に剣から注意を背けさせる工夫をすることでこれを解消できるかもしれない。

6. 結論

本研究では、VR環境において剣を振る斬撃動作に対して、端末位置への剣の瞬時移動を行うことで実際の動作よりも高速な斬撃動作の体験を可能とする手法を提案した。著者らが試した範囲では、高速かつ爽快な斬撃動作をして

いるような感覚を得ることができた。しかし現在の実装では動作の端末位置を事前に設定する必要があるという強い制約がある。また端末位置と実際のハンドコントローラ入力との間の不整合の補正処理に課題があることが分かった。

今後の課題としては、剣の瞬時移動処理が体験者に違和感を与える条件がどのようなものか、また補正処理が違和感を与えない条件を調査する必要がある。また端末位置についてはこれを動作開始時の入力から予測するための基礎的データを収集し、予測手法を確立したいと考えている。

参考文献

- [1] 平野祐也, 橋本直. VRにおける剣撃の視覚効果の違いがユーザーの速度知覚に与える影響. 情報処理学会研究報告, Vol.55, No.14 (2020).
- [2] 土屋賢, 小池崇文, 中本啓子. 3D物理シミュレーションとデフォルメーションによる手描きアニメ風誇張表現. 第81回全国大会講演論文集, Vol.2019, No.1, pp.171-172 (2019).
- [3] 築瀬 洋平, 鳴海 拓志. 誰でも神プレイできるジャンプアクションゲーム. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.3, pp.415-422, DOI: 10.18974/tvrsj.21.3_415 (2016).
- [4] Fujinawa, E. Yoshida, S. Koyama, Y. Narumi, T. Tanikawa, T. Hirose, M.. Computational design of hand-held VR controllers using haptic shape illusion. VRST '17: Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. No.28, pp.1-10, DOI: 10.1145/3139131.3139160 (2017).