

## HMD を用いた家庭用ゲームにおける VR 酔いを抑えた移動手法の予備検討

植田 裕貴<sup>†</sup> 星野 准一<sup>†</sup>

**概要:** 今日, Oculus Rift をはじめとする家庭用 HMD が市場に広く流通する一方で, 視覚情報と身体感覚の差異によって生じる VR 酔いが問題となっている. 位置推定技術を用いて実際に身体を動かすことで VR 酔いを軽減できることが分かっているが, 従来研究の多くは広い体験スペースや大掛かりな機材が必要になってしまい, 一部の狭いスペースで実現できる手法では, 歩行可能領域の端に着いた際の方向修正の仕組みがコンテンツに制約を与えてしまうという問題があった. そこで本研究では位置推定が可能な家庭用 HMD である HTC vive を用い, 実際に歩くことで VR 空間内を移動することができ, コンテンツに制約を与えない方法で移動方向の修正を行える VR 空間内移動手法を提案する.

### Preliminary examination of movement method to suppress VR sickness in home video game using HMD

YUKI UEDA<sup>†</sup> JUNICHI HOSHINO<sup>†</sup>

#### 1. はじめに

今日, Oculus Rift をはじめとする家庭用 HMD が広く市場に流通することが予測されており, 家庭用ゲーム機などによる VR 体験は身近なものになってきている. しかしながら, VR のような没入感を伴う映像体験は, 疲労感, 頭痛, 眼精疲労, めまい, 吐き気などの症状, いわゆる VR 酔いを引き起こすことが知られている. VR 酔いによる不快感はユーザーにとって長時間の VR 体験を苦痛の伴うものとしてしまうため, コンテンツを提供する開発者たちにとっても避けることができない障壁となっている. VR 酔いがなぜ起こるのかについては未だに議論がなされているが, 特に現実と VR 空間の間で生じる身体感覚の差異が大きな原因であると考えられている[1]. 身体を実際に動かすことで VR 空間内を移動する手法がこれまで多く提案されてきたが, 広い体験スペースや大掛かりな機材が必要になるため, 家庭での VR 体験には適応できないものが多かった. 位置推定を用いた VR 空間内での移動において, Redirected Walking[2]や Reorientation Technique[3]などの手法を利用することで, 広い体験スペースや大掛かりな機材を用意しなくとも歩行によって VR 空間内を移動することができるが, 歩行可能領域の端に着いた際の方向修正をさせるための仕組みがコンテンツに制約を与えるという問題があった. 本研究では広い体験スペースがなくとも, コンテンツに制約を与えず方向修正を行うことができる VR 空間内移動手法を提案する.

#### 2. 関連研究

##### 2.1 VR 酔い

軍用シミュレーターを使用した際に起こる VR 酔いについて, 多数の被験者から得られたデータを基に傾向や対策についての研究がなされてきた. Kennedy ら[4]は, 質問紙による主観評価手法である Simulator Sickness Questionnaire (SSQ)を開発した. SSQ は 16 の身体異常に関する項目を 4 段階で被験者に評価させるもので, 現在も多くの VR 酔いに関する研究で評価に用いられている. また, LaVopla Jr.[1]は VR 酔いが引き起こされるメカニズムを医学的な見地から考察し, Sensory conflict theory, Poison theory, Postural instability theory の 3 つの仮説について論じた. Prothero ら[5]は Independent Visual Background という, VR 空間にユーザーが見渡すことができる独立した視覚的背景を置くことで, 移動時にユーザー自身が動いているのではなく, 前景の環境がユーザーの周りを移動しているように知覚させることで VR 酔いを軽減できることを示した.

##### 2.2 位置推定技術を用いた VR 空間内移動手法

Llorach ら[6]は HMD を使った VR 空間内での移動について, ゲームコントローラーを使った場合と, 位置推定を使って実際に歩くことで移動する場合の VR 酔いの度合いを SSQ によって比較し, 位置推定を使って実際に歩くことで酔いが軽減されることを示した. Razzaque ら[2]は限られた体験スペースでユーザーに歩き続けている感覚を与えられる手法である Redirected Walking (RDW)を提案した. RDW は人間の知覚特性を利用し, 180°の方向修正を歩行

<sup>†</sup> 筑波大学  
Tsukuba University

中と VR 空間内に設置されたチェックポイントでの方向転換中に振り分けて行う。しかし、空間内にチェックポイントを設置し、そこを通るようユーザーの歩行経路を制約する必要があるため、作れるコンテンツに制約があった。Suma ら[7]は RDW を応用し、リアルタイムでの経路生成によりユーザーが任意の経路で歩行できるようにしたが、方向修正に際しパノラマ写真を撮影するというタスクを与える必要があった。Peck ら[3]は狭いスペースでの VR 空間内移動手法として、細長い一本道の両端で VR 体験を損なうことなく方向修正を行う Reorientation Technique を提案したが、こちらも事前に設定した直線の経路にしか適用できないという問題があった。

### 3. 基本手法

今回、家庭用 VR ゲームにおける VR 酔いを抑えた移動手法の要件として以下の 4 点を定め、用いる基本手法を検討した。

1. ユーザーが実際に歩いて移動できること。
2. 身体感覚の差異を作らないこと。
3. 広い体験スペースを必要としないこと。
4. コンテンツの作りに制約を与えないこと。

要件 1 について、今回はルームスケールでの位置推定が可能な家庭用 HMD である HTC vive を選定し、ユーザーが実際に歩くことで VR 空間内を移動できるようにする。

要件 2 について、回転時に前景とユーザーの位置関係を固定し、独立した視覚的背景[5]を表示することで、前景がユーザーの身体に追従して回転しているような感覚を与える。これにより、回転角度において身体感覚に差異を生じず、かつ方向修正後に継続して移動を行うことができる。

要件 3 について、システムは HTC vive の最小推奨プレイ範囲である 2.0m\*1.5m の中でユーザーが移動を行えるよう開発する。

要件 4 について、ユーザーは任意の経路を通ることができるほか、移動と方向修正以外に意味を与えるようなタスクを設定しないこととする。

### 4. システムの実装

ゲームエンジン Unity 上で、HTC vive 用の開発プラグイン Steam VR plugin を用いてシステムの開発を行った。今回は HTC vive 本体に加え HTC vive に付属する 2 つのベースステーションとコントローラーにより、歩行可能領域のセットアップ、ユーザーの位置推定、コントローラー操作受け付けを行う。

実装にあたり、システムの状態を次に示す移動フェイズと回転フェイズの 2 つに定めた。コントローラーの操作により任意のタイミングで移動フェイズから回転フェイズへと遷移できるよう実装する。

#### 【移動フェイズ】

移動フェイズでは歩行可能領域内をユーザーが自由に歩行できる。歩行可能領域の端に到達するとユーザーはその先に進むことができないため、回転フェイズに遷移し、現実で方向転換を行う必要がある。

#### 【回転フェイズ】

前景とユーザーの位置関係が固定された状態でユーザーが回転する。この際ユーザーに回転角度の差異がない視覚情報を提示するため、独立した視覚的背景[5]を表示することで、回転時に前景がユーザーの身体に追従して回転しているような感覚を与える。

また、回転フェイズでどの方向にどれだけ回転すればいいかを推薦するため、次の機能を実装した。

#### 【ユーザーから最も遠いコーナーの導出】

ユーザーが現在の位置から現実で最も長い距離を歩ける方向を推薦するため、ルームスケールの各コーナーとユーザーの現在位置との距離を計測し、比較することで最も離れているコーナーを導出する。

#### 【推薦回転方向の導出】

ユーザーの視線の中心から左右に同じ距離だけ離れたオブジェクトを 2 つ配置し、推薦されたコーナーとの距離をそれぞれ計測する。そして、その距離が短いオブジェクトの方向を推薦回転方向とする。

以上の機能によって導き出された回転方向をユーザーに対し図 1 のように提示する。方向修正が完了すると図 2 のような表示が提示され、移動フェイズへと遷移する。これによりユーザーが最も遠いコーナーの方向へ最小の回転角度で向くことができるようにした。



図 1：回転方向の提示



図 2：回転が完了したことの提示

回転フェイズ時に表示する独立した視覚的背景は図 3 のように、シーンを覆う形で配置した Sphere をワイヤーフレーム状にレンダリングすることで実装した。この背景はユーザーの回転に対して独立した状態で固定されており、ユーザーからは図 4 のように見渡すことができる。

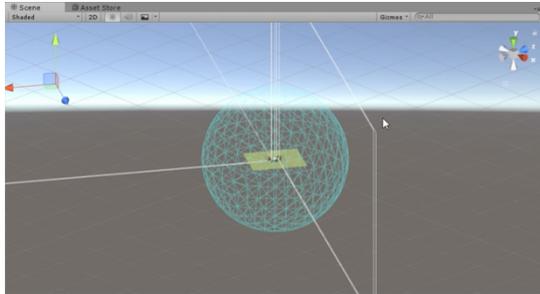


図 3：シーンを覆う独立した視覚的背景

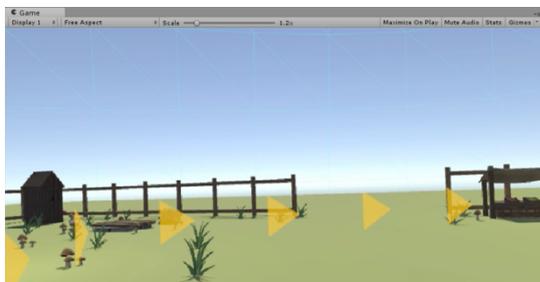


図 4：シーン内から見た独立した視覚的背景

また、VR 空間内では現実の歩行可能領域を以下の図 5 のように地面の色で判別できるようにした。歩行可能領域の端に行き着くとメッシュ状の壁が表示され、その先に行けないことをユーザーに提示する。



図 5：歩行可能領域の表示

以上の要素を組み合わせ、ユーザーが以下の①～⑤を繰り返すことで任意の経路を移動できる移動手法を実現した。

- ① 向かいたい方向に視線を合わせる。
- ② コントローラーのトリガーを引き回転フェイズに移行する。
- ③ 最も長い距離を歩ける方向に回転する。
- ④ 回転を完了し移動フェイズに移行する。
- ⑤ 移動可能範囲の端まで歩く。

## 5. 評価実験

### 5.1 実験環境

評価実験には VR 空間を生成する PC として、CPU に Intel Core i7-6700, GPU に NVIDIA GeForce GTX 970 4GB を搭載したものを使用した。

提案システム体験時、被験者は図 6 に示すようにフェイズの遷移を行うためのコントローラーを右手に持ち、2.0m\*1.5m の平面な領域内で歩行を行う。実験中にはケーブルが被験者に絡まらないよう補助者が 1 名付き添った。



図 6：提案システム利用の様子

また、対照実験として図 7 に示すように地面から 90cm の高さに設置されたキーボード/マウスを立位で操作し、VR 空間内を移動する手法に同様のタスクを与える実験を設定した。入力方式として、家庭用一人称視点ゲームで一般的な WASD キーによる水平移動と、マウスによるヨー軸まわりでの回転に加え、HTC vive の頭部姿勢による視点移動を実装した。

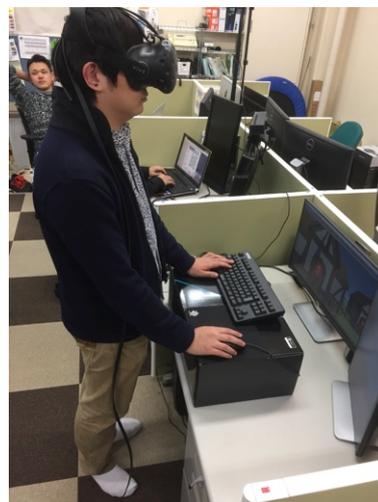


図 7：対照実験の様子

## 5.2 実験内容

20代の男女8名(男性7名, 女性1名)に実験に協力してもらい, 提案システムを先に体験する群とキーボード/マウスでの移動を先に体験する群とで被験者を4名ずつ2つの群に分け, 30分の休憩を挟み全員が両方の移動手法について実験を行った。

実験にあたり以下の図8に示すようなシーンをVR空間に用意した。シーン内の5つの建物の前に順番を示す番号と, 被験者が近づくことで消えるポールを設置した。被験者には5つのチェックポイントを順番にまわり全てのポールを消すタスクを与える。被験者がすべてのポールを消すまでの所要時間と実験終了直後に行うSSQの評価値とヒアリングの内容について2つの移動手法を比較する。なお開始から動き出すまでの個人差を考慮し, 最初のチェックポイントまでの時間は差し引くこととした。シーンへの習熟による差を小さくするため, 実験開始前にVR空間の概観と各チェックポイントの位置についてUnityのScene画面を見せながら説明した。

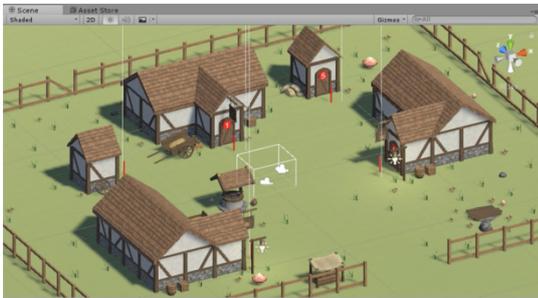


図8：用意したシーンの概観

## 6. 結果

被験者がタスクを終えるまでの所要時間の平均と標準偏差を以下の表1に示す。本実験において提案システムはキーボード/マウスの移動方法に対し, 所要時間が大幅に長くなることが分かった。

表1：所要時間の比較

	キーボード/マウス		提案システム	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
所要時間	46秒	8秒	208秒	54秒

また, SSQによって酔いの総合的な指標であるSSQ-TS(総合点)と, SSQ-N(気持ち悪さ), SSQ-O(目の疲れ), SSQ-D(ふらつき感)の評価値を求めた。その結果を以下の表2に示す。なお, 症状が強いほど評価値が高くなる。各評価値についてノンパラメトリック検定であるMann-WhitneyのU検定を用いたところ, SSQ-TSの評価値( $Z=2.013, p<0.05$ )とSSQ-Oの評価値( $Z=2.016, p<0.05$ )において, 提案システムがキーボード/マウスの移動手法に対して有意差を示すことが分かった。

表2：SSQ結果の比較

	キーボード/マウス		提案システム	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
SSQ-TS*	38.80	23.28	20.57	15.19
SSQ-N	27.42	19.34	10.73	12.10
SSQ-O*	50.22	28.35	23.69	17.13
SSQ-D	59.16	53.35	36.54	40.55

(\*… $p<0.05$ で有意差あり)

## 7. 考察

実験結果より, 複数の同じチェックポイント間を移動する場合において, SSQ-TSによって示される総合的な酔いの度合いとSSQ-Oによって示される目の疲れの度合いについて提案システムがキーボード/マウスでの移動手法に対して優れていることが分かった。実験後のヒアリングでもキーボード/マウスの移動手法では自分で操作しているものの画面の動きについていけない, もしくは意図しない動きになってしまって疲れるといった意見が聞かれた。それに対し, 提案システムは常に自分の動きに合わせて映像が動くため, 直感的で疲れが少ないという意見が得られた。実験結果と以上の意見から, 提案システムでは現実とVR空間での身体感覚の差異を小さくし, VR酔いを軽減することができたと考えられる。しかし提案システムについて, 方向修正の回数が多くそれによって気分が悪くなってしまったという意見も聞かれた。これは現実での歩行可能領域が小さいために, 特に長い距離を移動する際多くの方向修正を必要とすることが原因であると考えられる。また, それによって提案システムの所要時間がキーボード/マウスの移動手法に対し大幅に長くなってしまったことが考えられる。解決策として, 現実での歩行可能領域を拡大するほか, 身体感覚の差異をユーザーに知覚させない範囲で移動速度を上げることが考えられる。

## 8. 今後の課題

今回の実験では同じチェックポイントを通過するという評価を行ったが, キーボード/マウスの移動方法に対して所要時間が大幅に長くかかっているため, 同じ移動速度もしくは同じ体験時間での評価も行う必要があると感じた。これはVR空間内での移動速度が速くなるほど現実との身体感覚の差異が大きくなりVR酔いが激しくなることと, 体験時間が長くなることによってVR酔いが悪化することが考えられるからである。また, ヒアリングで得られた意見に加え, システムに慣れるまでの時間を短くするためのユーザビリティの向上や, ケーブルが身体に巻き付かないよう回転方向の提示を工夫する必要が感じられたため今後の課題とする。

## 参考文献

- [1] LaViola Jr, J. 2000. A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin*, 32(1):47-56.
- [2] Razzaque, S., Kohn, Z., Whitton, M. 2001. Redirected Walking. EuroGraphics 2001.
- [3] Peck, T., Whitton, M., Fuchs, H. 2008. Evaluation of Reorientation Techniques for Walking in Large Virtual Environments. Virtual Reality Conference, 2008. VR '08. IEEE.
- [4] Kennedy R. S., Lane, N. E., Lilienthal, M. G. 1993. Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(3):203-220.
- [5] Prothero, J.D., Draper, M.H., Furness, T.A., Parker, D.E., Wells, M.J. 1999. The use of an independent visual background to reduce simulator side-effects. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 70(3):135-187.
- [6] Llorach, G., Evans, A., Blat, J. 2014. Simulator Sickness and Presence using HMDs: comparing use of a game controller and a position estimation system. *VRST '14 Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, 137-140.
- [7] Suma, E. A., Azmandian, M., Grechkin, T., Phan, T., Bolas, M. 2015. Making small spaces feel large: infinite walking in virtual reality. *SIGGRAPH '15 ACM SIGGRAPH 2015 Emerging Technologies*, Article No. 16.