



移動後の視界を矩形により指定する 仮想空間ナビゲーション手法

濱田健太郎¹⁾, 梅澤猛²⁾, 大澤範高³⁾

- 1) 千葉大学大学院 融合理工学府 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33, hamada@chiba-u.jp)
 2) 千葉大学大学院 工学研究院 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33, ume@chiba-u.jp)
 3) 千葉大学大学院 工学研究院 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33, n.osawa@faculty.chiba-u.jp))

概要: 没入型仮想現実(Immersive Virtual Reality)におけるナビゲーション手法として、目的地の 1 点を指定して、その地点へカメラを移動させる手法がある。しかしこの手法は、移動後の光景を移動前に想像しにくい欠点がある。当研究では両手の位置座標をもとに矩形の枠を作る動作によって関心のある領域を指定し、移動後の光景がその領域に近づくようにカメラを移動させる手法を提案する。本研究では提案手法、ジョイスティックによる速度・方向調整手法、目的地を指定しその地点へ瞬間的に移動する手法の 3 手法を比較する被験者実験を行い、仮想空間上のチェックポイント巡回タスクにかかる時間を計測した。また、実験後に質問紙調査を行った。その結果、平均タスク完了時間では、提案手法が他の手法よりも優れていることは示されなかったが、質問紙調査によって提案手法は使っていて楽しい手法だということが示唆された。

キーワード: ナビゲーション、ロコモーション

1. はじめに

HMD (Head Mounted Display) を用いたバーチャルリアリティ(VR)ではユーザの頭の傾きと位置を取得し、それに合わせてカメラを移動し、映像を提示する。しかしカメラの移動が頭部の移動のみによる場合、ユーザが移動できる仮想空間の範囲は現実空間で物理的に移動できる範囲、かつ位置情報を取得できる範囲に限られてしまう。より広い仮想空間を移動するためには、頭部の位置情報以外にもカメラを移動する手法が必要になる。

VR コンテンツで用いられている代表的な手法として、ジョイスティックによって方向と速度を変化させることで連続的にカメラを制御する手法と、位置を直接指定し、その位置へ即座にカメラを移動する手法[2]がある。前者の手法は没入感を損なわない利点を持つが、視野全体に運動刺激が与えられるためにユーザは視覚誘導自己運動(ベクシオン)を感じる。ベクシオンによる運動感覚と、身体が静止していると伝える前庭感覚との矛盾により VR 酔いを引き起こすリスクがある [1]。後者の手法は瞬時にカメラの位置を変更するためベクシオンが生じず、VR 酔いのリスクを軽減できる。しかし、Bowman ら [3]はカメラを連続的に移動させた場合と瞬間的に移動させた場合で位置感覚の喪失が起こっているかを検証し、瞬間的移動は有意に位置感覚を損ないやすいと報告している。また、移動したい点を指定する手法は、移動前に想定した光景と移動後の光景が想定と異なるものになりやすく、ユーザの意図し

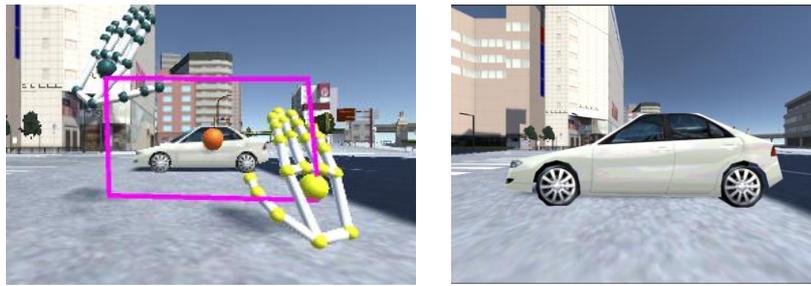
た光景となる位置に移動できるまで何度も操作を行わなくてはならない場合がある。

2. 提案手法

本研究では、両手で 2 点を指定し、それらが対頂点になる矩形によって関心領域を指定し、関心領域と移動後の視野に広がる光景ができるだけ一致する位置にカメラを移動させる **Framing** 手法と呼ぶナビゲーション手法を提案する。**Framing** 手法は移動後の光景を関心領域という形で指定できるため、移動後の光景を指定しやすく、1 点で移動先を指定する手法よりも少ない操作回数で意図した光景となる位置にカメラを移動できる利点があると考えられる。

本研究では **Framing** 手法と、既存手法であるジョイスティックを用いる手法 (以下 Joystick 手法) と、移動先の座標を視線で指定してそこへ瞬間的に移動する (Gaze Teleportation) 手法 (以下 GazeTP 手法) を被験者実験により比較することで **Framing** 手法の特徴を明らかにする。

Framing 手法によって実際に視点移動を行う例を図 1 に示す。両手を HMD の前方に掲げると、図 1(a)のように左手を左上の頂点、右手を右下の頂点とする矩形が現れる。以後この矩形を枠と呼ぶ。両手の位置を動かして、移動後の視界に収めたい領域が枠の中に収まるよう調整する。調整が終わったら、フットペダルを押すことで移動を実行する。図 1 (b)のように移動前に枠で指定した領域と移動後の



(a) 関心領域を指定した図

(b) 移動後の視界

図 1 Framing 手法による移動の例

視野の光景が最も近くなる位置へカメラを移動させる。

枠の作成手法、移動先の位置決定方法の概要は次のとおりである。

- ・ 両手の位置とカメラの前方方向、頭上方向の向きから枠を作成する
- ・ ユーザから見て枠の中心にある物体と、カメラとの距離を求める。
- ・ 視野角と枠の大きさ、前項で求めた距離をもとに、移動後のカメラの位置を算出する。

2.1~2.3 節で具体的な方法を述べる。

2.1 枠の作成

右手の位置座標 R を通り、カメラの前方の向きを法線ベクトルとする平面 E を算出する。次に左手の位置座標 L とカメラの位置座標 C を結ぶ直線と、平面 E との交点となる位置座標を L' とする。この 2 点 L', R はそれぞれ枠の左上、右下の頂点となる。

枠の頂点の左下となる L'' , 右上の座標 R' を求めるために、 L' と R の中点 P を式によって求める。

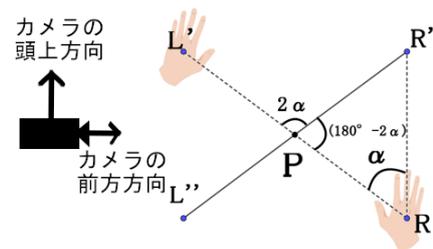
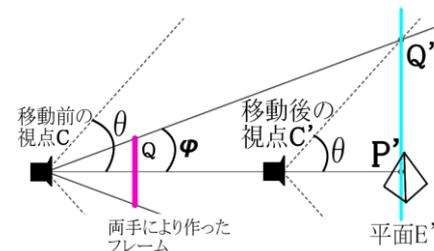
$$P = \frac{L' + R}{2} \quad (1)$$

次に図 2 に示すように、カメラの頭上方向の向きと、 R から L'' に向かう方向ベクトルとのなす角 α を求める。そして中点 P を通り、視線の向きと平行な方向ベクトルを回転軸に L', R をそれぞれ $(180 - 2\alpha)$ 度回転させたときの座標を L'', R' とする。これらの 4 点 L', L'', R, R' を頂点とする長方形を枠とする。

2.2 注視点の決定

注視点は、カメラを起点とし、中心 P へ向かうベクトルを方向ベクトルとする仮想のレイを射出し、仮想空間上の物体との衝突判定を行うことで決定する。1 点で注視点を指定する場合、カメラとの距離が遠く、見かけ上の大きさが小さい物体の指定が行いにくい。そのため、ユーザが指定した注視点が多少ずれていても物体を指定できるように、視線の水平方向に 2.5 度の範囲でレイを射出する。衝突判定があった点の中で最も枠の中心に近い点 P' を注

視点とする。

図 2 L'', R の算出図 3 移動先の座標 C' の算出

2.3 移動先座標の決定

移動後のカメラの位置 C' を算出する (図 3)。

平面 E に平行で、 P' を通る平面を E' とする。枠の左上の頂点 L' , 右上の頂点 R' の中点を Q とし、視点 C から中点 Q に向かう直線と平面 E の交点を Q' とする。

カメラの鉛直方向の視野角を 2θ とする。また視点 C から P' に向かうベクトルと視点 C から Q に向かうベクトル \overrightarrow{CQ} とのなす角 φ は式 (1) により求まる。カメラの移動はユーザの足元に設置した、2 種類のフットペダルの右側を踏むことで実行する。

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{\overrightarrow{CP'} \cdot \overrightarrow{CQ}}{|\overrightarrow{CP'}| |\overrightarrow{CQ}|} \quad (1)$$

移動後の位置座標 C' と注視点 P' の距離 $|\overrightarrow{C'P'}|$ は式 (2) によって求められる。

$$|\overrightarrow{C'P'}| = \cos^{-1} \frac{|\overrightarrow{CP'}| \tan \varphi}{\tan \theta} \quad (2)$$

そして移動先である C' の位置座標は式(3)により求める。

$$C' = \left(1 - \frac{|C'P'|}{|CP'|}\right)L + \frac{|C'P'|}{|CP'|}C \quad (3)$$

2.4 移動のキャンセル操作

ユーザが左側のフットペダルを踏むことで、現在位置のひとつ前の位置に戻ることができる機能を実装した。

3. 既存手法の実装

この章では Framing 手法との比較対象となる GazeTP 手法、Joystick 手法を説明する。

3.1 GazeTP 手法

この手法では移動したい場所に頭(顔)を向けることで移動先の地点を指定する。移動前のカメラの位置座標 C を発生源とし、カメラ座標系の Z 軸を方向ベクトルに持つ仮想のレイを射出する。このレイと、仮想空間内の地面との衝突判定を行う。衝突が検知された場合、衝突点 M を移動先の候補とし、円筒形のカーソルを表示する。その後右側のフットペダルを踏むことで新しいカメラの位置 C' を式(4)にしたがって更新する。

$$C' = M + H \quad (4)$$

$H = (0, h, 0)$ はユーザの仮想空間上の身長であり、本研究では $h = 1.7\text{m}$ とした。

3.2 Joystick 手法

この手法では XBOX ONE コントローラー[6]の左スティックを倒すことで前後左右に移動する。スティックを上方向に倒すことでカメラの向きと同じ方向に進む。またスティックの倒した角度によって移動速度を調整する。

4. 実験

本研究では3節で説明した既存手法である Joystick 手法、GazeTP 手法、そして提案手法である Framing 手法の3手法の比較実験を行った。

仮想環境の構築には Unity を使用し、HMD には Oculus Rift を用いた。また、両手の位置情報を取得するために Leap Motion を使用した。

4.1 実験の流れ

実験の前に年齢、性別、利き手、HMD の使用経験を事前調査した。被験者は6名で、全員男性の大学生、大学院生である。実験前の事前調査によると、年齢は21歳から26歳で、平均は23.2歳である。また4人は過去にHMDを1回以上使用した経験がある。

被験者は各手法の説明をうけ、そのあとに操作に慣れるために練習を行った。その後、本番タスクを行なった。手

法の説明は被験者間で差が出ないように、用意した説明書を読んでもらった。次にHMDを被験者は装着し、操作に慣れるまで練習した。タスクは8つのチェックポイントの巡回である。被験者は仮想空間内で緑色の矢印で指し示されたチェックポイントに向かう。指し示されたチェックポイントに到達すると、次に向かうべきチェックポイントが指し示される。8つのチェックポイントすべてを巡回したらタスクが終了する。タスク開始から完了までの時間、Framing, Gaze TP についてはさらに移動、キャンセルの回数を記録した。被験者はこの手順で3手法すべてでタスクを行った。手法の順番はラテン法格に基づき被験者ごとに変更した。

すべてのタスクを終了した後に、各手法の使用感に関する質問紙調査を行った。質問の項目は(1)使い方を容易に理解できた、(2)操作し易かった、(3)思ったとおりに動かせた、(4)楽しく操作できた、(5)疲れなかった の5項目である。被験者は5段階のリッカート尺度(1)強く不同意、(2)不同意、(3)どちらでもない、(4)同意、(5)強く同意)で回答した。加えて実験を通しての感想について自由記述で回答した。

4.2 仮想環境とタスクデザイン

平坦な地形に8つの円柱状のオブジェクトを配置した仮想空間で実験を行った。オブジェクトにはチェックポイントを表す C と書かれたマーカーが貼られている。ユーザがチェックポイントを通過するためには(1)マーカーがディスプレイ全体の面積に対し35%以上を占めるよう表示される(2)マーカーの4隅がすべてディスプレイの中に納まっている、という2つの条件を満たす必要がある。

5. 結果

5.1 本番タスクの平均完了時間

各移動手法の本番タスク完了時間の手法ごとの平均を図4に示す。なおエラーバーは標準誤差を表す。手法間のタスク完了時間の平均値は等しいという帰無仮説を有意水準0.05の分散分析により検定を行った結果、平均値に有意差があることが示された。 $(F(2,15)=3.682, p<0.0077)$ 。次に同様の帰無仮説をチューキー法によって検定した結果、Joystick と GazeTP、および Joystick と Framing の間で有意差があることが示された。 $(p<0.05)$

5.2 キャンセル操作の回数

GazeTP と Framing における被験者ごとのキャンセル回数の平均を図5に示す。エラーバーは標準偏差を表す。GazeTP, Framing の2手法の平均値の差はないという帰無仮説を t 検定により有意水準を0.05として検定した結果、有意差は認められなかった。

表 1 質問紙調査の中央値

	簡単	操作しやすい	思い通り	楽しい	疲れない
Joystick	5	5	5	3.5	5
GazeTP	5	3	2.5	3	2
Framing	5	3.5	2	4.5	2

5.3 質問紙調査

質問紙調査の5段階評価の中央値の結果を表1に示す。被験者数が偶数のため、中央2値の平均を中央値としている。各質問項目に対し、3手法間の中央値は等しいという帰無仮説をウィルコクソンの符号順位検定により検定し、ボンフェローニ法によってp値の補正を行った結果、有意水準0.05においていずれの質問項目についても手法間における有意差は認められなかった。また、Framing手法は「この手法を使っていて楽しかった」という項目において最も高い中央値を得た。

5.4 自由記述

質問紙調査のあとに、実験を通してのコメントがあれば記述するよう求めた。その結果、各手法について以下のコメントを得た。

Joystick 手法

- 酔いや不快感があった
- 最高速度をさらに速くしてほしい

GazeTP 手法

- 近距離の指定が難しい

Framing 手法

- 視差により枠を合わせづらかった
- 認識できる範囲から手が外れる事があった
- 腕が疲れた
- 手の3Dモデルが大きく枠作りの邪魔になった

6. 考察と制約

タスクの平均終了時間はJoystickが他の2手法と比べて有意に優れていた。この理由は、今回の平面の仮想空間上を移動するタスクではチェックポイントに頭を向け、ジョイスティックを前に倒し続ける、という操作のみでチェックポイントを巡回できることが原因だと思われる。

FramingとGazeTP間でのタスクの完了時間(図4)とキャンセル操作の回数(図5)についても有意な差は見られなかった。

次にFraming手法の課題について述べる。Framing手法を利用している際に、両手がセンサの認識できる範囲から外れることがあった。Framing手法で近い距離を移動する場合、被験者は大きな枠を作るために両手を大きく広げており、そのためにLeap Motionセンサの範囲を外れてしまった。また、被験者は自由記述で、視差により枠が見づらいと述べていた。HMDは左右の目にそれぞれ異なる映像を提示することで立体視を知覚させるディスプレイである。そのため左右のディスプレイによって枠の内部に納まる光景が異なっており、被験者は戸惑いを感じていたと思

われる。

7. まとめ

本研究では両手で枠を作ることで関心領域と注視点を指定し、移動後の視界が関心領域と最大限等しくなる位置にカメラを移動させるナビゲーション手法(Framing手

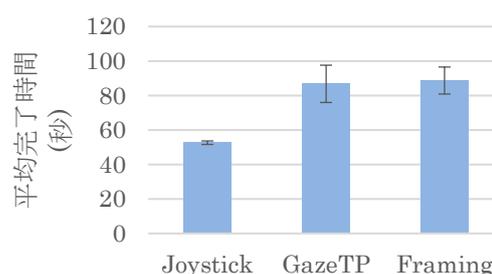


図 4 本番タスクの各手法の平均完了時間

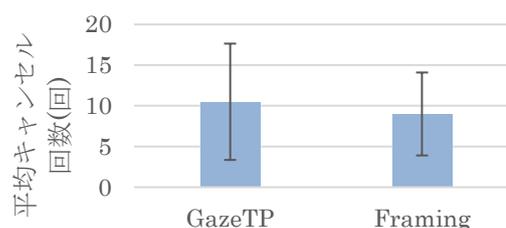


図 5 キャンセル操作の回数の平均

法)を提案した。Framing手法の有効性を検証するために、ジョイスティックによりカメラの速度を制御する手法と、目的地を1点で指定して瞬間的にカメラを移動させる手法との比較実験を行った。その結果、タスク完了時間について他の2つの手法よりも有意に優れた成績とは認められなかったものの、質問紙調査によってFraming手法は使っていて楽しい手法であることが示唆された。

参考文献

- [1] 日本バーチャルリアリティ学会, バーチャルリアリティ学, 日本バーチャルリアリティ学会, 2011.
- [2] E. Bozgeyikli, A. Rajj, S. Katkooori, R. Dubey, "Point & Teleport Locomotion Technique for Virtual Reality," In Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play, pp. 205-216. ACM., 2016.
- [3] D. A. Bowman, D. Koller, L. F. Hodges, "Travel in Immersive Virtual Environments: An Evaluation of Viewpoint Motion Control Techniques Georgia Institute of Technology," Proceedings of the 1997 Virtual Reality Annual International Symposium, 1997.