This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

第 30 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集（2025 年 9 月）

モーションプラットフォームによるロール回転時に違和感のない視覚的回転量

During roll rotation with motion platform amount of visual rotation without discomfort

中川颯人 [1)]，岡嶋克典 [2)]
Hayato NAKAGAWA, Katsunori OKAJIMA

1) 横浜国立大学大学院環境情報学府（〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, nakagawa-hayato-tc@ynu.jp）
2) 横浜国立大学大学院環境情報研究院（〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, okajima@ynu.ac.jp）

概要：仮想環境に連動して回転運動を行うモーションプラットフォームを用いたロール回転時に身体回転量と映像回転量の主観的等価点を測定した結果，映像回転量は身体回転量よりも大きいことが示された．視覚的操作がユーザーの身体回転の知覚精度に及ぼす影響について定量的に評価し，ロール回転体験時の最適ゲイン設定について検討した．
キーワード：モーションプラットフォーム，ロール回転，身体回転知覚

1. はじめに

VR 体験の没入感向上のため，HMD とモーションプラットフォームを併用し，視覚情報に加え体性感覚・前庭感覚を提示する手法が用いられる．しかし，モーションプラットフォームは物理的制約があり，仮想環境での動きを完全に再現できない場合がある．そこで，ゲインを用いた知覚操作技術[1]が，実空間ベースの仮想環境での動作を増幅するために用いられる．これにより，ユーザーは物理的制約から解放され，拡張された体験が可能となる．

知覚操作はユーザーにとって違和感なく行われる必要があり，検出閾値（DT）や主観的等価点（PSE）が心理物理実験で測定される[2] ．ピッチ回転[2]やヨー回転[3]における回転ゲイン操作の研究は多く行われているが，モーションプラットフォームを用いたロール回転に関する研究は不足している．ロール回転を伴う VR コンテンツの没入感向上のためには，ロール回転のゲイン操作も必要である．

本研究では，2 軸モーションプラットフォームを用いる際のロール回転時の回転ゲインについて調査する．ユーザーに身体回転量と映像回転量を主観評価させ，両者が一致するゲイン条件を PSE として測定する．また，より実用的な場面を考慮し，ローラーコースターをシミュレートした，仮想環境内での前進を伴う条件で調査を行う．さらに，今回，視覚情報の有無が身体回転量の評価に及ぼす影響についても追加で調査したため，映像を提示しない場合の身体回転量の評価も実施した．

2. 方法

2.1 視覚増幅操作

回転ゲイン（$Gain$）は，仮想環境での回転（$R_{virtual}$）と実空間での回転（R_{real}）の比率（$R_{virtual}/R_{real}$）で表される．今回は増幅ゲインについて調査するため，使用する回転ゲインは$Gain \geq 1$である（$Gain = 1$はコントロール条件）．ローラーコースターの回転角度（$R_{virtual}$）を$Gain$で割ったR_{real}（式（1））だけモーションプラットフォームを回転させた．

$$R_{real} = \frac{R_{virtual}}{Gain} \tag{1}$$

2.2 装置

Unity (2022.3.38f1) でローラーコースター（図 1（b）(c)）を仮想環境に作成した．ハードウェア構成を図 1（a）に示す．視覚提示は Varjo XR-4 Enterprise，モーションプラットフォームは Lumbus-Type1 (ピッチ・ロール：±20°) を使用した．Lumbus-Type1 は座席後部の 2 本のアクチュエータを伸縮させて座席下部の球体が転がり運動をすることで，回転運動可能である．PC に接続し，仮想環境内のオブジェクトの回転角度を UDP 送信し，オブジェクトの回転を反映させた．今回は，仮想環境内のローラーコースターのロール回転を Lumbus-Type1 で提示した．参加者は HMD とノイズキャンセリングの為のヘッドホンを装着し，モーションプラットフォームに着座．身体回転量を一定にするため，また安全に配慮し，胴体をベルトで固定した．

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会

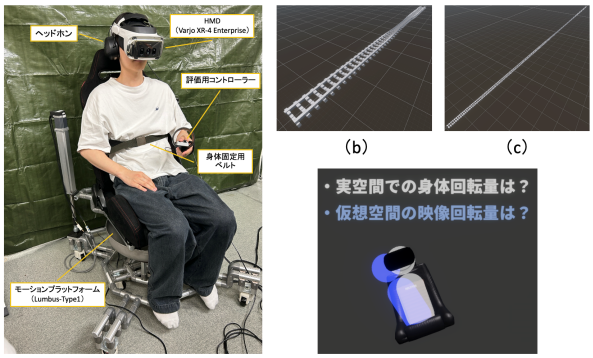

図１：実験環境：(a) モーションプラットフォームと HMD，(b) 70km/h コース，(c) 10km/h コース，(d) 回転量評価用 UI

2.3 参加者と手順

実験参加者は横浜国立大学に所属する 21-23 歳の男性 8 名で，裸眼または矯正で正常な視力を有していた．参加者は，回転方向（左右），最大回転角度（max10°，max20°），最高速度（10km/h，70km/h）の 8 種類のコースをランダムに体験し，身体・映像回転量を評価した．モーションプラットフォームの回転量（R_{real}）は，コースの最大回転角度をゲイン条件（1x~6.5x）で割った値とし（式（1）），映像回転量（$R_{virtual}$）は，max10° コースで 10°，max20° コースで 20° に固定した．各コースに 6 つのゲイン条件を適用し，1 回の実験で 48 試行実施，別日に再実施し，各条件で 1 人 2 回分の結果を得た．さらに，視覚情報無しで同様の回転運動を体験し，身体回転量のみを評価する実験も，各条件 2 回ずつ実施した（ただし最高速度条件は除外）．

身体・映像回転量は，コース体験後に仮想アバターに自身を投影し，再現させることで評価した（図 1（d））．この手法は，従来の 2AFC 法よりも少ない試行回数で PSE を測定でき，実際に参加者の知覚した回転量も調査できる．アバターの回転はコントローラーで操作した．

3. 結果と考察

回転方向に有意な差が見られなかったため（身体回転量：p=.692，映像回転量：p=.8656），コースの最大回転角度と最高速度のみを考慮し，まとめた結果を図 2 に示す．

3.1 身体・映像回転量

身体回転量は，全条件で実際の回転量より過大評価された．最高速度による差は見られなかったが（p=.834），max10° 回転時，視覚情報の有無で有意差が見られた（p<.005）．max20° では有意差なし（p=.428）．視覚情報が無い場合，有りのときよりも低ゲインでは過大評価，高ゲインでは過小評価する傾向が見られた．これは，身体回転量が映像回転量の知覚に影響されることを示唆している。

映像回転量は，max10° では概ね 10° に近い値が知覚されたが，max20° では 20° よりかなり小さく評価された．最高速度には条件間で有意差が見られ（p<0.001），ゲインレベルが高く，また速度が速いほど，映像回転量が小さく知覚されることが示された．

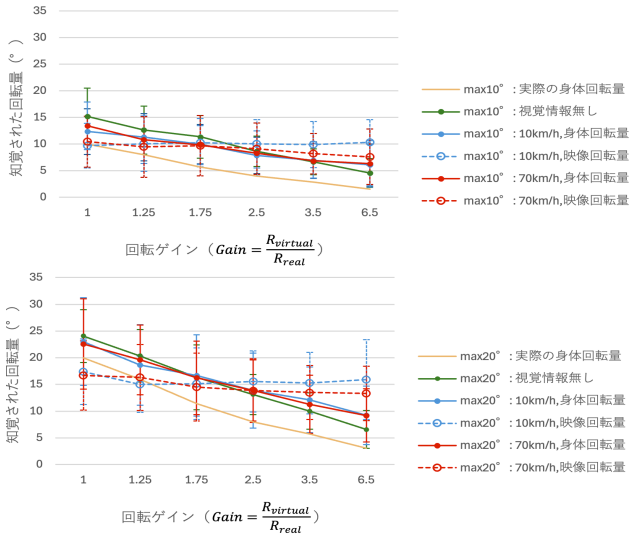

図２：回転量評価の結果：縦軸は知覚された身体・映像回転量の平均，横軸はR_{real}に対する$R_{virtual}$の回転比率（回転ゲイン）を示す．$R_{virtual}$は（a）max10° コース，（b）max20° コース のそれぞれで固定された為，回転ゲインの増加とともにR_{real}は減少する．

3.2 PSE ゲイン

身体・映像回転量が一致する PSE ゲインは，max10° では最高速度に関わらず約 1.75x，max20° では 10km/h で約 2x，70km/h で約 2.5x であった．最大回転角度間で PSE が異なる要因として，max10° と比較して，max20° での映像回転量が実際よりも小さく知覚されたためであると考えられる．

4. 結論

本研究ではモーションプラットフォームを用いたロール回転時の身体・映像回転量を評価し，約 1.75x~2.5x 程度の増幅ゲイン操作で違和感のない VR コンテンツを提供できることを示した．今後は，モーションプラットフォームの最大限回転量を，違和感のない範囲で視覚情報を使って知覚的に拡大させる手法の実現を目指す．

参考文献

[1] Sanders, B. Narasimham, G. McNamara, T. Carr, T. Rieser, J. Bodenheimer, B. : Updating orientation in large virtual environments using scaled translational gain, APGV '06: Proceedings of the 3rd symposium on Applied perception in graphics and visualization, pp.21 - 28

[2] 伊藤駿汰，中西泰人 : AmplifiedCoaster : 移動型スロープを統合した VR ライドにおける上昇・降下体験の接続手法の検討，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，2023 年 28 巻 2 号, pp. 81-89.

[3] Graham Wilson, K. Pöhlmann, David Al Baiaty Suarez, Mark Mcgill, S. Brewster: The Spin Doctor: Leveraging Insensitivity to Passive Rotational & Translational Gain For Unbounded Motion-Based VR Experiences, CHI '25: Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Article No.811, pp.1 – 19.

© 2025 日本バーチャルリアリティ学会