



仮想空間内の疑似階段における階段歩行感の 評価手法と非整合な身体動作の効果

Evaluation Method of Walking Feel and Effects of Incoherent Body Movement
on Pseudo Stairs in Virtual Reality

叶谷弘介¹⁾, 岡嶋克典²⁾

Kosuke KANOYA, Katsunori OKAJIMA

- 1) 横浜国立大学環境情報学府(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, kanoya-kosuke-mv@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: 限られた実空間で広大な仮想空間の歩行を可能にするリダイレクテッドウォーキングの垂直方向への拡張に疑似階段歩行がある。これまでは階段歩行の一連の動作における階段歩行感のみ評価されているが、本研究では階段歩行感を段差感, 昇降感, 高所感に分けて評価・分析するとともに, 実際の身体の動きとは異なる身体の映像を提示することで階段歩行感が向上するかを実験的に検討した。

キーワード: バーチャルリアリティ, 移動感覚, 階段歩行

1. はじめに

実空間には空間的な制限があるため、限られた実空間において広大な仮想空間での歩行を可能にする手法として Redirected Walking (RDW) [1] などの研究が活発に行われている。RDW の応用として垂直方向への移動, 特に階段歩行についても研究が行われてきており, トレッドミルや突起 [2] を地面に配置したり, 足に負荷を与えるアクチュエータ [3] を取り付けたりすることで階段歩行感を生成する手法などが提案されている。しかし, 一般に VR 体験を行うためには, 安全のために実空間に障害物や段差等が無いこと, また身に付けるデバイスは最小限であることが求められる。この課題に対して, 平地歩行時の実空間での身体の動きにゲインを変調させた映像をヘッドマウントディスプレイ (HMD) に提示するモーションリマッピングにより, HMD 以外のハードなデバイスを用いずに階段歩行感を生成するシステムが提案されている [4]。しかしその手法において, リアリティや安定感などに対する主観的評価は行われているが, システム全体の評価はされていない。階段歩行感をさらに高めるためには, 階段歩行を細分化し, それぞれの動作がどのように階段歩行感に影響を与えているのかを考える必要がある。そこで本研究では階段歩行感を”段差感”, ”上昇感”, ”高所感”に分け, それぞれが階段歩行感にどのように影響するかを評価した。

2. 提案手法

本研究では, 視覚情報のみの操作により階段歩行感を生成するために, 実空間での足の動きに異なる倍率 (ゲイン) を掛けることにより段差感を生成した。また, 現実の階段歩行の動きを再現するように VE 内の目線の高さを変化させた。ゲインや階段高さを変えることによって段差感, 上昇感, 高所感および階段歩行感がどのように変化するかを実験的に検証した。

2.1 ゲイン操作

各フレームでの実空間の移動量にゲインを掛けた映像を HMD に提示することで段差知覚を生成した。今回は Seo らの研究 [4] で提案された手法を基に疑似階段を作成した。

$$H_v^f(t) = \begin{cases} H_v^f(t-1) + \alpha \Delta H_r^f(t), & \text{if } t \leq t_{\text{top}} \\ H_v^f(t-1) + \frac{H_v^f(t_{\text{top}}) - H_v^f(t_{\text{top}} - \varepsilon)}{H_r^f(t_{\text{top}} - \varepsilon)} \Delta H_r^f(t), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$H_v^f(t)$ は時刻 t の仮想足高さ, $H_r^f(t)$ は時刻 t のリアル足高さ, $\Delta H_r^f(t)$ は時刻 t のリアル足速度, $H_v^f(t)$ は時刻 t の仮想階段高さ, t_{top} は足が最大高さに達した時刻, ε は VIVE Tracker の地面からの初期高さ, α はゲインである。上記の式において α の値を 0.8 から 1.8 の間で操作することにより, 実空間での足の動きに対してゲインを乗じた。

実空間および仮想空間内の足・頭の動きを図1に示す。

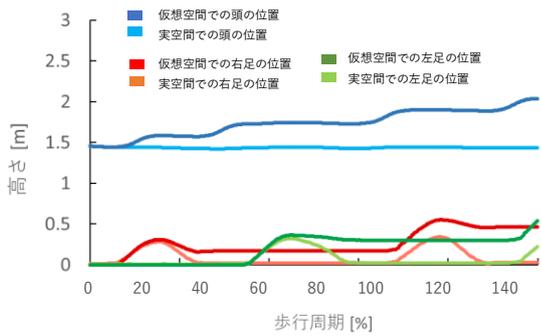


図1：歩行周期中のユーザーの足および頭の位置の変化の例

3. 実験

3.1 方法

モーションリマッピングにおけるゲインと段差高さを変化させた際にユーザーが知覚する段差感、上昇感、高所感、階段歩行感を測定した。ヘッドマウントディスプレイとして HTC VIVE PRO EYE を、トラッキングデバイスとして足に VIVE Tracker を片足ずつ装着してもらった。実験参加者は5名(男性3名, 女性2名, 年齢23-32歳, 平均年齢26.2歳)であった。条件としてVE内の段差4条件, 各条件につきゲイン6条件ずつの計4×6 = 24 試行実施した。段差条件は{6, 9, 12, 15}[cm]の4条件 ゲインは{0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8}の6条件とした。実験参加者は段差感について、見ている段差に対して自分の足がどの程度の高さ存在すると感じるかを、上昇感については目線の高さ変化に対して自身の身体がどの程度上昇していると感じるかを、高所感についてはVE内での高さに対して、どの程度高い位置に存在しているかを、階段歩行感については、実際の階段歩行と比べ、どの程度階段を歩行しているように感じるかを1~7の7段階評価で評価してもらった。

3.2 結果と考察

ゲインと段差の条件を変えたときの段差感、上昇感、高所感および階段歩行感の結果を図2, 図3に示す。

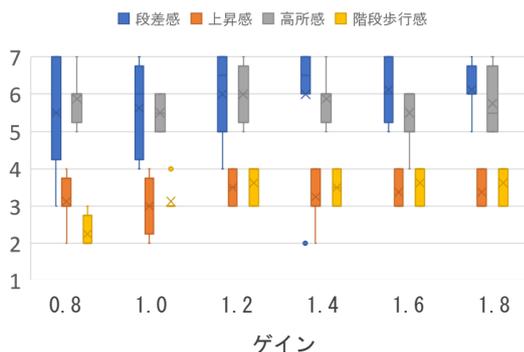


図2：各ゲイン条件における測定値の実験参加者平均

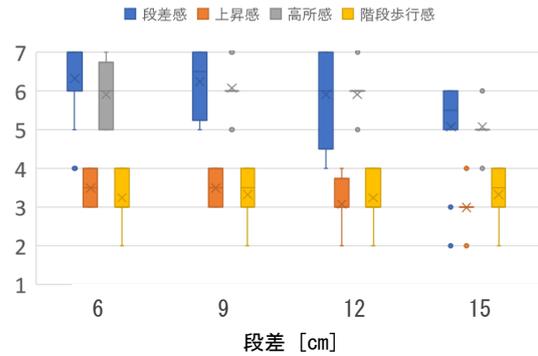


図3：各条件における違和感の実験参加者平均

図2より、段差感、上昇感、高所感へのゲインの影響は小さいことが分かる。階段歩行感についてはゲインが0.8のときに減少した。図2および図3より、上昇感と階段歩行感および段差感と高所感が同じような値を示すことが分かる。階段歩行感および上昇感の値が小さいため、上昇感を向上させることにより階段歩行感も向上する可能性が示唆される。図3において、段差が15cmのときに段差感、上昇感、高所感は減少するが、階段歩行感は減少しないことから、階段歩行感は段差感、上昇感、高所感とは異なるパラメータの影響を受けている可能性がある。また実験参加者の意見として、実験を体験するにつれて(試行を重ねるにつれて)段差感を感じやすくなったとの回答があり、VE内での段差知覚に順応することで段差感を感じやすくなる可能性がある。

4. 結論

本研究では視覚情報のみによる疑似的な階段歩行感の実現のために階段歩行感を段差感・上昇感・高所感に分け、それぞれが階段歩行感に与える影響について検討した。その結果、不整合なゲインによる各値への影響が小さいこと、また上昇感を向上させることによって階段歩行感を向上させられる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] Sharif Razzaque, Zachariah Kohn, and Mary C Whitton. Redirected Walking. In Proceedings of Eurographics, 289-294, 2001
- [2] Nagao Ryohei, Matsumoto Keigo, Narumi Takuji, Tanikiwa virtual reality: Simple and safe system using passive haptics. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 24(4), 1584-1593, 2018
- [3] Takumi Okumura, Yuichi Kurita, Cross-Modal Effect of Presenting Visual and Force Feedback That Create the Illusion of Stair-Climbing, Appl. Sci., 11, #2987. 2021
- [4] MinYeong Seo, HyeongYeop Kang, Toward virtual stair walking. The Visual Computer 37, 2783-2795, 2021