

審査の結果の要旨

氏名 松本 啓吾

広大なVR空間を限られた広さの実空間内で歩行移動する手法として、実空間でのユーザの動きとVR空間における動きの対応をわずかに変化させた映像を提示することで、実空間での移動方向や移動量をユーザに気付かれないように操作し、VR体験を損なわずに限られたスペース内にユーザを留める技術であるリダイレクテッドウォーキング (Redirected Walking, RDW) が提案されている。しかし、視覚のみを用いた既存手法では空間の圧縮効率は十分ではなく、また効果の個人差が大きいため実用にあたって強い制約があることが問題となっていた。本研究では、RDWの背景にある知覚と運動の相互作用の生理学・心理学的側面を踏まえた上で、個々人の感覚処理傾向がRDWの効果に影響すること、個人ごとのRDWの効果を行動指標から推定可能なことを示し、さらに感覚統合に着目して複数のモダリティに働きかけたり、操作量を決定したりすることでRDWの効果を向上させる手法を提案している。論文は全9章で構成されている。

第1章「Introduction」では、VR空間での歩行移動の重要性を述べ、限られた広さの実空間で任意のVR空間を自由に歩行する体験を可能な限り弱い制約で実現するうえで、個々人の感覚特性や反応に応じて働きかけるモダリティや操作量を最適化し、RDWの効果を向上させるシステムを構成することが本研究の目的であると述べている。

第2章「Literature Review」では感覚運動システムに関する先行研究とRDWに関する先行研究を紹介した。感覚運動システムのうち、感覚・知覚に関する先行研究では特に空間知覚について心理学と生理学の観点から整理している。RDWに関する先行研究では、本研究で用いるRDWの一種である曲率操作やRDWの閾値の個人差に関する先行研究を紹介している。

第3章「Sensory Characteristics and RDW」では、感覚処理特性とRDWの閾値の間に関連性があると仮説を立て、心理物理実験によって推定した個々人のRDWの閾値と青年・成人感覚プロファイル(AASP)を用いて測定した感覚処理特性の関係を評価している。実験結果から、感作傾向が高い参加者はRDWに気づきやすい傾向があると結論づけている。

第4章「Physiological and Behavioral Indicators of RDW」では、従来の質問紙を用いた閾値推定法に代わるものとして、生理指標や行動指標を用いて曲率操作の閾値を推定する手法を検討した結果について述べた。実験結果から、曲率操作の閾値と歩行指標や頭部動揺の分散といった行動指標との間に有意な相関が認められ、行動指標によってRDWの閾値を推定可能であると結論づけている。

第5章「Redirected Walking With Noisy GVS」では、感覚統合のモデルである最尤推

定モデルの考え方にに基づき、前庭感覚の信頼性を低下させ、視覚の信頼性が相対的に向上することでRDWの効果が向上するという仮説について検証している。実験結果から、ノイズ前庭電気刺激を用いて前庭感覚の信頼性を低下させることでRDWの効果が一定程度向上すると示している。

第6章「Auditory Redirected Walking」では、聴覚を有効利用した視聴覚RDWの可能性を探るため、まず、VR環境における不整合な視覚聴覚的統合に最尤推定モデルが適用できるかどうかを検討している。そのうえで、曲率操作を適用する際に、視覚的なノイズや視覚と聴覚の不整合を導入することで効果を高める新しい手法を提案している。また、既存の視覚のみを用いたRDW手法との比較により、本手法の有効性を検証している。

第7章「Visuo-Haptic Redirected Walking」では、RDWへ触覚手がかりを導入したVisuo-haptic RDWを提案し、その評価を行っている。その結果、触覚手がかりを用いることで、曲率操作の効果が向上することを示唆している。また、頭部動揺の分散が主観的な曲率と同一傾向であったことを報告している。続いて、Visuo-haptic RDWを活用することで自然なVR体験を保ちつつ比較的小さな実空間に大規模なVR環境を作り出すことを可能にする「Unlimited Corridor」を制作している。この「Unlimited Corridor」を美術館において展示し、さらにRDWを用いたVR展示の運用上の課題を調査するためのワークショップを実施して、美術館でのVR展示に関する技術、スタッフ、ユーザの課題についての洞察を得ている。

第8章「Discussion」では、本研究について、情報工学的側面に加えて、生理学的・心理学的側面から考察を行っている。情報工学の観点からは、行動指標などを用いることでRDWの効果をオンライン評価・制御することにより効果的に空間を圧縮することが可能であることを述べている。生理学の観点からは、感覚運動連関を用いて第3章から第7章で提案したRDWの手法について整理している。心理学の観点からは、RDWに対する順応や長期間の利用による副作用などについて議論を行っている。さらに第5章から第7章で提案したマルチモーダルRDW手法について、感覚の加減算・コンテキスト・適用可能なVR空間の大きさの観点から整理することで、提示するVR環境に応じた最適な手法の選択指針について述べている。

第9章「Conclusion」では、本論文における結論を述べ、さらに提案手法である個人の感覚系の特性と反応を考慮したRDW手法を応用することで期待されるVR分野での貢献と発展の可能性、心理学・生理学等他分野への波及効果について述べている。

以上の内容より、本論文は、RDWと個人の感覚系の特性・反応との関係を検証するとともに、多感覚を利用した新たなRDW手法の提案を行い、個人の感覚特性に応じて刺激の種類や強度を最適化することがRDWを利用したVR体験の設計に重要であることを明らかにしたものである。また、提案手法の情報理工学上の貢献に加えて、心理学的・生理学的展開についても議論を行い、学際的な貢献が示されている。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。