

電動車椅子とHMDを用いた 段差通過シミュレータの基礎検討

板床 海斗¹ 本岡 宏将² 大河原 巧² 杉本 隆星¹ 宮田 章裕^{1,a)}

概要: 車椅子に不慣れな人が車椅子に乗る感覚を事前に訓練できるように、Virtual Reality (以降 VR) を用いた車椅子シミュレータが数多く開発されてきた。しかし VR を用いた従来の車椅子シミュレータは、金銭的なコストと現実感がトレードオフの関係にあり、高い現実感を実現するためにはモーションプラットフォームなどの大型な設備を常設する必要があった。我々はこの問題を解決するために、市販電動車椅子の低自由度動作を Vection 誘発映像で補完する車椅子シミュレータを提案し、上り坂・下り坂を通過するシミュレーションを実現してきた。本稿では、坂と同程度以上の頻度で市街地に存在する段差に着目し、段差を通過するシミュレーションの実現方法の基礎検討を行う。

1. はじめに

車椅子に不慣れな車椅子ユーザはバリアを通過する際に恐怖や不安を感じることがある。このため、彼らが車椅子に乗り屋外を移動するときの不安を軽減することや、事前に訓練することを目的とした車椅子シミュレータが数多く開発されてきた。車椅子シミュレータの中でも VR を用いた車椅子シミュレータは、実際にバリアのある場所まで移動しなくても、VR 空間で車椅子操作の体験ができるメリットがある。しかし VR を用いた従来の車椅子シミュレータは、金銭的なコストと現実感がトレードオフの関係にあり、高い現実感を実現するためにはモーションプラットフォームなどの大型な設備を常設する必要があった。このことから我々は市販電動車椅子の低自由度動作を Vection 誘発映像で補完する車椅子シミュレータを提案してきた [1][2][3]。先行研究 [1][2] では電動車椅子が前後方向に傾く錯覚をユーザに与え、坂道を走行しているかのような感覚を与える方法を提案している。先行研究 [3] では電動車椅子の速度を変化させ平地を走行する際の移動距離を削減する方法を提案している。しかし、これらの先行研究では平地や坂道しか再現できておらず、他のバリアを再現することはできていなかった。そこで本稿ではこのシミュレータを用いて段差の通過を再現するための手法の基礎検討を行う。

2. 関連研究

本研究は VR を用いた車椅子シミュレータの事例と関係がある。VR を用いた車椅子シミュレータは、視覚のフィードバックのみを与えるものと視覚と動きの両方のフィードバックを与えるものが存在する [4][5]。

2.1 視覚のフィードバックのみを与えるもの

文献 [6] では車椅子の操作に不慣れな車椅子ユーザが車椅子を操作する技術を訓練するための、HMD (Head Mounted Display)、椅子、ジョイスティックで構成される車椅子シミュレータを提案している。このシミュレータはユーザが椅子に座り、ジョイスティックを操作することで HMD に表示される VR 空間にある車椅子を操作できる。

2.2 視覚と動きの両方のフィードバックを与えるもの

文献 [7] では、大型半球ディスプレイに現実空間を元に作成された VR 空間を表示し、その VR 空間上の車椅子の操作に合わせてモーションプラットフォームを動かすことで、車椅子がバリアを通過する感覚を与えている。文献 [8] では車椅子ユーザが日常的に通る斜面や段差などのバリア通過時の様子を体験することを目的とした車椅子シミュレータの開発が行われている。この車椅子シミュレータは、HMD に表示される VR 空間上の車椅子の操作に合わせてモーションプラットフォームを動かすことで、ユーザに車椅子でバリアを通過する際の感覚を与えている。また、文献 [9] では電動車椅子と HMD を用いた車椅子シミュレ

¹ 日本大学文理学部

² 日本大学大学院総合基礎科学研究科

^{a)} miyata.akihiro@acm.org

タと視覚フィードバックのみのシミュレータとの間でユーザの主観的評価に差が生まれるのか検証実験が行われ、前者の方がユーザに適切に評価されることが示された。

3. 研究課題

視覚のフィードバックのみを与えるシミュレータ [6] は典型的には既製品のみで構築できるため金銭的なコストは低いが、動きのフィードバックが無い場合、視覚と動きの両方のフィードバックを与えるシミュレータと比べ現実感が低い [9]。視覚と動きのフィードバックを与えるシミュレータ [7][8] は視覚のフィードバックのみを与えるシミュレータと比べて現実感が高いが、モーションプラットフォームなどの高額かつ大型設備の常設が必要になる。このように、関連研究で紹介した車椅子シミュレータは金銭的なコストと現実感がトレードオフの関係にある。

我々はこの問題を解決するため、低コストかつ小規模で再現可能である電動車椅子と HMD を用いたバリアシミュレータを提案してきた [1][2][3]。この車椅子シミュレータでは、ユーザが HMD を装着した状態で電動車椅子に乗ることでシミュレーションを行う。具体的にはユーザが車椅子に乗って走行しているかのような一人称視点の映像を HMD 上に流し、それと同時に電動車椅子が走行することで、視覚と前庭覚の両方の刺激によりシミュレーションを行っている。しかし、このシミュレータが現在再現できるバリアは坂道のみで、他のバリアを再現することはできていない。そこで我々は、次に再現すべきバリアとして、坂道と同程度以上の頻度で市街地に存在している段差に注目する。本稿では、我々が開発してきた Vection 誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータにおいて、ユーザが段差を通過している感覚をユーザに与えられるのかを明らかにすることを研究課題として設定する。

4. 提案手法

段差を通過する感覚を再現するための、(1) Vection 誘発映像、(2) 電動車椅子の動作について考える。(1) Vection 誘発映像については、先行研究 [1][2] から、HMD 上に車椅子でバリアを通過している一人称映像を流すことで、ユーザは目的のバリアに適した運動感覚を得られると考えられる。このため HMD 上の Vection 誘発映像はユーザが電動車椅子に乗り、現実空間の段差を通過する一人称視点の映像を流す。

(2) 電動車椅子の動作については、ユーザが電動車椅子に乗り段差を通過している感覚を与えるために、急停止により実現することとする。具体的には、実際の電動車椅子が段差にぶつかった際の振動とユーザの体が前に押し出される状況を再現するために、HMD 上の映像が段差通過す

るタイミングに合わせて、前進させていた電動車椅子を急停止させる。

5. 実装

本章では、研究課題を達成するための電動車椅子と HMD を用いて段差を通過する感覚を与えるシミュレータの実装について説明を行う。5.1 節では本研究の車椅子シミュレータについて説明を行い、5.2 節では実際の段差とシミュレーションの加速度の計測及び比較について説明を行う。

5.1 車椅子シミュレータの実装

本節では、本研究の電動車椅子と HMD を用いた車椅子シミュレータの実装について説明を行う。この車椅子シミュレータは密閉型 HMD、シングルボード コンピュータ (single-board computer, 以降 SBC)、電動車椅子を用いて作成する。ユーザは密閉型 HMD を装着した状態で電動車椅子に乗り、HMD 上の映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせてシミュレーションを体験する。まず HMD 上に表示する映像について説明を行う。シミュレーションを行う際は、ユーザが電動車椅子に乗り、現実空間上の段差を通過している一人称視点の映像を HMD 上で流す。次に電動車椅子の低自由度動作について説明を行う。本研究での車椅子シミュレーションにおける電動車椅子の動作は、HMD 上の段差を通過している際の映像に合わせて、前進と電動車椅子の急停止機能を組み合わせた動作を行う。また前進速度と急停止をするタイミングを指定し、その通り動くプログラムを作成する。このプログラムを用いて電動車椅子が前進中に急停止をすることでユーザに振動と体が前に押し出される感覚を与えられるようにする。そして電動車椅子を制御する SBC と HMD は Websocket で無線通信をし、電動車椅子の動作と HMD 上の映像の開始を連携するようにする。

5.2 シミュレーション中の加速度の計測

本節では、現実空間上の実際の段差の通過時と車椅子シミュレータを用いたシミュレーション時の加速度データの計測及び比較について説明を行う。電動車椅子に加速度センサを取り付け、電動車椅子で実際の段差を通過しているときとシミュレーション時それぞれの 3 方向の加速度を取得する。実際に段差を通過した際の加速度変化を図 1、そのシーンのシミュレーションしている際の加速度変化を図 2 に示す。

5.3 加速度についての考察

実際の段差を電動車椅子が通過する時の加速度の大きさのグラフ (図 1) と前進運動と急停止を組み合わせたシミュレーション中の加速度の大きさのグラフ (図 2) を比較すると、一部似たような波形を得ることができた。特に実際

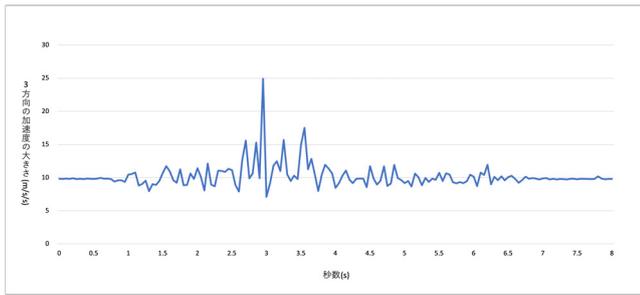


図 1 実際の段差を電動車椅子が通過する時の加速度の大きさ

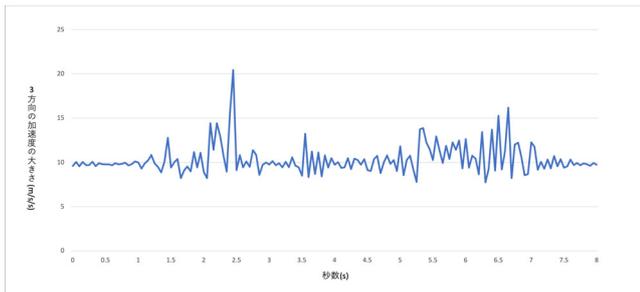


図 2 シミュレーション中の加速度の大きさ

の段差を電動車椅子が通過する時の加速度の大きさのグラフ(図1)の段差に前輪がぶつかる2.5秒付近から3.5秒付近の波形とシミュレーション中の加速度の大きさのグラフ(図2)のシミュレータが急停止をする2秒付近から3秒付近までの波形は類似している。このことから我々の車椅子シミュレータは前進と電動車椅子の急停止機能を組み合わせることで、ユーザーに適切な段差を超えるときのような振動・身体が前に押し出される感覚を提示できる可能性が示唆された。ただし、実際の段差を電動車椅子が通過する時の加速度の大きさのグラフ(図1)の最大の加速度の大きさは3秒付近の $25m/s^2$ で、シミュレーション中の加速度の大きさのグラフ(図2)の最大の加速度の大きさは2.5秒付近の $20m/s^2$ であることが分かる。この加速度の大きさの差によってユーザーが感じる振動などの大きさに違いがあるのか、またユーザーが電動車椅子に乗り加速度を計測しても同じ結果を得ることができるのかを今後検証していく予定である。

6. おわりに

本稿では、Vection誘発映像と電動車椅子の低自由度動作を組み合わせた車椅子シミュレータを用いて段差を通過する感覚を与える方法を提案した。今後は提案手法を用いてユーザーに段差を通過する感覚を与えられるかを検証していく予定である。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP19H04160の助成を受けて行われた。

参考文献

- [1] Akihiro Miyata, Kousuke Motooka, and Kenro Go: A Wheelchair Simulator Using Limited-Motion Patterns and Vection-Inducing Movies. Proc. 31st Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI '19), pp.508–512 (2019).
- [2] 本岡宏将, 呉健朗, 大和佑輝, 宮田章裕: Vection 誘発映像と前進動作による坂道シミュレーション. 情報処理学会論文誌, Vol.61, No.1, pp.61–69 (2020).
- [3] Kousuke Motooka, Takumi Okawara, Yuki Yamato, and Akihiro Miyata: Real-world Distance Reduction in a Virtual Reality-based Wheelchair Simulation on Flat Surfaces. Lecture Notes in Computer Science, Vol.12769, pp.438–448 (2021).
- [4] Thomas Pithon, Tamar Weiss, Simon Richir, and Evelyne Klinger. Wheelchair Simulators: A Review. Technology and Disability, Vol.21, Issue 1-2, pp.1–10 (2009).
- [5] Patrick Abellard, Iadalarivola Randria, Alexandre Abellard, Mohamed Moncef Ben Khelifa, and Pascal Ramanantsizehena: Electric Wheelchair Navigation Simulators: Why, When, How? Mechatronic Systems Applications, pp.161–186 (2010).
- [6] Yuri Silva, Walter Simoes, Mauro Tefilo, Eduardo Naves, and Vicente Lucena : Training Environment for Electric Powered Wheelchairs Using Teleoperation Through a Head Mounted Display. Proc. 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE '18), pp.1–2 (2018).
- [7] Hafid Niniss and Takenobu Inoue: Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability. Proc. Symposium on Virtual Reality VIII (2006).
- [8] Carmen Fernandez Panadero, Valentin de la Cruz Barquero, Carlos Delgado-Kloos, and David Moran Nunez: PhyMEL-WS: Physically Experiencing the Virtual World. Insights into Mixed Reality and Flow State on Board a Wheelchair Simulator. Jnl. Universal Computer Science, Vol.20, No.12, pp.16290–1648 (2014).
- [9] Hiroshi Yoshitake, Kazuto Futawatari, and Motoki Shino: A VR-Based Simulator Using Motion Feedback of a Real Powered Wheelchair for Evaluation of Autonomous Navigation Systems. Proc. 13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '21), pp.26–29 (2021).