

電動車椅子とHMDを用いた バリアシミュレーションの検討

本岡 宏将¹ 呉 健朗² 宇野 広伸¹ 樋口 恭佑¹ 宮田 章裕^{1,a)}

概要：従来のVR車椅子シミュレータは、視覚と動きのフィードバックの両方を低コストで提示することが難しかった。この問題を解決するために、我々は、HMD上の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バリアシミュレータを提案してきたが、シミュレーションを行う際、映像上の電動車椅子が進む距離と同じスペースを現実空間で確保する必要があった。本稿では、シミュレーションを行う際に必要なスペースを縮小する実装を行ったことについて報告する。

1. はじめに

リハビリテーションなどを目的としてVRベースの車椅子シミュレータが開発されてきた。VRベースのアプローチは、物理的な車椅子用コースを構築しなくて済むという長所がある。しかし、従来のシミュレータは、コストと現実感がトレードオフの関係にある。視覚フィードバックのみを提示するシミュレータは、低コストで構築できるが、ユーザに動きのフィードバックを与えられず現実感に乏しい。一方で、視覚・動きのフィードバックを提示するシミュレータは、ユーザに高い現実感を与えられるが、高額な装置が必要になる。

この問題を解決するために、我々は、電動車椅子の低自由度動作と、自己動作感覚を誘発する映像を同時に提示することで、高い現実感を得られる車椅子シミュレータを提案してきた[1][2][3][4]。しかし、従来のシミュレータでは、シミュレーションを行う際、映像上の電動車椅子が進む距離と同じスペースを現実空間で確保する必要があり、ユーザに負担がかかる。

本稿では、我々が提案してきたシミュレータを、小さいスペースで利用できるような実装を行ったことについて報告する。

2. 関連研究

VRベースの車椅子シミュレータは、視覚フィードバックのみを提示するものと、視覚フィードバックと動きのフィードバックの両方を提示するものの2種類に大別でき

る[5][6]。

2.1 視覚フィードバックのみを提示する事例

視覚フィードバックのみを提示するシミュレータの長所は、システム構造がシンプルであるという点である。典型的な構成要素は、椅子、ディスプレイ、ジョイスティックである。ユーザは椅子に座り、ジョイスティックを操作してディスプレイ上に表示されるVR空間を移動する[7][8][9][10][11]。

2.2 視覚フィードバックと動きのフィードバックの両方を提示している事例

現実世界では、車椅子ユーザは加減速や坂の上り・下りを行う。この観点から、視覚だけでなく動きのフィードバックを行うシミュレータの方が、ユーザによりリッチな体験を提示できると言える。一般的に、車椅子シミュレータにおいて動きのフィードバックを提示するためには、6自由度で天板（ユーザが乗る台）を制御するStewart platform[12]が用いられる。事例としては、このプラットフォームとHMDを用いるもの[13]、大型半球ディスプレイを用いるもの[14]がある。

3. 本研究のベースとなるシステム

2章で紹介した既存研究は、コストと現実感がトレードオフの関係にある。視覚フィードバックのみを提示するシミュレータは、PCディスプレイやHMDなどの低コスト機器で構築できるが、ユーザに動きのフィードバックを与えられず現実感に乏しい。一方で、視覚・動きのフィードバックを提示するシミュレータは、ユーザに高い現実感を

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

与えられるが、モーションプラットフォームなどの高額な装置が必要になる。すなわち、従来手法の問題点は、視覚と動きのフィードバックを低コストで提示できないことである。

この問題を解決するために、我々は、(1) 低コストかつコンピュータ制御可能な電動車椅子と、(2) 視覚誘導性の自己動作感覚に着目した。(1) について、低コストかつコンピュータ制御可能な電動車椅子が市場に出回り始めている。例えば、WHILL 社の製品 [15] は欧米・日本で 1,000 台以上の売り上げを達成している。この製品はシリアルケーブルか無線で接続した外部コンピュータから制御が可能である。このような電動車椅子を用いることで、高額なモーションプラットフォームを使わなくても、動きには多少制限があるが（例：車椅子は自身で傾くことはできない）ユーザに高い現実感を提示できる可能性がある。(2) について、視覚誘導性の自己動作感覚により現実感を高められる可能性がある。この感覚は Vection と呼ばれ、歴史的には静止したユーザが特定の視覚効果を受けることで身体が動いているように感じる感覚 [16] のことであったが、近年では複数感覚刺激により誘発される自己動作感覚を総じて Vection と呼ぶ動き [17] もある。関連して、視覚と前庭感覚への複合刺激が自己動作感覚を強化するという報告 [18][19][20] もある。ここから、視覚と前庭感覚に同時刺激を行うことで、電動車椅子の限られた動きを、ユーザにはより多様な動きに感じさせられる可能性が示唆される。

(1)(2) に基づき、我々は、電動車椅子の低自由度動作を HMD 上に表示する Vection 誘発映像で拡張するバリアシミュレータを提案してきた [1][2][3][4]。このシステムでは、HMD 上の映像と電動車椅子の動作がシナリオに沿って連動する。電動車椅子が実際にはできない動作をしているかのように、映像が変化する。例えば、シミュレータが平地から上り坂にさしかかるシーンを再現するとき、電動車椅子は等速運動に続いて減速運動を行う。一方、HMD は平地から上り坂に移動する映像を表示する。これにより、Vection が生じ、電動車椅子は実際には傾斜などを行っていないが、まるで坂を上り始めたかのような自己身体感覚をユーザに与えられることが期待できる。

4. 研究課題

3 章で述べた我々の従来手法 [1][2][3][4] ではシミュレーションを行う際、映像上で電動車椅子が進む距離と同じスペースを現実空間で確保する必要があった。しかし、シミュレーションを行う際、実際のバリアを通過するときと同じスペースを確保することは、ユーザにとって負担である。

以上のことから本稿では、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バリアシミュレータを、小さいスペースで利用できるようにすることを研究課

題として設定する。

5. 提案方式

歴史的には、没入仮想空間を構築する際は、仮想空間と同じ広さのスペースを現実空間にも用意する必要があった。しかし、近年、仮想空間の再現に必要な現実空間スペースを圧縮する Redirect walking (RDW) が提案され [21]、RDW の効果を生じる条件の検証 [22] や、RDW を活用したエンターテインメントシステム [23] が提案されている。RDW とは、“音声と視点に一貫性のある映像をユーザに見せると、脳は自分が映像と同じように動いたと解釈する”という原理を用いて、現実空間スペースが仮想空間の再現に必要なスペースより小さくても、ユーザが仮想空間と同じ大きさのスペースを歩いたと感じさせる手法である。

以上に基づき、我々は、電動車椅子の低自由度動作を HMD 上に表示する Vection 誘発映像と、RDW の原理を用いた VR バリアシミュレータを提案する。

6. 実装

本稿では、映像内と現実世界で電動車椅子を動かす距離を変えた場合、どの程度の差であればユーザが気付かないのかを検証をするための実装を行う。具体的には、電動車椅子の速度を映像上よりも遅くする場合と、電動車椅子の速度を映像上と同じ速度から徐々に遅くする場合の 2 つの実装を行う。

共通の実装について説明する。我々のシミュレータは、光学シースルー HMD(optical see-through HMD, 以降 OST-HMD)、シングルボードコンピュータ (single-board computer, 以降 SBC)、電動車椅子からなる。ユーザがシミュレータ使用時に現実オブジェクトに気付かずに衝突しないよう、HMD は不透明型ではなく光学シースルー型を利用した。ユーザは OST-HMD を着用し、電動車椅子に座る。SBC は電動車椅子の荷物入れに格納してある。ユーザは OST-HMD を用いて自身でシミュレーションを開始できる。

電動車椅子の速度を映像上よりも遅くする場合の電動車椅子の動作について説明する。電動車椅子は、映像上の車椅子の走行速度より遅い速度で走行する。

電動車椅子の速度を徐々に遅くする場合の電動車椅子の動作について説明する。電動車椅子は、映像上の車椅子の走行速度と同じ速度から、徐々に速度を落としてながら走行する。

7. おわりに

本稿では、Vection 誘発映像と低自由度動作を複合提示する車椅子シミュレータを小さいスペースで利用できるように実装を行ったことについて報告した。今後は、今回行った実装方法で電動車椅子が移動する距離が映像上の電

動車椅子が進む距離より小さくても、ユーザが映像上と同じ距離を進んだかのような感覚を得ることができるかどうか検証を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 宇野 広伸他: 電動車椅子を用いたバリアシミュレーションシステムの基礎検討. 情報処理学会 DICO2018 論文集, Vol.2018, pp.421-426(2018).
- [2] 宮田 章裕他: Vection 誘発映像と低自由度動作による VR バリアシミュレーションの映像提示方式の比較. 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報, Vol.23, No.CS-3, pp.25-30 (2018).
- [3] Miyata et al.: Study on VR-Based Wheelchair Simulator Using Vection-Inducing Movies and Limited-Motion Patterns. Proc. VRST 2018 (2018).
- [4] 呉 健朗他: Vection 誘発映像による凹凸バリアシミュレータの基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会 VR 学研報, Vol.23, No. CS-4, pp.3-6 (2018).
- [5] Pithon et al.: Wheelchair Simulators: A Review. Technology and Disability, Vol.21, Issue 1-2, pp.1-10 (2009).
- [6] Abellard et al.: Electric Wheelchair Navigation Simulators: Why, When, How? Mechatronic Systems Applications, pp.161-186 (2010).
- [7] 陳 連怡他: 仮想空間内車椅子訓練システムにおける操作感覚の実現と情報支援, 日本機械学会 論文集 (C 編), Vol.72, No.718, pp.1891-1899 (2006).
- [8] Carmen Fernández Panadero et al: PhyMEL-WS: Physically Experiencing the Virtual World. Insights into Mixed Reality and Flow State on Board a Wheelchair Simulator, Journal of Universal Computer Science, Vol. 20, No. 12, pp. 1629-1648 (2014).
- [9] Desbonnet et al.: Development and Evaluation of a Virtual Reality based Training System for Disabled Children. Proc. ICDVRAT 1998, pp.177-182 (1998).
- [10] Headleand et al.: A Cost-effective Virtual Environment for Simulating and Training Powered Wheelchairs Manoeuvres. Studies in Health Technology and Informatics, 220, pp.134-141 (2016).
- [11] Silva et al.: Training Environment for Electric Powered Wheelchairs Using Teleoperation Through a Head Mounted Display. Proc. ICCE 2018 (2018).
- [12] Stewart: A Platform with Six Degrees of Freedom. Proc. the UK Institution of Mechanical Engineers, Vol.180, No.1, pp.371-386 (1965).
- [13] Sonar et al.: Development of a Virtual Reality-based Power Wheel Chair Simulator. Proc. ICMA 2005, pp.222-229 (2005).
- [14] Niniss et al.: Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability. Proc. SVR 2006 (2006).
- [15] WHILL. <http://whill.us> (last visited on 2018/12/18).
- [16] Dichgans et al.: Visual-vestibular Interaction: Effects on Self-motion Perception and Postural Control. Handbook of Sensory Physiology, Vol.8, pp.755-804 (1978).
- [17] Palmisano et al.: Future Challenges for Vection Research: Definitions, Functional Significance, Measures, and Neural Bases. Frontiers in Psychology, Vol.6, No.193, pp.1-15 (2015).
- [18] 鈴木亮太他: ベクションを用いたパーソナルモビリティの誘導. インタラクション 2017, 論文集, Vol.2017, pp.122-126 (2017).
- [19] Lawson et al.: User Requirements for Perceiving Body Acceleration. Handbook of Virtual Environments, Chapter 7, pp.135-162 (2002).
- [20] Riecke et al.: Visually Induced Linear Vection is Enhanced by Small Physical Accelerations. Proc. IMRF 2006 (2006).
- [21] Razzaque et al.: Redirected Walking. Eurographics 2001, Vol.9, pp.105-106 (2001).
- [22] Steinicke et al.: Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques. IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, Vol.16, No.1, pp.17-27 (2010).
- [23] Matsumoto et al: Unlimited Corridor: Redirected Walking Techniques Using Visuo-Haptic Interaction. SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies (2016).