VR バリアシミュレータのための オーサリングツールの基礎検討

令和2年度 卒業論文

日本大学 文理学部 情報科学科 宮田研究室

大河原 巧

概要

車椅子に不慣れな車椅子ユーザは多くの場合屋外を移動することに不安を感じ、特に坂道などのバリアを通過する際には恐怖を感じることもある。このため、彼らが車椅子に乗る感覚に慣れることなどを目的としてVRベースの車椅子シミュレータが数多く開発されてきた。しかし、既存のVRベースの車椅子シミュレータは、金銭的なコストと臨場感がトレードオフの関係にあった。そこで先行研究では、金銭的コストが低く臨場感が高い車椅子シミュレータを実現するために、HMDと電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの提案を行ってきた。この車椅子シミュレータを用いてシミュレーションを行うには、ユーザがHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成する必要があるため、高い作業コストがかかるという問題がある。この問題を解決するために、HMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオを容易に作成できるツールを作成することを提案する。本稿の貢献は、HMDと電動車椅子を用いた車椅子シミュレータにおいて、ユーザがシミュレーションを行うときの作業コストを低くするためのツールの提案を行ったことである。

目 次

| 第1章 | 序論 | 1 | | | |
|----------|--|----|--|--|--|
| 1.1 | 研究の背景 | 2 | | | |
| 1.2 | 研究の目的 | 2 | | | |
| 1.3 | 本論文の構成 | 2 | | | |
| 第2章 | VR ベースの車椅子シミュレータの研究事例・ | | | | |
| | VR 空間のオーサリングツールの研究事例 | 3 | | | |
| 2.1 | VR ベースの車椅子シミュレータの研究事例 | 4 | | | |
| | 2.1.1 視覚と動きの両方のフィードバックを与える | | | | |
| | 車椅子シミュレータに関する研究事例 | 4 | | | |
| | 2.1.2 視覚のフィードバックのみを与える | | | | |
| | 車椅子シミュレータに関する研究事例 | 5 | | | |
| 2.2 | VR 空間のオーサリングツールの研究事例 | 5 | | | |
| 第3章 | 研究課題 | 7 | | | |
| 3.1 | 問題の定義・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | 8 | | | |
| 3.2 | 研究課題の設定 | 9 | | | |
| 第4章 | 章 $ m VR$ バリアシミュレータのためのオーサリングツールの提案 $ m 1$ | | | | |
| 第5章 | 車椅子シミュレータとオーサリングツールの実装 | 12 | | | |
| 5.1 | 先行研究の車椅子シミュレータの実装 | 13 | | | |
| 5.2 | ツールの実装 | 14 | | | |
| | 5.2.1 バリア選択画面 | 14 | | | |
| | 5.2.2 コース詳細設定画面 | 15 | | | |
| | 5.2.3 プレビュー画面 | 15 | | | |
| | 5.2.4 シミュレーション画面 | 15 | | | |
| 第6章 | 結論 | 18 | | | |
| 謝辞 | | 20 | | | |
| <u> </u> | | | | | |

研究業績 25

図目次

| 4.1 | 本システムの構成図 | 11 |
|-----|--------------------------------|----|
| 5.1 | HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの外観 | 13 |
| 5.2 | バリア選択画面 | 14 |
| 5.3 | コース詳細設定画面 | 15 |
| 5.4 | 上り坂を再現したコースを表示したプレビュー画面 | 16 |
| 5.5 | 下り坂を再現したコースを表示したプレビュー画面 | 16 |
| 5.6 | 左方向に傾斜のある道を再現したコースを表示したプレビュー画面 | 16 |
| 5.7 | 右方向に傾斜のある道を再現したコースを表示したプレビュー画面 | 16 |
| 5.8 | シミュレーション画面 | 17 |
| | | |

表目次

| 5.1 | /ミュレータに用いたデバイスの名称 | | 14 |
|-----|-------------------|--|----|
|-----|-------------------|--|----|

第1章 序論

第1章 序論 2

1.1 研究の背景

車椅子に不慣れな車椅子ユーザは多くの場合屋外を移動することに不安を感じ、特に坂道などのバリアを通過する際には恐怖を感じることもある。このため、彼らが手軽かつ安全に車椅子に乗る感覚に慣れることなど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たり、バリアを模した練習用のコースを作成したりする必要が無くなるというメリットがある。しかし、VRを用いた従来の車椅子シミュレータは、金銭的なコストと臨場感がトレードオフの関係にあった。これをふまえ、先行研究[1][2][3]ではHMDと電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの提案が行われている。この車椅子シミュレータは金銭的なコストが低く、臨場感が高いという特徴がある。この車椅子シミュレータを用いてユーザが坂道などのバリア通過を通過するときの感覚を体感するためには、そのバリアに合わせたHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオを手動で作成しなければいけない。そのため、この車椅子シミュレータにはユーザがシミュレーションを行うときの作業コストが高いという問題がある。

1.2 研究の目的

1.1節で述べた問題は、ユーザがシミュレーション時のHMD上の映像を作成するときの作業コストと、電動車椅子の動作シナリオを作成するときの作業コストの両方を低くすることで解決されると考えられる。しかし、既存の手法ではこれらの課題の達成を両立することができない。そこで本稿では、ユーザがこの車椅子シミュレータを用いてシミュレーションを行うときの作業コストを低くするために、ユーザが体感したいバリアに合わせてHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオを容易に作成できるツールの提案を行う。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のとおりである.

2章では、VRベースの車椅子シミュレータの研究事例・VR空間のオーサリングツールの研究事例について述べる。3章では、既存の手法で生じる問題を説明し、それをふまえた上で本研究における課題を設定する。4章では、3章で設定した研究課題を達成するために、オーサリングツールの提案を行う。5章では、オーサリングツールの概要およびその実装について述べる。最後に6章では、本論文の結論を述べる。

第2章 VRベースの車椅子シミュレータ の研究事例・VR空間のオーサリ ングツールの研究事例 第2章 関連研究 4

本章では、本研究における車椅子シミュレータのために参考にした VR ベースの車椅子シミュレータの研究事例と、本研究におけるオーサリングツールのために参考にした VR 空間のオーサリングツールの研究事例について述べる。2.1 節では、VR ベースの車椅子シミュレータに関する研究事例について紹介する。2.2 節では、VR 空間のオーサリングツールの研究事例について紹介する。

2.1 VRベースの車椅子シミュレータの研究事例

本節では、VR ベースの車椅子シミュレータの研究事例について述べる。VR ベースの車椅子シミュレータは、視覚と動きの両方のフィードバックを与えるものと視覚のフィードバックのみを与えるものの 2 種類に大別できる [4][5].

2.1.1 視覚と動きの両方のフィードバックを与える車椅子シミュレータ に関する研究事例

視覚と動きの両方のフィードバックを与える車椅子シミュレータが数多く開発されている. 視覚と動きの両方のフィードバックを与える車椅子シミュレータには、HMD とモーションプラットフォームを組み合わせたものが多い.

文献 [6][7][8] では、HMD とモーションプラットフォームを用いた車椅子シミュレータの開発が行われている。これらのシミュレータは、ユーザが装着した HMD 上に VR 空間上のコースを映し出すことによってシミュレーションを行っている。また、シミュレーションの状況に合わせてモーションプラットフォームが動作することによって、車椅子が振動したり傾いたりする感覚をユーザに与えている。文献 [6] では 6 自由度で天板を制御するモーションプラットフォーム (Stewart platform [9]) を用いて車椅子シミュレータの実装がされている。文献 [7][8] のシミュレータの実装は、文献 [6] と同様のアプローチをとっているが、モーションプラットフォームの天板の自由度がそれぞれ 4 自由度、3 自由度という点で異なる。

文献 [10] では大型の半球ディスプレイとモーションプラットフォームを用いた車椅子シミュレータの開発が行われている。このシミュレータでは、モーションプラットフォームに Stewart platform [9] を用いている。このシミュレータは、大型の半球ディスプレイに VR 空間上のコースを映し出すことによってシミュレーションを行っている。また、シミュレーションの状況に合わせてモーションプラットフォームが動作することによって、車椅子が振動したり傾いたりする感覚をユーザに与えている。

文献 [11] では HMD と固定された手動車椅子を用いた車椅子シミュレータの開発が行われている. このシミュレータは, ユーザが装着した HMD 上に VR 空間上のコースを映し出すことによってシミュレーションを行っている. ユーザは実世界の手動車椅子のハンドリムを操作することで, VR 空間上の車椅子を操作できる. また, シミュレーションの状

第2章 関連研究 5

況に合わせて車輪をモータで回転させることで,斜面や小さな段差で手動の車椅子を操作 しているかのような感覚をユーザに与えている.

2.1.2 視覚のフィードバックのみを与える車椅子シミュレータに関する 研究事例

視覚のフィードバックのみを与える車椅子シミュレータが数多く開発されている. 視覚のフィードバックのみを与える車椅子シミュレータには、HMDやディスプレイを用いてユーザに視覚情報を提示しているものが多い.

文献 [12][13][14] ではディスプレイを用いた車椅子シミュレータの開発が行われている. これらのシミュレータにおいて,ユーザはディスプレイに表示された VR 空間上で車椅子を操作することによってシミュレーションを行う. 文献 [12][13] では障害を持つ子供が車椅子の操作に慣れるためのシミュレータの開発が行われている. 文献 [14] では車椅子シミュレータがユーザに与える影響の調査が行われている.

文献 [15][16][17] では HMD を用いた車椅子シミュレータの開発が行われている. これらのシミュレータにおいて、ユーザは HMD に表示された VR 空間上で車椅子を操作することによってシミュレーションを行う. 文献 [15][16] では車椅子の操作に慣れていない人が車椅子の操作に慣れ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. 文献 [17] では車椅子シミュレータにおける VR 酔いの発生のしやすさについて調査をおこなっている.

文献 [18] では、車椅子シミュレータにおいて視覚フィードバックを与えるデバイスの比較が行われている。視覚フィードバックを与えるデバイスの比較を行うために、HMD、ディスプレイ、プロジェクターについて、それぞれのデバイスを用いた車椅子シミュレータを作成している。

2.2 VR空間のオーサリングツールの研究事例

3D オブジェクトを作成することを目的としたツールの提案がされている [19][20][21]. 文献 [19] ではプログラミングの知識がなくとも容易に 3D オブジェクトを作成できるツールの開発が行われている. ユーザはこのツールを用いることで 3D オブジェクトのモデリングや,3D オブジェクトの動作を設定できる. Since8 0 World Up[20] は 3D オブジェクトを容易に作成できるツールである. ユーザはこのツールを用いて 3D オブジェクトを作成できるほか,作成した 3D オブジェクトに簡単な動きを容易に設定できる. Carnegie Mellon University 0 Alice[21] は 3D オブジェクトを容易に作成できるツールである. ユーザはこのツールを用いて 3D オブジェクトを作成できるほか,プログラムを用いて 3D オブジェクトに動きを設定できる.

3D オブジェクトを VR 空間上に配置することや,3D オブジェクトの VR 空間上の振る舞いを設定することを目的としたツールの提案がされている [22][23][24]. 文献 [22][23] で

第2章 関連研究 6

は 3D オブジェクトを VR 空間上に容易に配置できるようにするためのツールの開発が行われている. ユーザはこれらのツールを用いることで VR 空間上への 3D オブジェクトの配置をインタラクティブに行う事ができる. 文献 [24] では 3D オブジェクトの VR 空間上での動きを容易に設定できるようなツールの開発が行われている. ユーザはこのツールを用いることで 3D オブジェクトの動作を設定できる.

ユーザが VR 空間を構築するために,実空間をスキャンするアプローチの提案がされている [25][26][27][28]. 文献 [25][26][27] では実空間をスキャンすることで,VR 空間を自動で作成するツールの開発が行われている.ユーザは実空間を歩行することで,作成された VR 空間上を移動できる.ユーザはこれらのツールを用いることで,実空間の広さや形状に合わせた VR 空間を作成できる.文献 [28] ではユーザの動きに合わせて実空間をリアルタイムにスキャンすることで,VR 空間を自動で作成するツールの開発が行われている.ユーザは実空間を歩行することで,UR 空間を自動で作成された VR 空間上を移動できる.ユーザはこのツールを用いることで,人などの動的な障害物に衝突することなく VR 空間上を移動できる.

第3章 研究課題

第3章 研究課題 8

3.1 問題の定義

車椅子に乗った状態でバリアを通過するときの感覚を体感するために、VRベースの車 椅子シミュレータが数多く開発されてきた、視覚と動きの両方のフィードバックを与え る車椅子シミュレータは臨場感が高いが、金銭的コストも高い. 文献 [6][7][8][10][11] で用 いられている車椅子シミュレータは、モーションプラットフォームなどの専用装置が必要 であるため、金銭的コストが高い、これらのアプローチではシミュレーションに合わせて モーションプラットフォームが動作することにより、ユーザに高い臨場感を与えている. 視覚のフィードバックのみを与える車椅子シミュレータは金銭的コストが低いが,臨場感 も低い. 文献 [12][13][15][16][17][18] で用いられている車椅子シミュレータは, 既製品のみ で構築することができるため,金銭的コストが低い.これらのシミュレータはシミュレー ション時のフィードバックが視覚情報のみであるため、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て臨場感が低い.このように、VR ベースの車椅子シミュ レータは金銭的コストと臨場感がトレードオフの関係にある. この問題を解決するため に, 先行研究 [1][2][3] では HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの提案がされ ている.この車椅子シミュレータは、車椅子に乗っている視点からの風景 CG を表示する HMDと,外部接続した PC からシリアル通信で速度・進行方向を制御できる電動車椅子 からなる. 以降, 電動車椅子の速度・進行方向を時系列に沿って定義したものを動作シナ リオと定義する.

この車椅子シミュレータにおいて、HMD上の映像を作成するために VR空間上にコースを作成するアプローチをとっている。これを実現する手段として、3Dオブジェクトを VR空間上に配置する方法や、実空間をスキャンする方法が考えられる。3Dオブジェクトを VR空間上に配置する方法 [19][20][21][22][23][24] はユーザが自由にコースを作成することができるが、ユーザが体感したいバリアに合わせて適切なコースを手動で作成する必要があり、高い作業コストがかかってしまう。実空間をスキャンする方法 [25][26][27][28] は VR空間を自動的に構築できるため、低い作業コストでコースを作成することができる。しかし、コースの形状は実空間に依存するため、ユーザが体感したいバリアに合わせた適切なコースを作成することは困難である。このように、ユーザが体感したいバリアに合わせたコースを低い作業コストで VR空間上に作成するツールは存在しない。また、この車椅子シミュレータにおいて電動車椅子の動作シナリオを作成するためには、HMD上の映像を参照する必要がある。しかし、HMD上の映像をもとに、この車椅子シミュレータにおける電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成するツールは存在しない。

車椅子ユーザが屋外を移動する際に遭遇するバリアは坂道や左右方向に傾斜のある道など様々な種類がある。また、同じ種類のバリアでも、傾斜の角度や道幅などのバリアの特徴の違いにより、ユーザがバリアを通過する際に受ける感覚は様々である。先行研究では、坂道のシミュレーションと左右方向に傾斜のある道のシミュレーションについて検討が行われている。しかし、種類や特徴の異なる様々なバリアのシミュレーションを行うためには、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成する必要があり、高い作業コストがかかってしまう。

第3章 研究課題 9

上記より、この車椅子シミュレータにおける問題は次のように定義できる.

問題: HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータにおいてシミュレーションを行う際のユーザの作業コストが高いこと.

3.2 研究課題の設定

3.1 節で定義した問題は、ユーザがシミュレーション時の HMD 上の映像を作成するときの作業コストと、電動車椅子の動作シナリオを作成するときの作業コストが高いことによるものである。そこで、本研究では HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成するときの作業コストを低くすることを研究課題として設定する。

第4章 **VR**バリアシミュレータのための オーサリングツールの提案

本研究の車椅子シミュレータを用いてユーザがシミュレーションを行うためには、ユーザが体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを作成する必要があり、高い作業コストがかかってしまう。そこで本研究では、この車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせた HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを容易に作成できるオーサリングツールを作成することで、ユーザがシミュレーションを行う際の作業コストを抑えられると考える。

本システムの構成図を図 4.1 に示す. ユーザは HMD 上でオーサリングツールを操作し、体感したいバリアを選択する. オーサリングツールは、ユーザの体感したいバリアに合わせて HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成する.

上記より、本稿ではこの車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせた HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを容易に作成できるオーサリングツールを提案する.

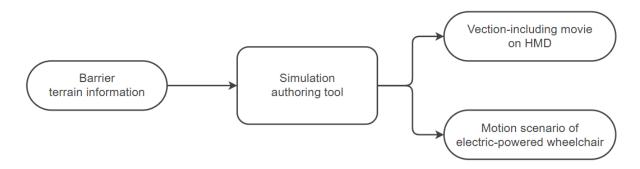


図 4.1: 本システムの構成図

第5章 車椅子シミュレータと オーサリングツールの実装

本章では、本研究の車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせた HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールの実装について説明を行う. ツールの実装についての説明を行う上で必要となる、本研究の車椅子シミュレータの実装についても説明を行う. 5.1 節では本研究の車椅子シミュレータの実装について説明を行い、5.2 節ではツールの実装について説明を行う.

5.1 先行研究の車椅子シミュレータの実装

シミュレータの外観を図 5.1 に示す。このシミュレータは、非透過型 HMD、シングルボードコンピュータ (以降 SBC)、電動車椅子からなる。シミュレータに使用したデバイスの名称を表 5.1 に示す。この車椅子シミュレータにおいて、ユーザは HMD を装着した状態で電動車椅子に乗る。この車椅子シミュレータは、HMD 上の映像と、電動車椅子の動作を適切に組み合わせることでシミュレーションを行う。

まず、HMD上の映像について説明を行う.シミュレーションを行う前に、ユーザは VR 空間上にバリアを模したコースを作成する.シミュレーションを行う際には、ユーザが車椅子に乗った状態で VR 空間上のコースを通過しているかのような一人称視点の映像をHMD上に流す.

次に、電動車椅子の動作について説明を行う。本研究の車椅子シミュレータにおける電動車椅子の動作は、坂道を通過するシミュレーションと、左右方向に傾斜のある道を通過するシミュレーションについて提案が行われている [1][2][3]. 坂道を通過するシミュレーションの際には、HMD 上の映像に合わせて電動車椅子が速度の変化を行いながら直線運動を行う [1][2]. 左右方向に傾斜のある道を通過するシミュレーションの際には、HMD 上の映像に合わせて電動車椅子が円運動を行う [3].

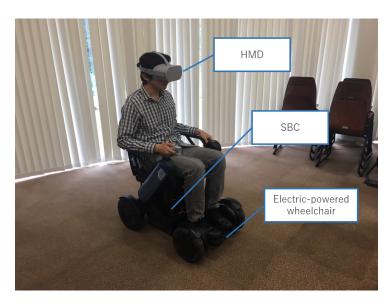


図 5.1: HMD と電動車椅子を用いた車椅子シミュレータの外観

| デバイス | 名称 |
|-------|----------------|
| HMD | Oculus Go |
| SBC | Raspberry Pi3 |
| 電動車椅子 | WHILL Model-CR |

表 5.1: シミュレータに用いたデバイスの名称

5.2 ツールの実装

本節では、本研究の車椅子シミュレータにおいて、ユーザが体感したいバリアに合わせた HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成できるツールの実装について説明を行う。ツールの実装には Unity[29] を用いる。ツールには、4 つの画面 (バリア選択画面・コース詳細設定画面・プレビュー画面・シミュレーション画面) を実装する。バリア選択画面は、ユーザが体感したいバリアの種類を大まかに選択する画面である。コース詳細設定画面は、ユーザがシミュレーションに用いる VR 空間上のコースの細かな設定を行う画面である。プレビュー画面は、自動で VR 空間上に作成されたコースを、ユーザが俯瞰で見ることができる画面である。シミュレーション画面は、ユーザがシミュレーションを行う画面である。次に、各画面についての詳細な説明を行う。

5.2.1 バリア選択画面

図 5.2 にバリア選択画面を示す. この画面では、ユーザが坂道のシミュレーションと左右方向に傾斜のある道のシミュレーションのどちらを行うかを選ぶ.

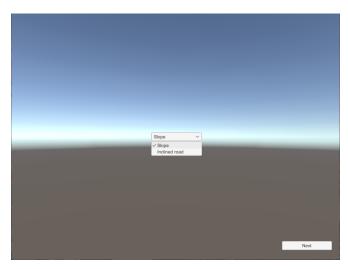


図 5.2: バリア選択画面

5.2.2 コース詳細設定画面

図5.3にコース詳細設定画面を示す.この画面では、ユーザがシミュレーションに用いる VR 空間上のコースの細かな設定を行う.具体的には、ユーザがバリア選択画面で坂道のシミュレーションを選んだ場合は、上り坂と下り坂のどちらのシミュレーションを行うか選択し、その坂の傾斜の角度を設定をする.ユーザがバリア選択画面で左右方向に傾斜のある道のシミュレーションを選んだ場合は、その道が左右どちらの方向に傾いているのかを選択し、その道の傾斜の角度を設定をする.また、ユーザはコースの道幅や、コースの長さについても設定を行う.

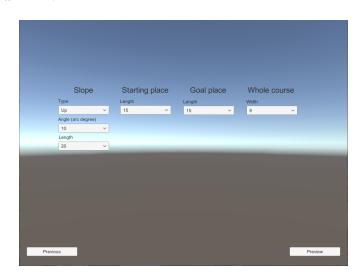


図 5.3: コース詳細設定画面

5.2.3 プレビュー画面

この画面では、ユーザがバリア選択画面とコース詳細設定画面で行った設定をもとに、ツールが自動的に VR 空間上にコースを作成する. ユーザは作成されたコースを俯瞰で見ることができる. 坂道を再現したコースや左右方向に傾斜のある道を再現したコースを表示したプレビュー画面を、図 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 に示す.

5.2.4 シミュレーション画面

図 5.8 にシミュレーション画面を示す. この画面では、シミュレーション時の HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成し、それらを用いてユーザはシミュレーションを行う. シミュレーション時の HMD 上の映像と電動車椅子の動作シナリオを自動的に作成することを考える.

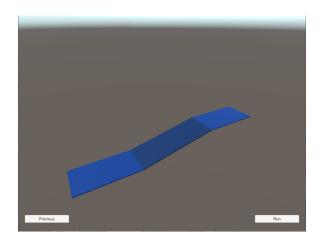


図 5.4: 上り坂を再現した コースを表示したプレビュー画面

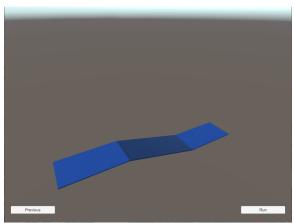


図 5.5: 下り坂を再現した コースを表示したプレビュー画面

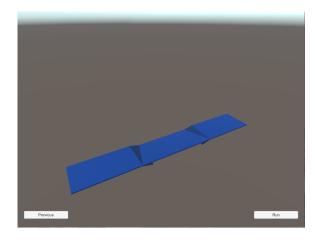
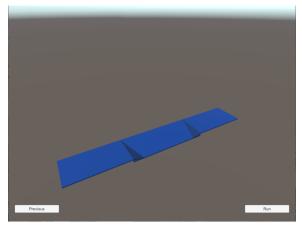


図 5.6: 左方向に傾斜のある道を再現した 図 5.7: 右方向に傾斜のある道を再現した コースを表示したプレビュー画面



コースを表示したプレビュー画面

まず、HMD上の映像について述べる. HMD上の映像については、プレビュー画面で 作成された VR 空間上のコースを車椅子に乗って走行しているかのような一人称視点の 映像を自動的に作成する.シミュレーション時はこの映像を HMD 上に流すことにより, ユーザは視覚情報から、あたかも VR 空間上のコースを通過しているかのような感覚を得 ることができると考えられる.

次に、電動車椅子の動作シナリオについて述べる. 電動車椅子の動作シナリオについて は、この画面で自動的に作成されるようにする予定である. 電動車椅子の動作シナリオの 作成は, 先行研究 [1][2][3] の実装を元に行う.

まず、坂道のシミュレーション時の電動車椅子の動作シナリオについて述べる. 車椅子 ユーザが坂道を通過する場合,上り坂では平地よりも減速し,下り坂では平地よりも加速 する. 先行研究[1][2]では、この速度変化に着目して動作シナリオの作成が行われている. 具体的には、平地から上り坂に差し掛かるシーンでは、電動車椅子は等速で前進運動した のちに減速運動を行う.また、平地から下り坂に差し掛かるシーンでは、電動車椅子は等速で前進運動したのちに加速運動を行う.これらに HMD 上の映像を組み合わせることにより、ユーザは実際には坂道を通過していないにもかかわらず、坂道を通過しているかのような感覚を得る.

次に、左右方向に傾斜のある道のシミュレーション時の電動車椅子の動作シナリオについて述べる。車椅子ユーザが左右方向に傾斜のある道を通過する場合、車椅子は左右に傾きながら前進する。このとき、車椅子ユーザは傾いている方向に自身の体が引き寄せられる感覚と前進する感覚の複合感覚を得る。先行研究 [3] では、この運動感覚を再現するために、遠心力に着目して動作シナリオの作成が行われている。具体的には、ユーザが左方向に傾斜のある道のシミュレーションを行う際には、電動車椅子は時計回りに円運動を行う。ユーザは遠心力によって自身の体が左方向に引き寄せられるような感覚を得られるほか、電動車椅子自体は前進しているため、前進する感覚も得られる。また、ユーザが右方向に傾斜のある道のシミュレーションを行う際には、電動車椅子は反時計回りに円運動を行う。これらに HMD 上の映像を組み合わせることにより、ユーザは実際には左右方向に傾斜のある道を通過していないにもかかわらず。左右方向に傾斜のある道を通過しているような感覚が得られると考えられる。

HMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオの作成が完了したら、シミュレーションを開始する。シミュレーションを行う際のHMD上の映像と電動車椅子の動作シナリオは、シミュレーション画面で作成されたものとする。

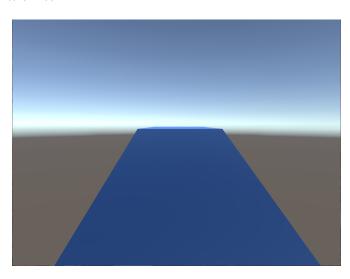


図 5.8: シミュレーション画面

第6章 結論

第6章 結論 19

本稿では、HMDと電動車椅子を用いた車椅子シミュレータにおける、ユーザがシミュレーションを行うときの作業コストを低くするためのツールの提案を行った。今後は、ツールを用いて電動車椅子の動作シナリオを作成できるようにする予定である。また、本手法を用いて実験を行い、評価を行うことで本手法の有効性を検証することを計画している。

謝辞

謝辞 21

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. In *Proc. 31st Australian Conference on Human-computer-interaction (OzCHI '19)*, pp. 508–512, 12 2019.
- [2] 本岡宏將, 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] 大河原巧, 本岡宏將, 大和佑輝, 奥川和希, 宮田章裕. Vection 誘発映像を用いて傾きを提示する車椅子シミュレータの考察. 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO '20), 第 2020 巻, pp. 904–908, 2020.
- [4] Pithon Thomas, Weiss Tamar, Richir Shimon, and Klinger Evelyne. Wheelchair Simulators: A Review. *Technology and Disability*, Vol. 21, pp. 1–10, 7 2009.
- [5] Patrick Abellard, Iadaloharivola Randria, Alexandre Abellard, Mohamed Moncef Ben Khelifa, and Pascal Ramanantsizehena. Electric Wheelchair Navigation Simulators: Why, When, How? *Mechatronic Systems Applications*, pp. 161–186, 3 2010.
- [6] Ajay Sonar, K.D. Burdick, Ryan R. Begin, and James J. Carroll. Development of a Virtual Reality-based Power Wheel Chair Simulator. In Proc. 2005 IEEE International Conference on Mechatronics & Automation (ICMA '05), Vol. 1, pp. 222–229, 7 2005.
- [7] Guillaume Vailland, Fabien Grzeskowiak, Louise Devigne, Yoren Gaffary, Bastien Fraudet, Émilie Leblong, Florian Nouviale, François Pasteau, Ronan Le Breton, Sylvain Guégan, Valérie Gouranton, Bruno Arnaldi, and Marie Babel. User-centered design of a multisensory power wheelchair simulator: towards training and rehabilitation applications. In 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR '19), pp. 77–82, 6 2019.
- [8] Carmen Fernández Panadero, Valentín de la Cruz Barquero, Carlos Delgado-Kloos, and David Morán Núñez. 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, pp. 1629–1648, 1 2014.

参考文献 23

[9] D.Stewart. A Platform with Six Degrees of Freedom. In *Proc. the UK Institution of Mechanical Engineers (IMechE '65)*, Vol. 180, pp. 371–386, 6 1965.

- [10] Hafid Niniss and Takenobu Inoue. Electric Wheelchair Simulator for Rehabilitation of Persons with Motor Disability. In *Proc. 8th Symposium on Virtual Reality (SVR '06)*, 2006.
- [11] 陳連怡, 藤本英雄, 山田雅司. 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), 第72巻, pp. 1891-1899, 6 2006.
- [12] Manuel Desbonnet, Sara L Cox, and Abdur Rahman. Development and Evaluation of a Virtual Reality based Training System for Disabled Children. In *Proc. Second European Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technology (ICDVRAT '98)*, pp. 177–182, 1998.
- [13] Nancy Rodriguez. Development of a Wheelchair Simulator for Children with Multiple Disabilities. In 3rd IEEE VR International Workshop on Virtual and Augmented Assistive Technology (VAAT '15), pp. 19–21, 2015.
- [14] Abdulaziz Alshaer, Holger Regenbrecht, DavidO 'Hare. Immersion factors affecting perception and behaviour in a virtual reality power wheelchair simulator. *Applied Ergonomics*, Vol. 58, pp. 1–12, 2017.
- [15] Yuri Silva, Walter Simöes, Mauro Teófilo, Eduardo Naves, and Vicente Lucena. Training Environment for Electric Powered Wheelchairs Using Teleoperation Through a Head Mounted Display. In 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE '18), pp. 1–2, 2018.
- [16] Chris James Headleand, Thomas William Day, Serban R Pop, and Panagiotis D. Ritsos. A Cost-effective Virtual Environment for Simulating and Training Powered Wheelchairs Manoeuvres. In Studies in Health Technology and Informatics, pp. 134– 141, 2016.
- [17] Débora P. Salgado, Thiago B. Rodrigues, Felipe R. Martins, Eduardo L.M. Naves, Ronan Flynn, and Niall Murray. The Effect of Cybersickness of an Immersive Wheelchair Simulator. *Procedia Computer Science*, Vol. 160, pp. 665–670, 2019.
- [18] Hamilton Rivera-Flor, Kevin A.Hernandez-Ossa, Berthil Longo, and Teodiano Bastos. Evaluation of Task Workload and Intrinsic Motivation in a Virtual Reality Simulator of Electric-Powered Wheelchairs. *Procedia Computer Science*, Vol. 160, pp. 641–646, 2019.

参考文献 24

[19] Jinseok Seo and Sei woong Oh. PVoT: An Interactive Authoring Tool for Virtual Reality. In *Proc. International Journal of Computer Science and Network Security(IJCSNS '07)*, Vol. 7, pp. 17–26, 2007.

- [20] Sense8 World Up. http://www.aaronjamesrogers.com/misc/hotmix16/vendors/sense8/wup.html (Last visited: 2020/9/19).
- [21] Carnegie Mellon University, Alice. http://www.alice.org/ (Last visited: 2020/9/19).
- [22] Doug A. Bowman and Larry F. Hodges. User Interface Constraints for Immersive Virtual Environment Applications. Graphics, Visualization, and Usability Center, Georgia Institute of Technology, GIT-GVU-95-26, 1995.
- [23] Mark R. Mine. ISAAC: A Virtual Environment Tool for the Interactive Construction of Virtual Worlds. Department of Computer Science University of North Carolina Chapel Hill, 1995.
- [24] Gun A. Lee, Gerard Jounghyun Kim, and Chan-Mo Park. Modeling Virtual Object Behavior whithin Virtual Environment. In *Proc. Virtual Reality Software and Technology (VRST '02)*, pp. 41–48, 2002.
- [25] Misha Sra, Sergio Garrido-Jurado, and Pattie Maes. Oasis: Procedurally Generated Social Virtual Spaces from 3D Scanned Real Spaces. In *Proc. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG '18)*, Vol. 24, pp. 3174–3187, 2018.
- [26] Sebastian Marwecki and Patrick Baudisch. Scenograph Fitting Real-Walking VR Experiences into Various Tracking Volumes. In *Proc. the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology(UIST '18)*, Vol. 24, pp. 511–520, 2018.
- [27] Adalberto L. Simeone, Eduardo Velloso, and Hans Gellersen. Substitutional Reality: Using the Physical Environment to Design Virtual Reality Experiences. In *Proc. the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, pp. 3307–3316, 2015.
- [28] Lung-Pan Cheng, Eyal Ofek, Christian Holz, and Andrew D. Wilson. VRoamer: Generating On-The-Fly VR Experiences While Walking inside Large, Unknown Real-World Building Environments. In 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR '19), pp. 359–366, 2019.
- [29] Unity. https://unity.com/ (Last visited: 2020/11/25).

研究業績

研究業績 26

研究会・シンポジウム

(1) 奥川和希, 大和佑輝, <u>大河原巧</u>, 村山優子, 宮田章裕: バリアフリーマップにおけるバリア情報可視化手法の比較, 情報処理学会インタラクション 2021 論文集 (2021 年 3 月掲載予定).

- (2) 古田瑛啓, 大河原巧, 村山優作, 富永詩音, 呉健朗, 宮田章裕: 実世界オブジェクトを用いた生活空間内における事故予測支援システムの試作, 情報処理学会インタラクション 2021 論文集 (2021 年 3 月掲載予定).
- (3) <u>大河原巧</u>, 本岡宏將, 大和佑輝, 奥川和希, 宮田章裕: バリアシミュレータのための オーサリングツールの基礎検討, 第 28 回インタラクティブシステムとソフトウェア に関するワークショップ (WISS 2020) 予稿集, N-27 (2020 年 12 月).
- (4) <u>大河原巧</u>, 本岡宏將, 大和佑輝, 奥川和希, 宮田章裕: Vection 誘発映像を用いて傾きを提示する車椅子シミュレータの考察, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2020), Vol.2020, pp.904–908 (2020 年 6 月).
- (5) 奥川和希, 大和佑輝, <u>大河原巧</u>, 村山優子, 宮田章裕: ヒートマップを用いたバリア情報可視化システムの実装, 情報処理学会シンポジウム論文集, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2020), Vol.2020, pp.683–687 (2020 年 6 月).
- (6) <u>大河原巧</u>, 本岡宏將, 呉健朗, 大和佑輝, 奥川和希, 宮田章裕: バリアシミュレータの ための傾きフィードバックの基礎検討, 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.192–194 (2020 年 3 月).
- (7) 奥川和希, 大和佑輝, 呉健朗, <u>大河原巧</u>, 村山優子, 宮田章裕: ヒートマップを利用したバリア情報表現手法の基礎検討, 情報処理学会インタラクション 2020 論文集, pp.276-278 (2020 年 3 月).
- (8) 本岡宏將, 大河原巧, 呉健朗, 大和佑輝, 宮田章裕: HMD と電動車椅子を用いたバリアシミュレータの移動距離削減の基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 6B-04 (2019 年 9 月).