

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03484

研究課題名（和文）XR自動走行プラットフォームを用いた搭乗者の快適性を向上する移動感覚制御

研究課題名（英文）Moving sensation control with auto-driving XR mobility platform

研究代表者

神原 誠之（Kanbara, Masayuki）

奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：10346306

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,400,000円

研究成果の概要（和文）：自動走行時の搭乗者の快適性を向上することを目的として、座席傾斜制御可能なマルチモーダルVR/ARシステムを自動走行車に搭載した「XRモビリティプラットフォーム」を利用して、自動走行時の搭乗者の快適性向上技術の開発を行った。自動走行車両を用いた実走行実験を通して、提案した搭乗者への平行移動の加速度刺激を軽減する制御技術により、快適性の低減の原因となる搭乗者が知覚する移動感覚の軽減が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近い将来実現する車両の自動走行化に伴い、搭乗者を取巻く車内環境が劇的に変化すると予想されており、搭乗者の快適性を低下させる要因となることが報告されている。本研究の成果であるXRモビリティプラットフォームを用いた搭乗者が知覚する加速度刺激制御手法は、搭乗者の移動感覚を低減すること示されている。そのため搭乗者の快適性が向上することが可能となり、自動走行車の社会的受容性を高める重要な技術として位置づけられる。

研究成果の概要（英文）：The XR Mobility Platform, a multimodal VR/AR system with seat tilt control, was used to develop technology to improve passenger comfort during automated driving. Through real-world driving experiments with automated vehicles, it has been shown that control technology to reduce the acceleration stimulus of translation to the passenger reduces the sense of movement perceived by the passenger.

研究分野：ヒューマンロボットインタラクション

キーワード：自動走行 快適性 自動走行酔い クロスモーダルインタラクション ヒューマンロボットインタラクション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近い将来実現する自動走行技術の普及により、車内環境が大きく変化すると予想されている。特に、ドライバは運転から解放され操舵権限のない搭乗者となること、および、これまで視認負荷の観点で利用されていなかったフロントガラスや窓の情報提示スクリーン化、安全性の問題で設置が不可能であった傾斜制御可能な座席の導入が挙げられる。これらは、搭乗者の利便性・快適性の向上が期待される反面、搭乗者の「酔い」に関して、新たな問題を発生させることが報告されている。前者は、搭乗者は自らの操舵ではなく自動制御による車両からの予測不可能な加速度刺激を受けるため「乗り物酔い」を誘発させ、後者は豊富な情報を提示するほど、スクリーン越しに見る現実環境とスクリーン上に提示される仮想環境、および加速度刺激との感覚不整合(厳密には各感覚器間の不整合)が発生し、「バーチャルリアリティ(VR)酔い」を発生させる。そのため、自動走行時の車内環境では、発生メカニズムに類似点はあるものの、これまで併発することがなかった「乗り物酔い」と「VR酔い」が同時発生する新たな環境となり、搭乗者に大きなストレスを生むことになる。この症状は「自動走行酔い」と定義されており、自動走行車の社会的受容性を低下させ、その普及を妨げる可能性があるため、自動走行実用化を実現するための重要課題の一つとなる。本研究では、自動走行車内において、いかに「自動走行酔い」を抑制しつつ、視覚・聴覚・力覚提示を併用したマルチモーダルVR/AR情報提示技術によって、搭乗者の快適性(乗り心地)を向上するかが課題となる。

2. 研究の目的

本研究では、座席傾斜制御可能なマルチモーダルVR/ARシステムを自動走行車に搭載したXRモビリティプラットフォームを利用して、自動走行時の搭乗者の快適性向上技術の開発を目的とする。第一段階として、自動走行環境で発生することが報告されている「乗り物酔い」と「VR酔い」の併発症状である「自動走行酔い」を軽減する視覚・力覚提示技術の開発に着手し、最終的に搭乗者への平行移動の加速度刺激の軽減による「移動感覚」制御技術の実現により、あたかも走行(移動)していないような感覚を生み出すことで搭乗者の快適性向上を目指した。具体的には、以下の2つの研究項目に関して、研究開発を実施した。

研究項目 : 自動走行時の視覚・力覚提示技術による乗り心地向上技術開発

研究項目 : 自動走行時の移動感覚制御技術開発

3. 研究の方法

以下に、各研究項目の実施内容を詳述する。

研究項目 : 自動走行時の視覚・力覚提示技術による乗り心地向上技術開発

視覚刺激提示による乗り心地向上技術の開発に関して、車両が加速する直前に、射影変換処理および新規視点映像技術を用いて、加速度方向とは逆方向に視覚誘導性自己運動感覚を感じさせ、その結果加速度に対する反射的重心移動を喚起する(予備運動を誘導する)映像を生成・提示する方式を考案した。さらに、視覚刺激提示による乗り心地向上技術の開発に関して、乗り物酔いの軽減を目的として、車載映像中の特定領域のコントラストと解像度を変化させることで搭乗者の注視点を無意識的に制御する方式を考案した。評価実験を通じて、提案手法がアイコンなどによる明示的な視線誘導と同等の誘導効果があり、画像加工感や視線誘導感などの不快感を与える要因が低下することを確認した。

研究項目 : 自動走行時の移動感覚制御技術開発

力覚(座席傾斜)制御による搭乗者が知覚する加速度刺激の軽減を目的として、視覚と知覚加速度の制御手法の開発と、実利用を想定したシステムの構築を行った。システムの構築に関しては、自動走行機能を有したミニバン型車両の後部に、図1に示すような、視覚制御を行うXR情報提示機能、加速度の体感制御を行うための傾斜制御機能を有したキャビン構築した。没入提示が可能となるプロジェクション方式の半球スクリーンが搭載されており、搭乗者が車両の真の水平を認識することなく、高臨場感VR/AR環境を体験することが出来る。また、半球スクリーンと座席が一体となったモーションプラットフォームは、2つのアクチュエータが設置されており、これによってスクリーンと座席を任意のタイミングで任意の傾きに制御することが可能である。搭乗者は、傾斜制御可能なモーションプラットフォームの座席に着席し、半球スクリーンによる没入型VRやAR環境を自動運転環境内で体験することが可能となった。



図1 自動走行車後部に搭載されたXRシステム

次に、本システムを用いて移動感覚を制御する提案手法について説明する。移動感覚に対する

視覚制御では、全方位カメラの Insta360 one X2 を用いて、全天球画像の走行映像を利用する。この映像を半球スクリーンに投影されたビデオスルー型 MR 環境として没入提示する。通常走行では、搭乗者は走行映像から視覚的に加速度刺激を受ける。そこで、移動感覚を軽減させる場合は、走行中に静止画を投影し続けることで搭乗者の視覚からの移動感覚を消失させる。体感の制御では、モーションプラットフォームによる加速度刺激の制御を行う。通常走行ではモーションプラットフォームは動かずに、搭乗者は発生した並進加速度をそのまま感じる。移動感覚を軽減させる場合は、制御アルゴリズムより求めた傾斜データをもとにモーションプラットフォームを制御する。アクチュエータの動きは、モーションプラットフォームの可動領域内で、10mm/s の速さでゆっくりと制御可能である。更に、座席と一体で半球スクリーンも傾くため、搭乗者は傾いたことに気づかずに没入が可能となる。本研究では、数秒後の加速度刺激を先読みすることで傾斜データをリアルタイムに求めるのではなく、事前に走行ルート全体で発生する加速度刺激を加速度センサより取得することで、走行ルート全体での移動感覚を軽減する最適なキャビンの傾斜データを求めた。また、聴覚からも移動感覚を知覚する可能性があるため、ノイズキャンセリングヘッドフォンを用いて、外部音を遮断した。

4. 研究成果

本研究では、自動走行車両を用いた実走行実験により搭乗者への平行移動の加速度刺激を軽減する提案制御技術の有効性を検証した。走行ルートは図2に示す通り、直進や右左折を含めること、通常の自動走行を想定して加減速が滑らかであることの2点を考慮し、通常の自動走行で起こりうる走行環境を再現するよう設計を行った。その後、自動運転機能を用いて手動運転で走行したルートの記録及び周辺環境の3Dマップの作成を行い、1分半ほどの走行ルートを作成した。生成したデータを用いることで、同じルートを自動走行可能となる。



図2 実験で利用した自動走行ルート

提案アルゴリズムによる傾斜制御を行う場合と行わない場合について、搭乗者が感じる車両からの加速度刺激のグラフを図3に示す。図3より、傾斜制御による走行全体で発生した加速度刺激の軽減効果は、左右方向の加速度刺激で特に有効であったことが分かる。また、グラフを詳しく見ると、急な加速度刺激が発生する場合には発生の瞬間は軽減できていないが、その後の大きな加速度刺激を軽減できていることから、提案アルゴリズムによって傾斜速度の制約が解消できていることが示された。

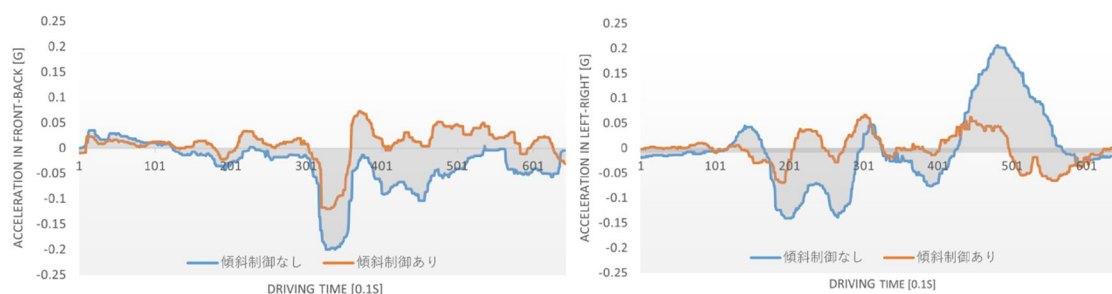


図3 走行時に搭乗者が知覚する加速度の大きさの比較（左：前後方向、右：左右方向）

提案手法による移動感覚制御の手法の効果検証を行うために、自動運転車を用いた被験者実験を実施した。実験では、視覚制御と体感制御がそれぞれどのように移動感覚制御に有効であるのかを調査するために、表1に示す通り、視覚制御の有無と体感制御の有無を組み合わせた全4条件を設定し、それぞれの条件における移動感覚制御の効果と比較した。4条件の中で、条件Aは視覚と体感両方から走行中の車両による加速度刺激を受ける通常走行と同じ環境であり、条件Dは視覚と体感の制御による移動感覚軽減を行う提案手法である。各実験条件における移動感覚について、提案手法である条件Dが最も移動感覚を軽減できると仮説を立てる。

表 1

		体感の制御	
		なし	あり
視覚の制御	なし	A (走行映像 + 傾斜制御なし)	B (走行映像 + 傾斜制御あり)
	あり	C (静止映像 + 傾斜制御なし)	D (静止映像 + 傾斜制御あり)

実験に参加した被験者は、男性 15 名、女性 14 名の計 29 名であり、21～42 歳が参加し、平均年齢は 24.9 歳であった。アンケートによる主観評価の結果について、全被験者の回答の平均値を質問項目毎に求め、グラフ化したものを図 4 に示す。また、各条件間での有意差を調べるため、質問項目毎にフリーマン検定を用いて有意差検定を行った。有意水準 0.05 において有意差がある質問項目については、ウィルコクソン検定とボンフェローニ補正を用いて各条件間での多重比較を行い、有意差及び有意傾向がある条件間をグラフに示す。結果より、移動距離 (図 4 左下) については全条件間で有意差及び有意傾向が無かったが ($p > .1$) 方向転換 (図 4 右下) については条件 B、D が条件 C と比較して優位に軽減される傾向が見られた (BC、CD 間: $p < .1$)。また、移動感覚 (図 4 上) は条件 D が条件 A、B と比較して有意に軽減されることが示され (AD、BD 間: $p < .05$) 条件 D が最も移動感覚が少ないという仮説は、一部支持された。実験より、提案手法は、通常走行を想定している視覚と体感の制御を行わない条件に比べて移動感覚が有意に軽減されることが示されたが、視覚のみ制御を行う条件との比較では有意差が示されなかった。しかし、移動感覚を移動距離と方向転換に分けて見たところ、方向転換では提案手法が体感の制御が効果的である傾向が示された。体感の制御は変化が緩やかで長い加速度刺激に対して有効である可能性があり、通常の自動走行においてはこのような加速度刺激が多く発生するため、視覚と体感の両方の制御を組み合わせさせた提案手法が移動感覚を軽減する上で最も効果的であると考えられる。

以上、実験結果をまとめると、アンケート評価の結果より提案手法を用いる条件 D は通常走行を想定している視覚と体感の制御を行わない条件 A に比べて移動感覚が有意に軽減されることが示されたが、視覚のみ制御を行う条件 C との比較では有意差が示されなかった。そのため、視覚の制御が有意に効果的であり、体感の制御の効果は示されなかった。しかし、移動感覚を移動距離と方向転換に分けて見たところ、方向転換では条件 CD 間の結果より体感の制御が効果的である傾向が示された。ここで、自動走行で発生する加速度刺激を考えると、通常時の自動運転車両の加減速の制御は滑らかであるため前後方向の加速度刺激はほとんど生じないが、緊急時の急加速や急ブレーキにより大きな加速度刺激が発生する場合は、大きい加速度刺激であるほど変化が急で短い時間発生する特性がある。一方で、方向転換の際に生じる左右方向の加速度刺激は車両の速度に依存するため通常の自動走行で必ず発生し、カーブの性質上、緩やかな変化で長い時間発生する特性がある。以上のことから、体感の制御は変化が緩やかで長くかかるような加速度刺激に対して有効である可能性が示され、通常の自動走行においてはこのような加速度刺激が多く発生するため、視覚と体感の両方の制御を組み合わせさせた提案手法が移動感覚を軽減する上で最も効果的であると考えられる。

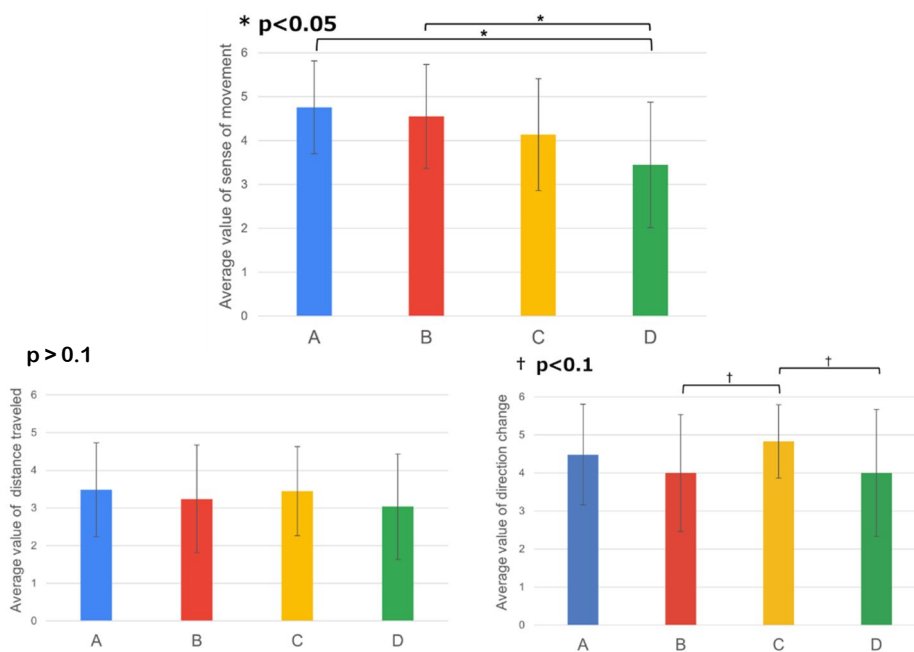


図 4 移動感覚に関するアンケート評価 (上: 総合移動量、左下: 平行移動、右下: 回転移動)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Zhang Haihan, Xie Chun, Toriya Hisatoshi, Shishido Hidehiko, Kitahara Itaru	4. 巻 15
2. 論文標題 Vehicle Localization in a Completed City-Scale 3D Scene Using Aerial Images and an On-Board Stereo Camera	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 3871 ~ 3871
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs15153871	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hiruta Yuya, Xie Chun, Shishido Hidehiko, Kitahara Itaru	4. 巻 13
2. 論文標題 A 3D Estimation Method Using an Omnidirectional Camera and a Spherical Mirror	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 8348 ~ 8348
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app13148348	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Qiaoge Li, Oto Takeuchi, Hidehiko Shishido, Yoshinari Kameda, Hansung Kim, Itaru Kitahara	4. 巻 Vol.10, No.1,
2. 論文標題 Generative Image Quality Improvement in Omnidirectional Free-Viewpoint Images and Assessments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 pp.107-119
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11371/tievciieej.10.1_107	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 1件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 Mitsuhiro Murata, Chun Xie, Hidehiko Shishido, Takeshi Endo, Itaru Kitahara
2. 発表標題 Complementary Depth Integration Using Convolutional Autoencoder
3. 学会等名 International Workshop on Advanced Imaging Technology (IWAIT) 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Taishi Sawabe
2. 発表標題 Passenger Comfort Manipulation using XR Simulator
3. 学会等名 Tsukuba Conference 2023-Designing a Better World through Interdisciplinary Computational Sciences (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水祐輝, 澤邊 太志, 神原 誠之, 藤本 雄一郎, 加藤 博一
2. 発表標題 搭乗者の移動感覚の軽減による快適な自動運転環境の構築
3. 学会等名 電子情報通信学会 ITS研究会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 澤邊 太志
2. 発表標題 快適な自動運転実現のための取り組み
3. 学会等名 電子情報通信学会 電子ディスプレイ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Kazuki Shimada, Taishi Sawabe, Hidehiko Shishido, Masayuki Kanbara, Itaru Kitahara
2. 発表標題 Video Generation Unconsciously Evoking Pre-Motion to Passengers in Automated Vehicles
3. 学会等名 2nd International Workshop on Comfort Intelligence with AR for Autonomous Vehicle (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taishi Sawabe, Yosuke Okami, Masayuki Kanbara, Yuichiro Fujimoto, Hirokazu Kato
2. 発表標題 Diminished Reality for Sense of Movement with XR Mobility Platform
3. 学会等名 2nd International Workshop on Comfort Intelligence with AR for Autonomous Vehicle (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 祐輝, 澤邊 太志, 神原 誠之, 藤本 雄一郎, 加藤 博一
2. 発表標題 自動走行環境における移動感覚を軽減する Tilt-Free XR Cabin の構築
3. 学会等名 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Shimada, Taishi Sawabe, Hidehiko Shishido, Masayuki Kanbara, Itaru Kitahara
2. 発表標題 Video Generation Unconsciously Evoking Pre-Motion to Passengers in Automated Vehicles
3. 学会等名 International Workshop on Comfort Intelligence with AR for Autonomous Vehicle, 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taishi Sawabe, Yosuke Okami, Masayuki Kanbara, Yuichiro Fujimoto, Hirokazu Kato
2. 発表標題 Diminished Reality for Sense of Movement with XR Mobility Platform
3. 学会等名 International Workshop on Comfort Intelligence with AR for Autonomous Vehicle, 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 島田和輝, 澤邊 太志, 宍戸英彦, 神原誠之, 北原格
2. 発表標題 自動走行車両搭乗者の予備動作喚起を目的とした映像生成
3. 学会等名 電子情報通信学会クラウドネットワーク研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taishi Sawabe, Masayuki Kanbara, Yuichiro Fujimoto, Hirokazu Kato
2. 発表標題 Toward Understanding the Effects of Visual and Tactile Stimuli to Reduce the Sensation of Movement with XR Mobility Platform
3. 学会等名 The IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤邊 太志, 神原 誠之, 藤本 雄一郎, 加藤 博一
2. 発表標題 移動感覚制御のためのXRモビリティプラットフォーム
3. 学会等名 電子情報通信学会ITS研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taishi Sawabe, Yuichiro Fujimoto, Masayuki Kanbara, Hirokazu Kato
2. 発表標題 XR Mobility Platform: Multi-Modal XR System Mounted on Autonomous Vehicle for Passenger's Comfort Improvement
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤邊 太志, 神原 誠之, 藤本 雄一郎, 加藤 博一
2. 発表標題 自動走行マルチモーダルMRシステムを用いた移動感覚の隠消現実
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤邊 太志, 神原 誠之, 藤本 雄一郎, 加藤 博一
2. 発表標題 自動走行時の快適性向上を目的としたXRモビリティプラットフォームの構築
3. 学会等名 電子情報通信学会 クラウドネットワークロボット研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	北原 格 (Kitahara Itaru) (70323277)	筑波大学・計算科学研究センター・教授 (12102)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 Tsukuba Conference 2023-Designing a Better World through Interdisciplinary Computational Sciences	開催年 2023年～2023年
国際研究集会 2nd International Workshop on Comfort Intelligence with AR for Autonomous Vehicle	開催年 2022年～2022年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------