



歩行者に車両の存在予測範囲を提示する eHMI

External Human Machine Interface That Presents The Predicted Area of Vehicle Existence to Pedestrians

児玉 拓郎¹⁾, 矢野 博明²⁾

Takuro KODAMA, Hiroaki YANO

1) 筑波大学 理工情報生命学術院 システム情報工学研究群

(〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, t_kodama@vrlab.esys.ac.jp)

2) 筑波大学 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, yano@iit.tsukuba.ac.jp)

概要: 歩車混在空間において人や車両の安全快適な移動を支援するための外向け HMI (eHMI) の研究が行われている。我々は、車両空間と歩行者空間を物理的に別々に作成し、バーチャル空間で統合するシステムの構築を行った。この空間を使用して、車両から歩行者に対する eHMI として、歩行者が車両の進行方向及びその存在確率の高い領域の予測を支援する eHMI を設計し、バーチャルな eHMI として実装した。対面通行タスクによる評価実験を行い、歩行者の通行動作への有効性を検証した。

キーワード: シェアードスペース, 外向け HMI, バーチャルリアリティ

1. はじめに

近年、歩行者と車両が共存した新しい道路空間の考え方として「シェアードスペース」が欧州各地において導入が進みつつある。シェアードスペースは、オランダの交通計画者ハンス・モンドーマンが提唱し、歩道と車道の区別をなくして標識と信号も取り外して自由な通行を可能とした空間である [1]。シェアードスペースではあらゆる方向から人や車がやってくる可能性があるため、シェアードスペース内での運転手と歩行者は互いにコミュニケーションを行って自身の進路を確保する必要がある。この時、これら移動体が歩行者や周りの車両に対して自身の通行情報を積極的に伝える外向け HMI (external Human Machine Interface, 以下 eHMI) を相互に用いることで、移動体同士が相手の動きの予測やその意図の把握に効果的に働き、より円滑な交通が可能になると期待できる。簡単な eHMI の例として、車から外に情報を伝える手段としてのウインカー、クラクション、パッシングなどが挙げられる。eHMI の研究は始まったばかりで有効な形態の模索段階であり、様々な条件での評価実験が必要である。

現状の評価実験は車両と歩行者が共存する実空間で評価実験が行われるが、倫理的な観点から実験参加者の安全性が最優先される。そのため、例えば、歩行者役の実験参加者は、車両と接触しないように十分な距離を確保するための安全ロープをつけるなど物理的に拘束された状態で実験が行われている [2]。このため、現実空間同様に自由に動き回ることができず、人と車両がギリギリの距離で行き交うことが頻繁に起こり得るシェアードスペースのよ

うな歩車混在空間における歩行者の動向調査などの評価実験が難しい。

これに対して本研究では、歩行者と車両が物理的に接触しない別々の空間を用意して、それらをバーチャルに統合することで解決することを考えた。すなわち歩行者と車両がバーチャル空間において自由に移動できるようにすることで、歩行者と車両に接触防止策を施すことが不要となり、実空間のシェアードスペースと同等の自由度を持った実験環境を提供できる (図 1)。具体的には自走する車両に球面型スクリーンを搭載し、移動と同期してバーチャルシェアードスペースの映像の投影を行う。歩行者には、大規模没入ディスプレイ LargeSpace (以下 LargeSpace) によって同空間の映像を身体動作に同期して提示する。これによりこれまで困難であった歩行者と車両の自由な交通シナリオでの eHMI の評価実験を可能とした。

本研究では、eHMI として操舵角から導かれる予定経路やハンドルの微調整も加味した車両の予想存在範囲を提示することで、車の進路が予想しやすくなり、より安心して歩行者が通行できる空間を創出可能と考えて、車両前方の道路に自車の走行情報を提示する eHMI を設計し、バーチャルなシェアードスペース内に実装した。現実の路面での提示は、歩行者が AR グラスを着用する、ディスプレイ付きの路面、床面にプロジェクタで投影を行うなどで実現可能である。

本研究で開発したシステムを使用して歩車混在空間における対面交通タスクによる評価実験を行い、作成した eHMI の有効性の検証をした。



図 1. システム概要図

2. システム概要

eHMI を評価する環境の要件として、実験参加者に対してバーチャル空間上の行動の制約を極力少なくしつつ、バーチャル空間内での車等の移動体の通行とその時に受けるであろう感覚情報をできるだけ多く提示できる必要がある。特に車両を用いる場合、実空間中での周囲の物体との接触による事故が起こらないような仕組みが必要である。そのため本研究では車両が自由に走り回ることができる程度大きな平面走行空間を実空間に確保した。歩行者に対しても同様の広さを持つ LargeSpace を使った歩行者空間を用意して、バーチャル空間上で両者の動作情報を統合し視覚情報として提示するシステムを開発した。

評価実験システムとして、定量的に評価するために最低限必要なデータは、実験参加者の移動による位置姿勢の時系列データである。また、取得したデータから実験状況を再現し多角的に観察・検証可能とした。頭部の位置姿勢、体幹や手足の位置姿勢だけでなく、実験内容によっては指先や眼球の位置姿勢、瞳孔径や心拍、筋電位などの生体情報の取得も考えられる。

2.1 歩行者空間

LargeSpace を使用した歩行者空間は、壁面と床面全体をスクリーンで覆った幅 25 m、奥行き 15 m、高さ 7.7 m の大規模没入型ディスプレイの LargeSpace[3] を使用した。LargeSpace は、12 台の前面投射プロジェクタにより、大規模没入型ディスプレイにバーチャル空間の映像を投影した。この空間は、歩車混在空間を実スケールで提示可能で、実際に歩行して車との衝突を回避する実験を実施することができる。ユーザの視点の映像提示をするために、モーションキャプチャシステムに OptiTrack 社の Motive を使用した(図 2)。歩行者は LargeSpace 内を歩行移動するため 3 次元の位置姿勢データは、Motive によって計測・記録した。

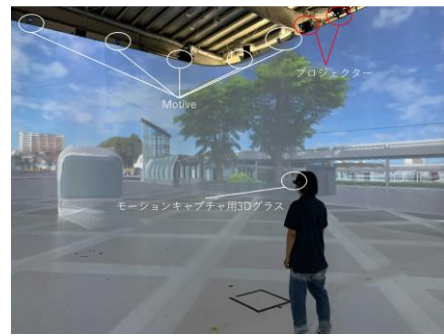


図 2. ラージスペースの様子

2.2 車両空間

車両空間として、10 m × 40 m の屋外走行路を確保し、ユーザが利用する車両にはゴルフカー G31EJPsLi(ヤマハモーターパワープロダクツ社)を用いた。ゴルフカーの最大速度は 19 km/h であり、評価実験で使用するには、10 - 15 km/h で走行する。これは歩車混在空間では安全を考慮して低速走行が主になると考えられるためである。

バーチャルな統合空間の様子を現実空間と同等の視覚を確保するために、周辺視野までカバーする必要がある。HMD(Head Mounted Display)の場合、視野角が 110 度程度で一度に見渡せる視野が限られるので、200 度の視野角を持つ球面ディスプレイが適している。

映像提示装置としては内径 80 cm の球面ディスプレイを用いた。広視野角映像投影系プロジェクタ HU80KS(LG エレクトロニクス社)に全周魚眼レンズの DCR-CF187PRO(raynok 社)を取り付けた投影系を使用し、テクスチャマッピングの技法を用い投影画像を歪ませ、視点位置からの正しい映像投影を行った。

車両は屋外路を走行するため 2 次元の位置姿勢は、リアルセンスと RTK ZED-F9P(u-blox 社)の組み合わせによる自己位置推定によって計測した。

2.3 ソフトウェア

本システムは、車両空間と歩行者空間の 2 つの空間とそれらを統合した統合空間からなる。統合空間の映像提示のため、車両空間、歩行者空間との間での位置姿勢データのやり取りが必要となる。本システムでは、Unity の Unet を使用した無線通信で位置姿勢データを共有した。これらのデータは 30fps でゴルフカーの制御用 PC に伝達され、Unity 内の映像に反映された時間の位置姿勢データが csv ファイル形式で保存した。実験内容によって計測情報の数も増減することを前提とし、各々のデータはオブジェクトごとに分割し、データ長は可変とした。

3. eHMI の検討

シェアードスペースにおける歩行者と車両が円滑な交通を促す eHMI を検討した際に、歩行者が取得したい第一の情報として、車両の進行方向がある。上記の要素を満たす eHMI を検討した(図 3)。また、文字による eHMI もあるが、文字による表現の場合、言語によって文字が読めない場合

や小さな子供でも理解できないなどの問題点があるため、歩行者が直観的に理解しやすいような設計した。

3.1 車両の存在予測範囲の eHMI

存在予測範囲を提示した際に、歩行者が車両と衝突しないために行動計画を立て、回避行動を容易に可能できると考えられる。

存在予測範囲は2つの部分によって構成される。車の操舵角から導かれる予想移動軌跡と移動中の操舵角の変更を加味した存在確率範囲（マージン）の表示部分に分かれる。

車の予想移動軌跡の算出方法として、ゴルフカーに搭載されている CAN(Controller Area Network)を使用して、車の操舵角を取得し、操舵角に応じた車の予想移動軌跡をアッカーマン・ジャントの機構[4]を基に算出し、描画を行った。存在確率範囲の描画は、存在範囲を連続にするため、車両の予想移動軌跡の脇に車両先端からの距離に比例する1次関数を用いて車両が存在しうる空間に描画を行った。これは、歩行者が車の動きを見るときに、車から15 mから30 m離れた所では車のバンパー、車の下の道に注視するため[5]、車の先端から存在確率を提示することによって歩行者の関心を向けさせる効果が期待できる。描画の方法として、車両のタイヤの予想移動軌跡を黄色で表示を行い、存在する確率のあるエリアは青色を使用した(図3)。

また、上記の描画は、車両付近は比較的小さい誤差で予測可能なため、車両先端からの距離に比例して明度が高くなるようにした(図3左)。

本 eHMI によって車両の曲がる方向を予測することができ、突発的な進路変更の可能性があるエリアも認識できるため、車両を避けつつ通行できるようになると期待できる。

4. 評価実験

3章で実装を行った eHMI を使用して、歩行者が車両と安全に交通が可能であるかの有効性を検証するために、評価実験を行った。

4.1 実験環境

本実験では、歩行者空間と車両空間を統合させたバーチャルなシェアードスペースの映像を LargeSpace 内の歩行者に提示した。歩行者は、現実空間内で走行している車両の動きを反映させたバーチャルな車両を把握できる。

本システムでは、球面ディスプレイがゴルフカーの助手席側に搭載されており、球面ディスプレイ内に搭乗する人はゴルフカーを運転できないため、球面ディスプレイが在る助手席に人を乗せない状態で、ゴルフカーの運転手が運転を行い、10 m × 40 m の範囲を自由に移動した。

このとき、歩行者は LargeSpace 内を 25 m × 15 m の実空間内を歩行移動した。

4.2 実験方法

歩行者と車両は互いに対面し、40 m 離れた位置で同時にスタートする。歩行者は 4 km/h で歩行し、車両は 10 km/h で

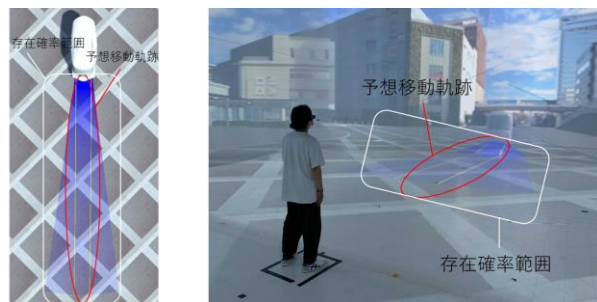


図 3. 車両の存在予測範囲を示す eHMI

Unity 内での様子(左) LargeSpace 内での様子(右)

走行する。両者が直進行動をすると、歩行者が 15 m 進んだ位置で衝突する。車両は歩行者を避けるために左右どちらかにハンドルを切る。

車両が左右に曲がり歩行者を避ける条件に限定したのは、作成した eHMI では直進する車に対して、eHMI が有る状態による行動の変化と無しの状態の行動の変化の差異が小さいという仮説のもと直進の条件を除いた。

実験参加者には、車両にぶつからないように避ける、立ち止まるなどの行動をするように指示した。

車両を運転する運転手には左右にランダムに 5 回ずつ曲がること、移動開始から 10 - 20 m 進んだところでランダムに曲がることを指示した。eHMI が無しの条件で 10 試行、有りの条件で 10 試行の順番で実験を行った。22 歳から 24 歳の視覚や歩行に障害のない健康な男性 5 名を実験参加者とした。

4.3 実験結果

歩行者が車両の避け方に応じて 4 パターンに分類した。

- ・パターン 1: 立ち止まらずにそのまま車が曲がる反対側に避ける
- ・パターン 2: 立ち止まって車を確認して車が曲がる反対側に避ける
- ・パターン 3: 車が曲がる方向に避けて切り返し車が曲がる反対側に避ける
- ・パターン 4: 車が曲がる方向に避ける

図 4 に実験参加者の行動パターンの分布を示す。横軸は実験参加者の番号及び eHMI の有無を表す。図 5、図 6 に避け方のパターンの時系列変化を示す。個人ごとに特性が異なったため、それぞれの特徴について議論する。

図 4 からパターン変化が大きく目立つのは 2 人目で、eHMI なしでは車が曲がってくる方向に避けることが多かったが、eHMI ありではそれがなくなった。

3 人目と 4 人目は、車が来た際に基本的に立ち止まって車がどちらに来るか見極めてから避ける行動をとっており、eHMI 有無に関わらず立ち止まる行動の違いはなかったが、避け始めのタイミングには違いがあった。

1 人目と 5 人目は、概ね立ち止まらずに避けていた。5 人目は eHMI ありの条件で、車が曲がる方向に避ける行動が少なくなったが、1 人目は、避ける方向を間違える回数が 1 回から 2 回に増加した。

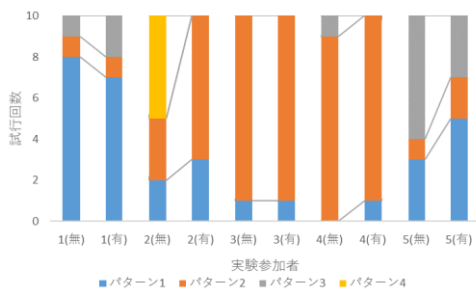


図 4. 歩行者の避け方

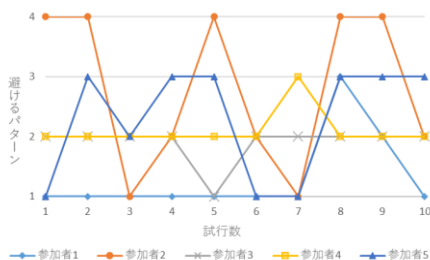


図 5. 避けるパターンの時系列変化 (eHMI 無)

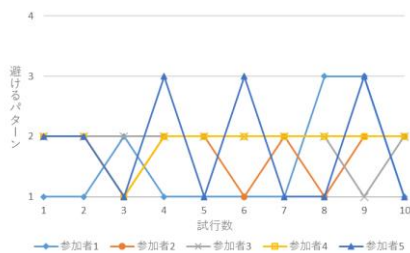


図 6. 避けるパターンの時系列変化 (eHMI 有)

図 5,6 から避けるパターンの変化は,2 人目と 5 人目では,eHMI が無いときにパターンのばらつきが大きく,同様に eHMI 有りの状態でもばらつきが大きかった.残りの実験参加者は eHMI の有無によらず試行数による行動のばらつきが小さかった.前者の実験参加者は,試行数毎に試行錯誤していたと考えられる.

5. 考察

実験参加者全員に共通して,eHMI があるときの行動は,路面に投影されている存在予測範囲である青色の部分を避けていたが,3 人目と 4 人目は横方向ではなく後ろに下がって避けていた.これは,車両の様子を確認しないで,存在予測範囲を見て,車両がどの方向に進むのか予測し,eHMI の青い領域が足元まで来ていたため,一旦下がってから,青色の範囲を避けるよう行動したと考えられる.

また,eHMI なしの条件に,2 人目と 3 人目が一回ずつパーチャルな車と衝突したが,ありの条件では,車と衝突することはなかった.これは,図 4 の結果より eHMI があることによって車両の移動経路の予測が容易にできるようになったことを示唆する結果と言える.

実験参加者の 2 人目のパターン 4 の回避行動は eHMI が

あることで無くなった.2 人目からは「ゴルフカー内部の様子が分からないため運転手の顔が視認できず,eHMI が無い場合どちらに曲がるのか予想しづらい」とコメントがあった.eHMI による車両から歩行者に対しての情報提示が有効であることを示唆している.

図 5,図 6 の結果からは,実験参加者の試行回数が増加することでの学習効果は見られないが,避けるタイミングの違いなどさらに詳細検討が必要である.

また,「車両が直進するように左右にハンドルを細かく調整したためか,小刻みに存在予測範囲が左右に切り替わり,曲がり始めのタイミングが分かりづらい(全実験参加者)」、「eHMI があることによって避ける方向を誤った(実験参加者 1)」というコメントがあった.特に操舵角が 0 度に近い領域では,存在予測範囲が不用意に左右に振れないように不感帯を設けるなどの工夫が必要と言える.

6. まとめ

本研究では,歩車混在空間における eHMI による交通評価システムを使用し,新たに検討した eHMI の有効性について検証を行った.

作成した eHMI は歩行者を車両と衝突しない方向に誘導する効果が確認されたが,提示された情報にのみに注目すると不明瞭な情報提示をした場合に誤った行動をする可能性も示唆された.そのため,実験参加者からの意見をもとに eHMI の改良を行い,歩行者と車両がより安全に交通するための eHMI の開発に取り組んでいく.

謝辞 本研究は JSPS 科研費 19H00806 の助成を受けたものである.

参考文献

- [1] Ben Hamilton-Baillie : Shared Space Reconciling People, Places and Traffic, Built Environment, Vol.34, No2, 2008.
- [2] 「大門研究所」,
<<http://www.daimon.she.ac.keio.ac.jp/site/research1.html>>, 2021 年 7 月 20 日アクセス
- [3] 高鳥 光, 圓崎 祐貴, 矢野 博明, 岩田 洋夫, 「大規模没入ディスプレイ LargeSpace の開発」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.21, No.3, pp.493-502, 2016.
- [4] 自動車工学編集委員会, 東京電機大学出版(2011), 自動車工学第 2 版, P.147
- [5] Gaze Patterns in Pedestrian Interaction with Vehicles: Towards Effective Design of External Human-Machine Interfaces for Automated Vehicles AutomotiveUI '19: Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications September 2019 Pages 369-378