



バーチャルな歩車混在空間における 外向け HMI 評価実験システム

External Human Machine Interface Evaluation Experiment System
in Shared Space with Virtual Pedestrians and Vehicles

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 の研究が行われている。現状の評価実験環境は人と車を十分離して実験が行われており実利用形態とは乖離している。本研究では球面ディスプレイ搭載型のゴルフカーが走行する車両走行空間と HMD をつけて歩行する歩行者空間を物理的に別々に作り、バーチャル空間で統合することで、実際に近い歩車間距離での行動を評価可能な環境を構築し、評価実験により有効性を検証した。

キーワード: シェアードスペース, バーチャルリアリティ, 外向け HMI, 球面ディスプレイ

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・モンダーマンが提唱し、標識や信号、歩道と車道の区別をなくすことにより、アイコンタクトなどをしながら通行するように促すことで、交通の安全性の向上を目的とする手法である[1]。そのため、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、歩行者や周りの車両に対して、これら移動体自身の通行情報を伝える外向け 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を正確に予測でき、より円滑な交通が可能になると期待できる。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、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する (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 HMD(Head Mounted Display, 以下 HMD)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する。

本研究では、テストベッドの機能仕様を検討し、それに基づくプロトタイプシステムを開発した。歩行者及び運転手に提示する eHMI の 1 種を実装し、eHMI の有無による実験参加者の移動や視線の時系列変化を計測・評価することで、歩車混在空間の交通評価システムとしての有効性を検証した。

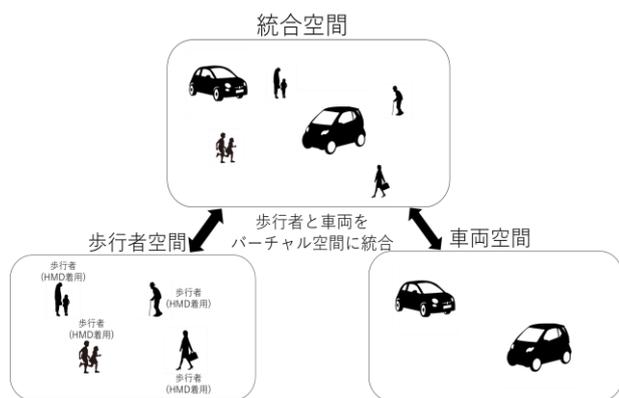


図 1: システム概念図

2. プロトタイプシステム

eHMI のテストベッドの要件としては、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などの移動体の利用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れるある程度大きな平面走行空間を実空間に確保した。歩行者も同様に歩行のための空間を別途確保し、バーチャル空間上で参加者の動作が視聴覚情報として共有できるシステムとした。一方で、評価実験を行うためには、参加者やバーチャル空間内の物体の挙動を記録し、あとで実験状況を再現しながら多角的に観察・検証できるようにする必要がある。例えば、頭部の位置姿勢、体幹や手足の位置姿勢、場合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も考えられる。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た設計とする必要がある。それぞれのデータの同期のためのタイムスタンプも必要である。

2.1 ハードウェア

本研究で開発したプロトタイプシステムは、車両空間として、10m×25m 平面空間を確保し、ユーザが利用する車両にはゴルフカー G31EJP Li (ヤマハモーターパワープロダクツ社) を用いた。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。VR による統合空間の様子を観察できるようにするため、周辺視野までカバーする必要があるため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(図 3)。プロジェクタとして HU80KS (LG エレクトロニクス社) に全周魚眼レンズの DCR-CF187PRO (raynok 社) を取り付けしたものを使用し、テクスチャマッピングにより投影映像の歪み補正を行った。

歩行者空間として 3.5m×2 m の平面空間を確保し、歩行者への視覚提示には歩きやすさと視線計測機能を兼ね備えた HMD (VIVE Pro Eye (HTC Vive 社)) を使用した。また、車両の移動量及び後述の eHMI 実装や動作検証に必要



図 2: プロトタイプの外観(左)と内部の様子(右)

となる搭乗者の頭部の姿勢の計測には Intel RealSense Tracking Camera T265 (以下リアルセンス) を使用した。頭部姿勢計測用リアルセンスは帽子に取り付けた。

2.2 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。このため、統合空間と車両空間、歩行者空間との間での位置姿勢の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を行った。評価実験システムとして最低限必要なデータは、実験参加者の移動および視線情報である。車両の 3 次元の位置姿勢及び搭乗者の頭部の方位はリアルセンスにより計測し、歩行者の 3 次元の位置姿勢及び視線情報は HMD から取得した。これらのデータは 30fps で csv ファイル形式にて保存を行った。計測するデータと人数が増加したときに対応できるように、各々のデータはオブジェクトごとに分割し、データ長は可変にした。

3. 評価実験

制作した eHMI を使用して、搭乗者と歩行者がより円滑にコミュニケーションへの有効性を評価する模擬実験環境の構築と評価実験を行った。

3.1 eHMI

テスト用の eHMI の作成として、アイコンタクトを円滑に行えることを目的とした視線提示 eHMI を実装した(図 3)。本研究では実現可能性よりも VR ならではの自由度を生かして、視線方向を強調することによる効果検証に注目した。どこを見ているのか明示する方法としてサーチライトイメージして、視線を円錐形で表示した。この、円錐形を使用するにあたって調整可能なパラメータは、円錐の高さ、半径、色、透明度がある。高さは、相手が視線方向を確認するのに役立つが、値を大きすぎると相手を見づらくなる点に注意して 2m とした。半径は、どの部分に注視しているかに関係することを考慮して 0.1m とした。色は、視線提示 eHMI を見て、一目で視線と分かるようなイメージが湧くように (R, G, B) = (255, 255, 0) にした。透明度は、視線提示 eHMI と相手の顔の視認しやすさに関係するため両方が見やすくなるよう 100/255 にした。このパラメータ調整を行うことで相手の視線を簡単に認識することが可能となった。



図 3: 搭乗者の視線の可視化(左)
歩行者の視線の可視化(右)

3.2 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歩行者と搭乗者に提示した。歩行者側は、バーチャルな車両と搭乗者の移動状況と頭部の傾き、搭乗者側は、バーチャルな歩行者の移動状況と頭の傾きをバーチャルなモデルの頭部の動き及び eHMI の情報によって把握できるようにした。

このとき、歩行者は HMD を装着して縦 3.5m 横 2m の実空間内を移動した。搭乗者は、実験実施者が運転するゴルフカーの助手席に乗って球面型スクリーンの中でバーチャル空間の様子を見た。

3.3 実験方法

実験は、歩行者役として 21 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。実験タスクとして、歩行者にはバーチャルシェアードスペース内の車両に注意しながら、その進路を横断するように指示した。バーチャル空間上の車両や歩行者の移動距離は、現実空間のゴルフカーや歩行者の移動距離と一致させた。歩行者は、左側から直進してくる車両の進路を横断した。ゴルフカーは実験条件統一のために同じ実験実施者が一定速で直進させた。実験参加者は、バーチャル空間上の相手(歩行者または搭乗者)とアイコンタクトしていると感じたときにコントローラのボタンを押した。歩行者は vive コントローラを、搭乗者はゲームパッドを使用してボタン入力した。

本実験では実験タスクを eHMI の有無及び歩行者の横断のタイミング判断 2 条件の計 4 条件で 5 回ずつとした。

- ・条件 1 eHMI がなしの状態を実験参加者が十分に安全と感じるときに車両の前を横断する。
- ・条件 2 eHMI がなしの状態を実験参加者が車両の前を横断できる限界で横断する。
- ・条件 3 eHMI がある状態を実験参加者が十分に安全と感じるときに車両の前を横断する。
- ・条件 4 eHMI がある状態を実験参加者が車両の前を横断できる限界で横断する。

実験は、条件 1 と条件 2 と条件 3 と条件 4 の試行をランダムな順序で行った。

3.4 実験結果

図 4 に各条件における歩行者がアイコンタクトを認識した平均時間、図 5 に搭乗者がアイコンタクトを認識した間の平均時間、図 6 にお互いのアイコンタクト認識が重なっていた平均時間を示す。各認識時間に対して条件 1 と条件 3、条件 2 と条件 4 の組み合わせ(eHMI の有無)で対応ありの t 検定を行った。歩行者がアイコンタクトを認識した平均時間では有意差が認められず、搭乗者がアイコンタクトを認識した平均時間は条件 2 と条件 4 で有意差が認められた($t(4)=-3.053$, $p<0.05$)。お互いのアイコンタクトの認識した時間が重なった平均時間では有意差が認められなかった。

図 7 に歩行者が横断を開始したときの歩行者と車両との距離を示す。歩行者と車両の距離に対して条件 1 と条件 3、条件 2 と条件 4 の組み合わせで対応ありの t 検定を行った結果、条件 2 と条件 4 で有意差が認められた($t(4)=-2.949$, $p<0.05$)。

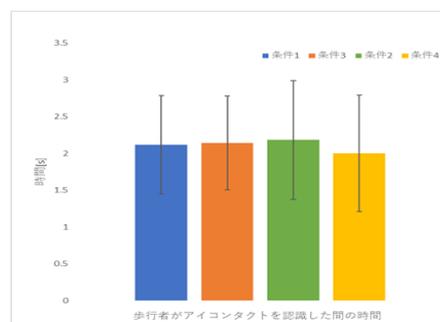


図 4: 歩行者がアイコンタクトを認識した平均時間

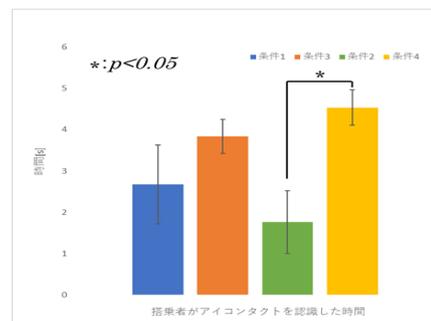


図 5: 搭乗者がアイコンタクトを認識した平均時間

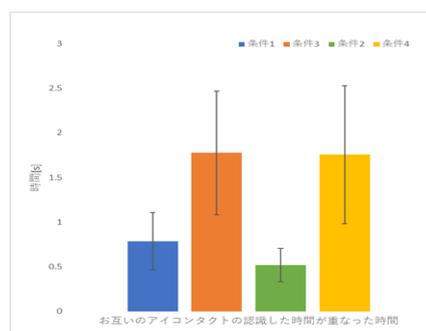


図 6: お互いのアイコンタクトの認識した時間が重なった平均時間

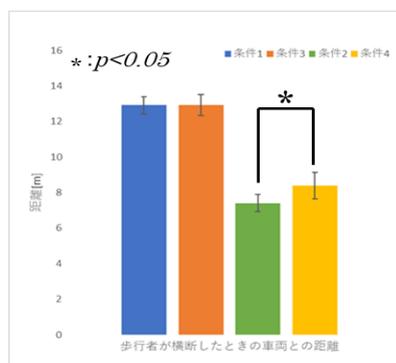


図 7: 歩行者と車両の距離

3.5 考察

前述の結果の要因として3つが考えられる。1つは、画像の解像度である。eHMIがない状態での相手とのアイコンタクトの判断基準として、相手の頭部の姿勢から判断しなくてはならず、実験後の搭乗者側の実験参加者から挙げられた意見として「球面型スクリーン上のバーチャルな歩行者の位置が遠い場合には、画質の問題で歩行者の頭部の姿勢が判断しづらい」という意見があった。これにより搭乗者側の実験参加者は歩行者の位置が遠い場合には歩行者が自分のほうに向いていたとしても認識できなかったことが考えられる。2つ目は、ゴルフカーの定速直進走行の実験設定である。実験後の歩行者側の実験参加者から挙げられた意見として「バーチャルな車両を横断する場合には、搭乗者に気を付けるのではなく、車両の速度をみて横断を行った」があり、歩行者側は、横断するときに搭乗者の頭部の姿勢の情報よりも、主に車両の動きに注目したと考えられる。3つ目は、搭乗者の視線計測方式の影響が考えられる。歩行者側の視線提示 eHMI は、HMD のイトラッカーの視線情報より作成したが、搭乗者の視線提示 eHMI は、搭乗者の頭部の姿勢のみによるデータから作成した。搭乗者が頭をある程度歩行者に向けた後に、目で歩行者を見ていたにもかかわらず、それがバーチャルな搭乗者の眼球の動きや eHMI の動きに反映されなかった可能性がある。そのため、歩行者側の実験参加者は、搭乗者に視線は向けられているがアイコンタクトできたとまで言えなかった可能性がある。

実験参加者への事後のヒアリングでは、「搭乗者側からだ歩行者の視線がある方が横断するタイミングがわかりやすい」「頭の姿勢からだけではアイコンタクトができたかどうか判断するには考えなくてはいけないが、視線の可視化が行われていれば即座にどこを見ているのか判断しやすい」「円錐状の視線の提示とともに周辺視野が提示されれば、搭乗者が歩行者を認識していることと注意を向けていることを判断しやすくなる」「車が直線の動きをしている場合には視線の可視化はあまり必要ないと感

じたが、車が直線以外の動きがある場合には車の速度だけではなく搭乗者の視線によって横断すべきか判断する」「映像の精度があがり、自身の体がバーチャル空間上で見られるようになれば現実空間と同程度のように感じられる」などの意見が挙げられた。また、大半の実験参加者からは視線提示 eHMI のほうがアイコンタクトをしやすいつとの意見が挙げられた。

以上より、ダイナミックに挙動が変わる歩行者の視線の eHMI は、搭乗者に対しては有効であることが示唆された。また、搭乗者の視線の eHMI は、本実験では歩行者には顕著に有効ではなかったが、車両が加減速を含む動きをした場合には、歩行者が搭乗者の視線をより確認する傾向ことが示唆されたと言える。これらの結果は、本研究で提案する評価システムが、eHMI の効果検証が可能なテストベッドとしての有効性を示すものと言える。

4. 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の構築手法を提案し、プロトタイプシステムを開発した。新たに考案した視線提示 eHMI の効果検証の評価実験を行い、搭乗者がアイコンタクトを認識した時間が伸びること、コメントや行動記録(図 7)から歩行者が移動物体の加減速に注目して行動が変化することなどを明らかにすることが出来た。これらより、テストベッドとしての有効性が示された。本システムを使用すれば、シェアードスペースにおける歩行者と車両の行動を記録することができる。実験後に実験中の行動の様子をバーチャル空間で再生しつつ、観察位置や経過時間も自由に設定でき、様々な角度から検証することが可能である。本システムは歩車混在空間での eHMI 開発の加速ツールの一つとなりうるものと言える。

今後は、例えば、どの部分に注意を向けているのか知らせるため、視線方向に加えて有効視野の可視化を行う eHMI などの開発や、歩行者の数、車両の数、生体情報などのデータの追加やそれらの可視化による評価環境の適用範囲の検証を続ける予定である。

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.ae.keio.ac.jp/site/research1.html>>, 2020年8月4日アクセス