

自動運転車両内エンフォテインメントのための VR ゲーム

石黒祥生^{†1} 山田献二郎^{†2}

自動運転車両は自己位置や障害物など、周辺環境を認識することで安全な走行を可能にする。そこで本研究では、これらの情報を利用したエンタテインメントシステムを構築し、自動運転車両内での新しい過ごし方を提案する。このシステムはエンタテインメントとして車両内で実際に動きや振動を反映させながら VR ゲームを楽しむなど、車両が把握している情報を反映したインフォテインメントとして、「オートメーションサブライズ」や自動運転に必要な「周辺監視」の問題解決に寄与することを目指す。

VR Games for Infotainment of Autonomous Driving Vehicle

YOSHIO ISHIGURO^{†1} KENJIRO YAMADA^{†2}

We propose the concept of novel VR interaction system with the autonomous driving vehicles. Our system import actual situations from real environment and convert it into the virtual environment on the basis of users' interest in real time. In this paper, we describe about design rule of that environment and evaluate it with autonomous vehicles. Furthermore, we also show the result of our experimental evaluation.

1. はじめに

本論文では、自動運転車両内でのインフォテインメントシステムとして仮想現実感 (Virtual Reality; VR) ゲームシステムを提案する (図 1)。これはあらかじめ作成した VR 環境に没入するだけでなく、自動運転車両が認識している現実環境の状態をリアルタイムで反映させ、“その時その場所の現実環境”に基づいた仮想環境を構築する。これにより自動運転車両の乗員が楽しく快適に移動できる環境の構築を目指す。

自動運転車両は安全な走行を実現するために、LiDAR (Light Detection and Ranging) センサ、カメラなど多くの高性能センサを利用し周辺環境を認識している[22,23]。これらにより得られる車両のリアルタイム位置姿勢や、障害物などの情報を組み合わせ構築する「現実環境仮想化空間」での楽しく面白い体験を通じて、“没入型 VR ゲームをクリアしていくことで目的地に到着している”という新しいドライブを実現する。

自動運転技術は制御技術、信号処理技術の研究成果を元に高度なセンサ群とさまざまな認識処理技術[6-9]により実現されつつあり、企業や大学で活発に研究されている[1]。一方で自動運転車両を利用する乗員はどう過ごすのか、あるいは自動運転が実現した際、「車が自動で走行する」以上になが可能になるのか、というような研究は多くない。例えば車両内でリビング環境を再現し、読書や映画観賞などをする、といったコンセプトはあるが、自動運転車両を活用した新しいエンタテインメントは提案されていない。本論文では自動運転技術が当たり前になった時代を想定し、

自動運転技術で起きると想定される下記 2 点の問題の解決を目指すとともに新しい自動運転車両内エンタテインメントを提案する。

1. オートメーションサブライズ
2. 周辺監視の必要性

「オートメーションサブライズ」とは、「自動化された機械の挙動に人が驚くことで問題が発生する」という現象のことである。状況を判断しながら複雑な処理を自動的に行うシステムは、多くの高精度センサや処理システムから構成される。古くから自動化が進められている航空機産業では、民間旅客機事故のうち、従来はコンピュータの誤判断が 8 割を占めていたが、技術の進歩により、近年では人間によるミスに起因するものが 8 割と逆転している[5]。人と同等以上に環境を理解することで実現される自動運転車両において、人にその状態をどのように伝えるのかという「オートメーションサブライズ」問題は自動運転車両内で過ごす乗員の快適さを低下させてしまうと考える。

次に「周辺監視の必要性」に関しては、前述のように高性能なコンピュータにより実現される自動運転においても、

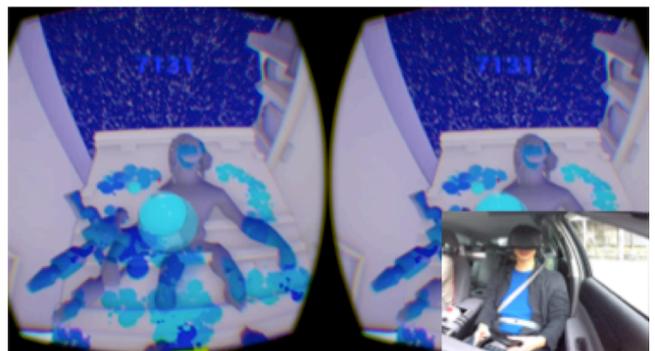


図 1 自動運転車両インフォテインメント VR システム

Figure 1. Immersive VR game for Autonomous Driving Vehicle

^{†1} 名古屋大学 未来社会創造機構
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University
^{†2} 名古屋大学大学院 情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

方が一を考える必要がある。米国運輸省国家道路交通安全局は自動運転技術を5段階のレベル（レベル0から4）に分けており[2]、緊急時には乗員が対処する必要があるレベル3、すべてを自動運転車両がカバーするレベル4である。レベル3では、一部が自動運転となるため、人が運転可能なように周辺を監視する必要がある。またレベル4では乗員は運転以外の好きなことをして過ごすことができるが、自動車の挙動や周囲の状況を把握しないまま乗車することは、酔いや不快感に繋がると考えられる。

本研究ではこのような問題を解決するために行った下記の2の研究について報告する。

1. 自動運転車両情報を共有するVR環境の構築
2. VR環境内での情報提示による乗員への影響

これらの研究を通じて現実環境仮想化空間で過ごすことでゲームなどのエンタテインメントを通じて、現実環境の状態をコンピュータと共有しつつ、車両の振動や動きと連動した視覚提示を可能にすることを目指した。本論文では実際に没入型VR環境による情報提示が乗員の体感に影響を及ぼすかを評価した結果について報告する。

2. 関連研究

仮想現実感 (VR) 技術はこれまでもゲームなど様々な開発が行われていた。特に近年では、HMDの低価格化が進み、利用が容易となり、多くの没入型VRゲームが登場している。これらVR技術は、非日常的な体験を提供することができる。その中でユーザは仮想物体を操作したりすることができる[17-19]。VR技術は仮想環境の提示を目的とし、現実環境とは大きく異なる体験が可能になる。また一部に現実の状況を反映する拡張仮想感の研究もある[17]。

一方で拡張現実感 (AR) 技術は現実環境に対し仮想物体を重畳するなど、現実感を拡張することを主眼としている[16, 19-21]。現実環境に注釈情報を追加することであたかもそこに仮想物体があるかのように体感することができる[4]。情報を追加するだけでなく減らす隠消現実感 (DR) の研究 [20] や情報を置き換える代替現実感 (SR) [10] の研究も行われており、現実から得られる情報を取捨選択、拡張することで、情報を現実環境に溶け込ませることができる。これらの技術を実現するためには視点（あるいはカメラ）がどこにあるかを計測する必要があり、専用のセンサや、マーカ、カメラ映像から抽出される自然特徴点 [3] などを用いて位置姿勢推定を行っている。

また、位置情報を用いたエンタテインメントとして、イングリッシュやポケモン Go といったゲームがある。これらは全世界で700万人以上（イングリッシュ, 2014年9月）がプレイするなど、位置情報を反映したゲームの価値の高さを伺うことができる。

そこで、本研究では、車両から得られる高精度位置姿勢情報を元に、現実環境での乗員の視点位置姿勢を推定し、

情報提示を行うシステムの実現を目指す。さらに自動運転車両が認識している現在位置情報、地図情報、周辺環境の情報を利用し、エンタテインメント性の高い仮想空間を構築する。コンピュータにより現実環境から得られる情報を取捨選択、仮想環境の構築要素に変換し、ユーザに提示する。またユーザが仮想環境内で行った行動、選択などもコンピュータにより取捨選択され、現実環境にフィードバックする、あるいは仮想環境内だけでフィードバックされるといった表現を行う (図2)。これを我々は「現実環境仮想化」と定義し、これにより、現実環境の情報をリアルタイムで反映した仮想環境を構築し、あたかも仮想空間内に没入しているように感じながら現実空間で移動している、という現実環境の仮想化を実現する。

3. 自動運転車両用エンタテインメント

自動運転車両は従来の車両におけるエンタテインメントシステムとは異なり、膨大なデータを扱い、また、乗員は運転動作をシステムに依存するため、必要となる情報提示内容、手法が異なると予想される。また、これらの情報を用いることで、従来では不可能だった新しい車内エンタテインメントが可能になると考える。そこで本章ではこれから実現される自動運転車両においてどのような情報提示が必要となるか、現状の自動運転実験車両の状況から予測する。

3.1 自動運転実験車両の構成

本研究では我々の利用している自動運転実験車両の構成を元に、自動運転でどのような情報が得られるかを設定した (図3,4,5)。この車両は他の研究で利用されている車両と概ね同じ構成である[11-15]。

まず、車両のCAN (Controller Area Network) から得られる情報として速度、舵角など車両の基本的な状態がある。また自動運転実験車両に搭載されているセンサとしてGNSS(GPS)、LiDAR、信号などの状況を計測するカメラがある。LiDARは周囲360度を垂直26.8度の範囲(計130万点)を最大120m、 $\pm 2\text{cm}$ の誤差で計測することができる(HDL-64E)。また、ミリ単位の精度を持つ高精度3D地図情報、信号や標識の位置、レーン情報を含むベクター地図を事前に保存している。これらのセンサ情報から自己位置姿勢、歩行者、道路上の他の車両、障害物、信号の状態、走行ルート、走行レーンなどの状態を推定している[1]。また、周辺の危険予測などを行うことで安全な完全自動運転が可能になると考えられ研究されている。

3.2 自動運転におけるオートメーションサプライズ

自動運転車両研究で利用されているLiDARは車両周囲360度を最大120mの範囲で1秒間に10回以上高精度に距離計測することができる。また、全周囲を撮影するカメラも搭載している。一方で人は1秒間に10回も首は回らず、距離の認識能力も不安定である。そのため、自動運転システムは安全と判断して走行していても人が不安に感じたり、

突然の挙動に驚いてしまったり、という問題が起きる。さらに自動運転車両は通信技術を用いて互いに連携しあい、情報を共有することで、例えば数センチの車間距離で走行するなど、人間よりも高い能力を発揮できる性能を持つが、人間同士では連携すればするほどコミュニケーションの齟齬や能力差により問題が起きる可能性が高くなる。その結果、人と情報共有ができず、理解を越えた挙動に対して驚くという「オートメーションサプライズ」の問題が発生する。そこで乗員に適切な情報提示を行う必要がある。

3.3 自動運転車両において乗員と共有する情報

自動運転車両は多くのセンサからの信号を処理し、認識、予測、判断などの処理を行っている。これらの情報を「安全に寄与する情報提示」と「エンタテインメントとしての情報提示」の2種類の提示方法に分け、検討を行う。

3.3.1 安全に寄与する情報提示

従来の自動車で利用されてきたカーナビゲーションなどでは、GPSを用いた位置情報を取得していたが、自動運転車両では高精度三次元点群地図情報を元に数cm誤差の位置姿勢推定が可能であり、さらに三次元情報であるため、任意の視点からの映像生成が可能である。この任意視点からの周辺情報提示は、これまで駐車時に鳥瞰視点から他の停止車両との位置関係を把握するために用いられている。複数の広角カメラを専用に配置し画像処理により鳥瞰視点映像を生成しているが、三次元データを利用、取得している自動運転車両では、鳥瞰視点だけでなく任意視点映像を生成、提示することができる(図6)。

また、加速、減速、停止、車線変更など、車両がこの先行う挙動の情報を共有することでオートメーションサプライズを低下させることができると考える。これは例えば従来のアクティブセーフティ技術における注意喚起のような、アノテーションをモニタ上に出す、警告音を鳴らす、という方法が考えられるが、本研究では、これらの情報をエンタテインメントとして活用する。

3.3.2 エンタテインメントとしての情報提示

高精度三次元点群地図を元にゲームデザインに適した環境を構築することができる。高精度三次元点群地図から車両が侵入できない部分(段差やビルなどの建築物など)が

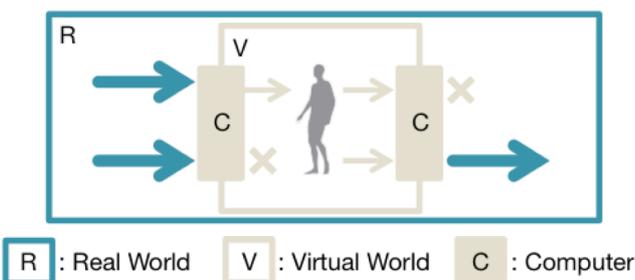


図2 現実環境仮想化の概念図

Figure 2. Our proposed method for in-vehicle information presentation system

分かるため、この地図データを元に仮想物体を配置したり、点群からメッシュを自動生成したりすることで、ゲームのステージを構築する。このステージ情報とリアルタイム高精度位置情報を用いることで、FPS (First Person Shooting) ゲームや“ポケモン Go”のような位置情報を活用したゲームを構築し、現実環境の位置に基づいてプレイすることができる。

さらに、安全に寄与する情報提示を組み合わせることも可能である。信号での停止、停止車両や障害物の回避など加減速が発生する状況は自動運転車両が把握しているため、これらの情報をゲームに反映させることで、新しいエンタ



図3 本研究で用いた自動運転実験車両。車両上部に搭載されているのがLiDARセンサ。

Figure 3. The testing vehicles for self-driving with our propose method. The LiDAR module is mounted on the vehicle.



図4 自動運転車両内の様子

Figure 4. Interior of the autonomous driving vehicle

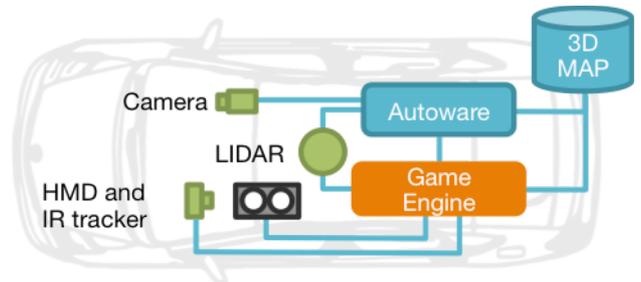


図5 実験システム構成図

Figure 5. The system diagram for evaluation of our proposing real oriented virtuality with self-driving vehicle.

テインメントシステムが可能になる。たとえば、HMD (Head Mounted Display) を用いて没入している仮装環境において、「信号停止」を交差点の位置に「巨大な障害物が現れる」、「障害物の回避」を障害物の位置に「登場したモンスターが襲ってくる」といったイベントに変換する。これにより、乗員は車両の停止や回避運動に起因する物理的動作を体感しながら没入することで、その加減速感の理由をゲームの表現として体感することができる。これにより、「信号による停止」という乗員にとって価値のない動作を「敵と戦うために停止」といったエンタテインメントとして体感できる。

3.4 自動運転車両向け VR ゲームの構築

前述の情報提示を実際に構築するために、自動運転実験車両を用いて情報提示システムの実装を行った。実験車両の自動運転機能を制御する Autoware [8] からリアルタイム位置姿勢情報、ルート情報、障害物情報を取得し、仮想空間を描画し HMD を用いて乗員に提示する。現実環境での変化をイベント、大きく変化しない地形や建物、信号の位置などを反映したものをステージと呼ぶ。本研究では VR ゲームを作成するために、ゲームエンジンとして Unreal Engine を利用した。

3.4.1 高精度三次元点群地図を元にしたステージ生成

事前に高精度三次元点群地図データからステージを生成する。この実装方法として

1. 点群データをそのまま利用
2. 点群データからメッシュを生成
3. 点群データを元にオブジェクトを配置

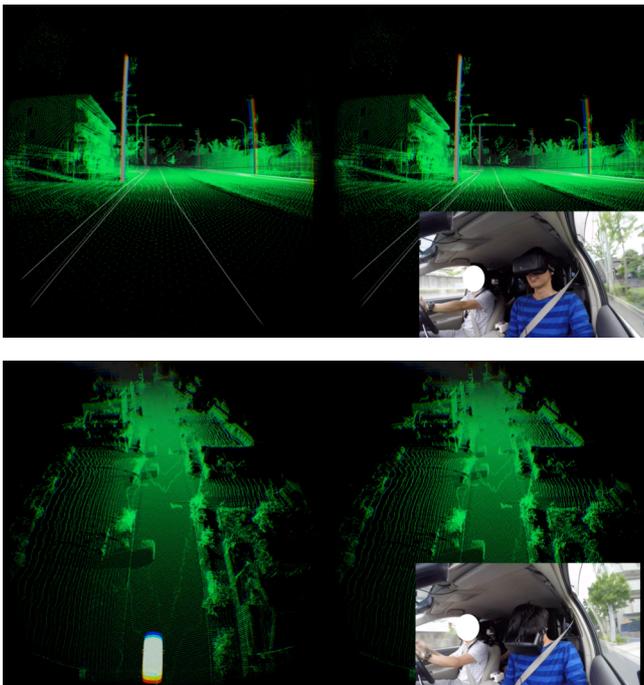


図 6 仮想空間内での主観視点と鳥瞰視点

Figure 6. First person view and birds view in VR environment.

がある。1. 点群データをそのまま利用では、地図データをそのまま利用できるため、事前準備は必要ないが、ゲームエンジンなどを利用する場合、描画の負荷が大きい、衝突判定などができないなどのデメリットがある。これはゲームエンジンの物理シミュレーションや衝突判定、描画速度の最適化などがメッシュデータを前提として設計されているためである。2. 点群データからメッシュを生成では、メッシュ生成アルゴリズムを用いることで、事前に点群からメッシュを生成できる。また、メッシュ化によりゲームエンジンの衝突判定などが利用できる。デメリットとしては、メッシュ生成が難しい細かな物体（電線など、大きさに対して点群数が十分ではない物体）の再現が難しい点がある。3. 点群データを元にオブジェクトを配置では、車両の侵入不可能な領域が点群地図データにより分かるため、そこに任意の三次元形状を配置することでステージを作成する（図 8）。作成は手作業であるため時間がかかるが、任意のデザインをすることが可能である。

3.4.2 変換ルールによるイベント生成

作成したステージにおいて、現実環境の変化に応じたイベントを作成することでゲーム性を高める。あらかじめ信号の状態や歩行者、障害物検出などをどのように表現するかの変換ルールを設定することで、状態に応じて自動的にイベントを発生させることができる（図 8）。交差点の中心や標識、信号機の位置などはベクター地図情報により取得することができるため「赤信号時に交差点の中心に敵モンスターを表示」「信号が青に変わり、まだ敵モンスターを攻

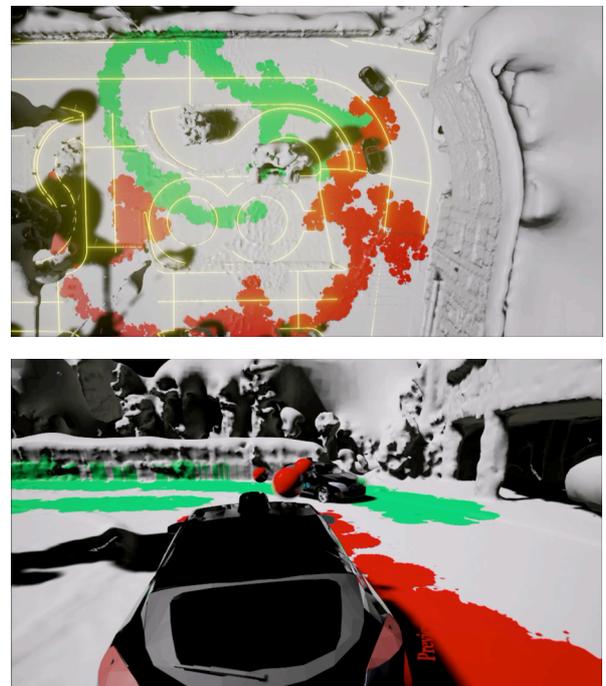


図 7 点群地図からメッシュを自動生成した例。背景の白い部分が自動生成されたメッシュ

Figure 7 Mesh data is automatically build from 3D point cloud map data (white building and ground)

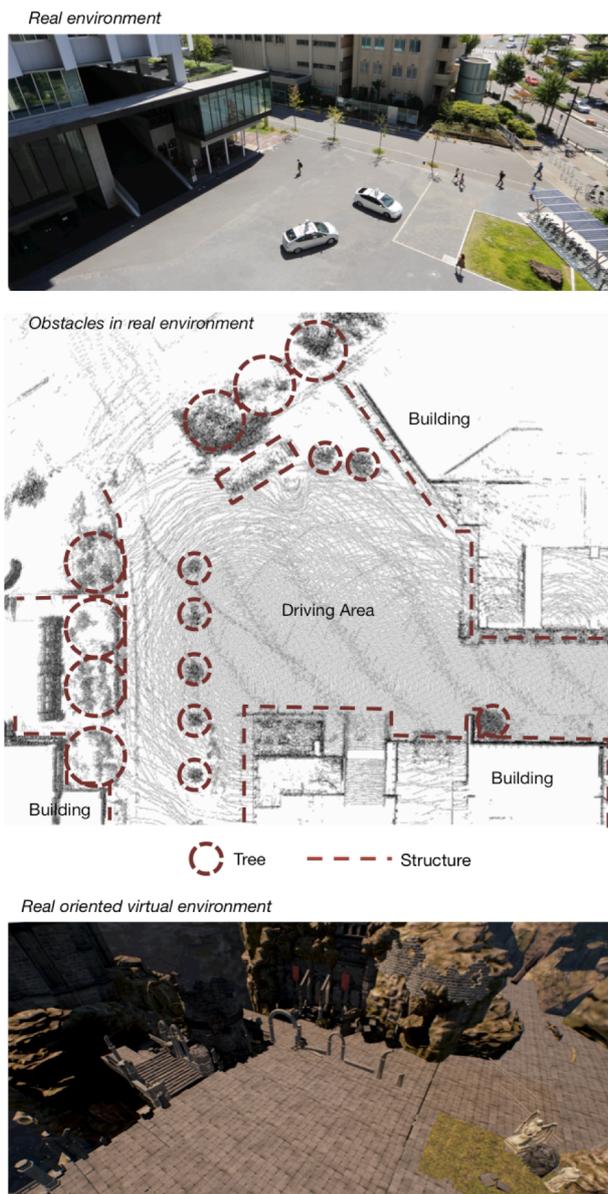


図 8 現実環境（上）から得られた点群地図情報（中）を元に手作業で仮想物体を配置した例(下)

Figure 7. Fully designed VR environment based on 3D point cloud map data captured from real environment.

略できていない場合には支援キャラクタを登場させる」という処理が可能である。地球上すべてにおいて位置に応じたイベントを手動で設定することは困難だが、この変換ルールを設定しておくことで、同一条件の状態をシステムが検出した場合に半自動的にイベントを発生させることができる。実際に作成した例を図9に示す。

4. 実験：情報提示による乗員の反応評価

自動運転を実現する上で利用する情報を可視化、提示することにより、車両の動きと乗員の判断が一致するかを確認するために実験を行った。この提示情報から乗員が予測する次の動作と車両の動作が一致することでオートメーションサブライズを低下させることができると考える。

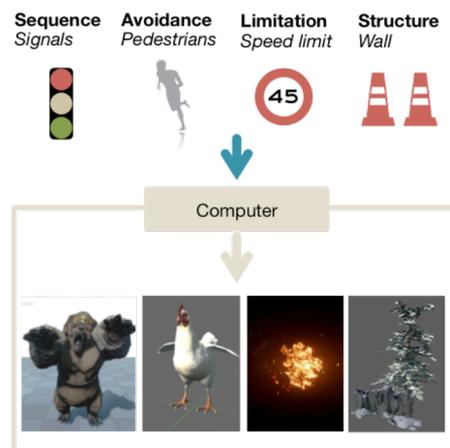


図 8 変換ルールの設定例

Figure 8. An example of the data conversion rule.

4.1 実験内容

提示情報から乗員が判断する次に行うべき動作が車両の実際の挙動と一致するかを確認するために、ブレーキ判断が車両挙動と一致するかどうか実験を行った。車両は規定のコース(約 1.5km)を走行し一時停止指示箇所まで停止する。乗員はブレーキを踏む必要があると感じた場合にブレーキペダルを操作する。この際の車両位置、ブレーキ入力を記録する。この実験を現実環境 (HMD 装着なし) と仮想環境 (HMD 装着) の 2 回行い乗員の反応を比較する。なお仮想環境のみコース上に現実環境には存在しない停止位置を 1 箇所設定し、1 箇所では仮想環境では情報提示を行わない。停止位置は現実、仮想環境共に計 6 箇所設定する。被験者は 21 歳から 23 歳の 8 名。仮想空間での情報提示内容は図 10 に示す。

4.2 実験準備

前述の実験を行うために、自動運転実験車両に搭載された制御ソフトウェア (Autoware) とゲームエンジン (Unreal Engine 4.10) を接続し、HMD (Oculus Rift DK2) による情報提示を行う。ゲームエンジンは白線情報、建物情報などを持つベクター地図データを表示し、単純な情報提示を行う。また、現実環境での停止指示位置に車両が接近すると、停止させるための仮想物体が HMD を通じて三次元仮想環境内に提示される。描画レートは 60~70 FPS 程度。三次元点群地図及びベクター地図は事前に作成しておく。また、車両位置姿勢情報は制御ソフトウェアにより推定される。被験者は助手席に着席し、シートベルトを装着する。また、車両の助手席側に追加のブレーキペダルを設置し被験者は必要に応じてペダルを操作できる。この操作は車両の挙動には影響しない。また、実験は安全のため運転操作に関してはオペレータによる運転とする。走行速度はコースに設定されている制限速度 (時速 25Km) 以下で実験を行った。

4.3 実験結果

被験者 8 名のうち 1 名の実験結果を図 11 に示す。この図

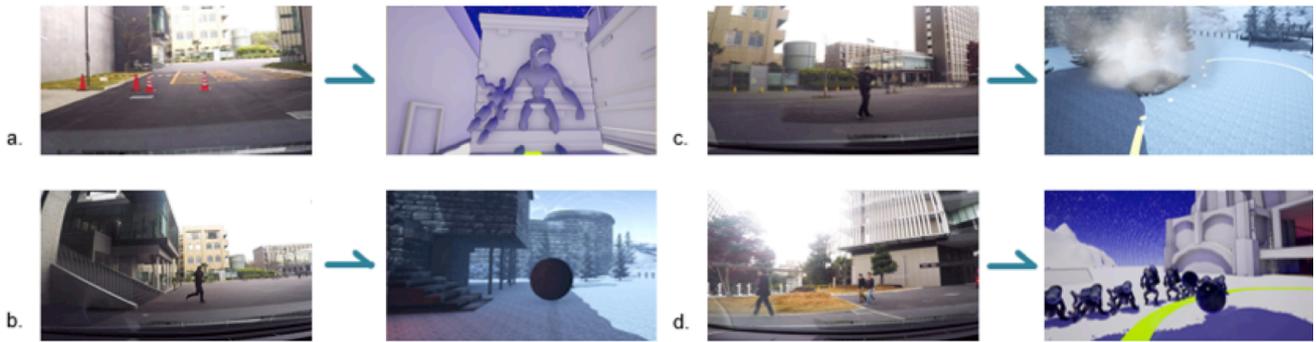


図 9 現実空間の状況と仮想空間の状況の実時間での対応の様子

Figure 9. Examples of real-time information conversion from real environment to virtual environment

は、仮想空間中で被験者がブレーキを操作した位置を示しており、仮想空間でのすべての一旦停止指示でブレーキを操作していることがわかる。また、1箇所は現実環境とは異なる停止位置(図 11 緑丸で示した位置)であるが、仮想環境では、提示された情報によって停止しようとして操作していることがわかる。その他の被験者の結果と合わせると、全 6 箇所の停止指示位置対し実際操作が行われたのは、現実空間では平均 4.5 箇所(被験者最低 2 箇所)で停止操作が行われ、仮想環境では平均 5.6 箇所(被験者最低 3 箇所)での停止操作が行われた。全ての被験者で仮想環境での適切な停止操作は増えた。またこの二つの実験結果は有意傾向がある ($0.05 < p < 0.1$)。

4.4 考察

実験結果から、仮想空間での情報提示によって乗員の挙動が変化したと言える。また、現実環境で助手席に着席している被験者が一旦停止を見逃すなどといった行動をしているのに対し、仮想空間ではわかりやすい表示を大きく出すことができるため、被験者の見落としは現実環境に比べ少なくなった。さらには、実際には停止する必要がない場所で仮想物体を提示することで、被験者がブレーキ操作することも確認した。これにより、乗員の挙動を制御することが示唆された。また、仮想空間で表示する障害物の形状によってブレーキを踏み始めるタイミングが異なる傾向が見られたため、より被験者数を増やして検討を行う予定である。実験後にアンケートを行ったところ、軽い映像酔い(これまでの映像酔いで一番酷かった体験を 5 とした評価で平均 1 と回答)をしたと答えた被験者が 5 名いた。この映像酔いについては今後評価を行っていく予定である。

5. おわりに

本論文は自動運転車両内インフォテインメントシステムの構築に向け、あらかじめ作成した VR 環境に没入するだけではなく、自動運転車両が認識している現実環境の状態をリアルタイムで反映させ、“その時その場所の現実環境”に基づいた仮想環境の構築を行った。

自動運転車両の特性、収集しているセンサ情報や位置姿

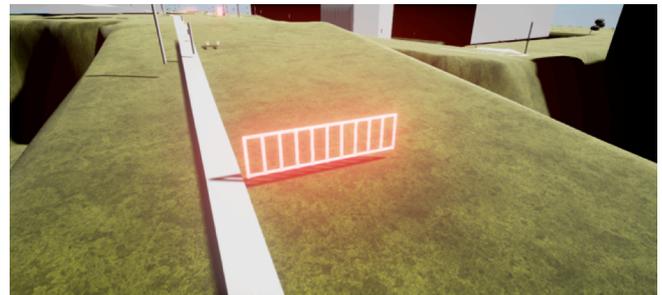


図 10 道路をふさぐオブジェクト

Figure 10. Road barrier object in virtual environment.



図 11 被験者 1 名分の実験結果(仮想環境)

Figure 11. result of a participant

勢推定結果、認識結果を用いることで、HMD の位置姿勢を推定し実際に車両内で没入型 VR システムを構築することができた。

また、実験の結果から提示する情報によって乗員による「車両の次行動の予測、共有」が可能なことも明らかになった。被験者のコメントから、実際の車両の振動と映像の同期による効果や VR 酔いの影響の低下などが示唆されており、今後の研究課題とする。特に酔いに関しては、電車など他の移動手段に比べ加減速、方向転換などの頻度が高い自動車においては例えば読書などを行うことは酔いが発

生しやすいと考えられ、その車両内での過ごし方に大きな影響を与える。このような問題を明らかにし、どのような情報提示手法が適切かの検討要素は非常に多い。また、活用する車両情報を増やし、よりエンタテインメント性の高いゲームなどの没入型システム、あるいはタブレットなどの画面を用いた位置連動ゲームなどの可能性を追求し、自動運転車両以外にも、同様に高度な情報処理を行うシステムを人が利用する場合における情報提示技術のあり方の検討をより一層深めていきたい。

謝辞 本研究は、JST、ACT-Iの支援を受けたものである。

参考文献

- 1) S. Kato, E. Takeuchi, Y. Ishiguro, Y. Ninomiya, K. Takeda and T. Hamada, "An Open Approach to Autonomous Vehicles," in *IEEE Micro*, vol. 35, no. 6, pp. 60 - 68, 2015.
- 2) "Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles", http://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf
- 3) Georg Klein and David Murray. 2007. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. In *Proceedings of the 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '07)*. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 1-10.
- 4) Jun Rekimoto and Katashi Nagao. 1995. The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology (UIST '95)*. ACM, New York, NY, USA, 29-36.
- 5) "The MEDA process is the worldwide standard for maintenance error investigation", http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_07/AERO_Q207_article3.pdf
- 6) Fairfield, N.; Urmsom, C., "Traffic light mapping and detection," in *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on*, pp.5421-5426, 9-13 May 2011
- 7) de Charette, R.; Nashashibi, F., "Real time visual traffic lights recognition based on Spot Light Detection and adaptive traffic lights templates," in *Intelligent Vehicles Symposium, 2009 IEEE*, pp.358-363, 3-5 June 2009
- 8) Felzenszwalb, P.F.; Girshick, R.B.; McAllester, D.; Ramanan, D., "Object Detection with Discriminatively Trained Part-Based Models," in *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol.32, no.9, pp.1627-1645, Sept. 2010
- 9) "Autoware", <https://github.com/cpfl/autoware/>
- 10) Suzuki, Keisuke, Sohei Wakisaka, and Naotaka Fujii. 2012. Substitutional Reality System: A Novel Experimental Platform for Experiencing Alternative Reality. *Scientific Reports*.
- 11) Buehler, Martin and Iagnemma, Karl and Singh, Sanjiv "Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge", Springer Tracts in Advanced Robotics, Springer Berlin Heidelberg, vol. 36, pages 1-43, 2005.
- 12) Junqing Wei; Snider, J.M.; Junsung Kim; Dolan, J.M.; Rajkumar, R.; Litkouhi, B., "Towards a viable autonomous driving research platform," in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2013 IEEE*, vol., no., pp.763-770, 23-26 June 2013
- 13) Christopher A. Rouff. "Introduction: DARPA Urban Grand Challenge", *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*, Vol. 4, No. 12 (2007), pp. 1046-1046.
- 14) Geiger, A.; Lenz, P.; Urtasun, R., "Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite," in *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on*, pp.3354-3361, 16-21 June 2012
- 15) Chris Urmsom, Joshua Anhalt, Drew Bagnell. *et al.*, 2008. Autonomous driving in urban environments: Boss and the Urban Challenge. *J. Field Robot.* 25, 8 (August 2008), 425-466.
- 16) Ronald Azuma, Yohan Baillot, Reinhold Behringer, Steven Feiner, Simon Julier, and Blair MacIntyre. 2001. Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Comput. Graph. Appl.* 21, 6 (November 2001), 34-47.
- 17) 1992. Research directions in virtual environments: report of an NSF Invitational Workshop, March 23-24, 1992, University of North Carolina at Chapel Hill. *SIGGRAPH Comput. Graph.* 26, 3 (August 1992), 153-177.
- 18) Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, Robert V. Kenyon, and John C. Hart. 1992. The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. *Commun. ACM* 35, 6 (June 1992), 64-72.
- 19) Steven Feiner, Blair MacIntyre, Tobias Hollerer, and Anthony Webster. 1997. A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment. In *Proceedings of the 1st IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC '97)*. IEEE Computer Society, 74-.
- 20) Steve Mann and James Fung. 2002. EyeTap devices for augmented, deliberately diminished, or otherwise altered visual perception of rigid planar patches of real-world scenes. *Presence: Teleoper. Virtual Environ.* 11, 2 (April 2002), 158-175.
- 21) Shinji Uchiyama, Kazuki Takemoto, Kiyohide Satoh, Hiroyuki Yamamoto, and Hideyuki Tamura. 2002. MR Platform: A Basic Body on Which Mixed Reality Applications Are Built. In *Proceedings of the 1st International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '02)*. IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 246-.
- 22) Kurt Dresner and Peter Stone. 2008. A multiagent approach to autonomous intersection management. *J. Artif. Int. Res.* 31, 1 (March 2008), 591-656.
- 23) <http://www.theenergycollective.com/jemillerep/464721/self-driving-car-technology-s-benefits-potential-risks-and-solutions>