

自動運転カートの位置情報を用いた 移動を考慮したプロジェクションマッピング

安 素羅¹ 水野 慎士¹

概要: 本研究では, 自動運転カートに設置したプロジェクタを用いて地面に対して映像を投影するプロジェクションマッピングシステムの開発とコンテンツ制作を行う. 自動運転カートは決められたルートを走行するために自車の位置情報を常に取得している. そして, プロジェクションマッピング映像にも位置情報を反映させる. そのため, カートの移動に応じて内容が変化するプロジェクションマッピングを実現することが可能となる. エンタテインメント向けコンテンツを試作した実装実験では, まるで車のヘッドライトに照らされてキャラクタ等が出現したようなプロジェクションマッピングが実現できることを確認した.

Projection Mapping Considering the Movement of an Auto-Driving Cart Using the Position Information

SORA AHN¹ SHINJI MIZUNO¹

1. はじめに

自動車の分野において自動運転の技術が大きく進んでおり, 一部は実用化されている. 例えば, 高速道路などで運転者の監視のもとでアクセルやハンドルを操作したり自動追い越しをしたりする自動運転レベル2は多くの自動車会社が市販しており, 運転者の周囲への監視義務が一部免除される自動運転レベル3に対応した自動車も2021年3月に市販が開始されている [1]. そして, 高速道路などの特定条件下ですべての運転操作をシステムが行う自動運転レベル4は2025年の実用化を目指して開発が進んでいる [2].

公道以外での自動運転はより実用化が進んでいる. 例えば, 人, 物などを認識して減速や停止を自動的に行う電磁誘導式カートが開発されており, ゴルフ場などで実際に使用されている [3]. ソニーとヤマハは電磁誘導や遠隔操作によって運転者不在で走行可能で, 車体側面や内部に大型ディスプレイを装着したソーシャブルカート「SC-1」を開発して, ホテル, 植物園, ショッピングモールなどでエンタテインメント用途で実用化している [4]. また, トヨタ

紡織は自動運転によって移動可能なインテリアスペース「MOOX」を開発している [5].

そして近年, あらゆる移動を1つのサービスにとらえてシームレスにつなぐMaaS (Mobility as a Service) という概念が注目を集めている. MaaSの概念にはいくつものレベルがあり, カーシェアやライドシェアが特に注目されているが, 移動時間の低減や有効活用も重要な要素である. 特に自動運転の技術が進めば, 車での移動に運転者が不要になるため, 移動時間の新たな活用法がより求められることになる. そして, Rinspeedは自動運転中の車内をリビングルームとするコンセプトカー「XchangeE」を提案しており [6], Audiも自動運転時代の新しい車内の楽しみ方を実現する「Audi Immersive In-Car Entertainment」を提案している [7]. 先に挙げたSC-1やMOOXも, 移動中の新たなサービスの提供が一つの開発目標となっている.

そこで, 本研究では自動運転中の車での新たなサービスの提供方法としてプロジェクションマッピングに着目する. そして, 自動運転車としてトヨタ紡織の自動運転カートMOOXを利用して, MOOXの前方地面に映像を投影するプロジェクションマッピングシステムの開発, およびエンタテインメント向けコンテンツを試作した. このプロジェクションマッピングシステムでは, 自動運転のための

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer
Science, Aichi Institute of Technology

位置情報を用いて、MOOX の位置や方向に応じて投影する映像を変化させる。そのため、MOOX に乗っている人は移動に応じて内容が変化するプロジェクションマッピングを車内から鑑賞することができる。また、MOOX は低速で移動するため、車外の人も地面に投影されながら内容が変化する映像を鑑賞することができる。

2. 関連研究

本研究と同様に、車などの移動体から映像を投影するプロジェクションマッピングはいくつか行われている。メディアアートグループ VJ Suave は、自転車にプロジェクタを設置して、移動しながら建物に映像を投影する Suaveciclo を提案してパフォーマンスを行っている [8]。ただし、自転車の位置情報や移動情報は映像に反映されていない。榎原らは台車にプロジェクタを搭載して、台車の位置をレーザセンサで追跡しながら、台車の移動に応じて映像を変化させるプロジェクションマッピングシステムを提案、開発している [9]。ただし、移動ができるのは小さな範囲に限られている。

そして、ソーシャブルカート SC-1 では自動運転中のカートの位置情報を用いた映像コンテンツがいくつか開発されている。例えば、カートに乗車して車外カメラ映像に CG が合成された AR 映像を鑑賞する「ムーンライトクルーズ」が開発されている [10]。著者らのグループはカートの位置情報を利用することで、カート側面の映像とカートが走行する床面の映像が連動するプロジェクションマッピング作品を制作している [11]。また、カートに乗って手描き絵から生成された三次元 CG 空間に没入して移動することができる「らくがきクルーズ」を制作している [12]。なお、ここで挙げた SC-1 を用いたコンテンツでは、カートの位置は電磁誘導データやレーザセンサを用いて取得している。

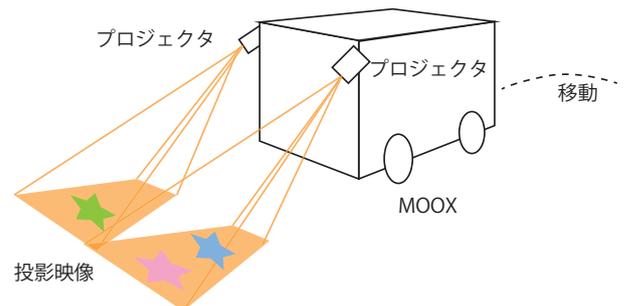
3. 提案システムについて

図 1 に提案システムの概要を示す。使用する自動運転カートはトヨタ紡織の MOOX である (図 1(a))。MOOX は完全自動運転を見据えたコンセプトカートで、自己位置や方向は GPS、コンパス、加速度センサ等で取得しており、周囲情報も三次元 LiDAR で取得している。そして、あらかじめ経路を設定することで、障害物などを考慮しながら完全自動で運転することができる。車内は全方向がガラス張りになっており、オプションで透明ディスプレイを設置することもできる。乗車定員はレイアウトによって変更可能で、通常は 3 名となっている。本研究では MOOX 車内に新たにプロジェクタを 2 台設置するとともに、MOOX の位置情報に基づいて投影映像を生成する PC も設置している。

そして、設置したプロジェクタで MOOX 前方の地面に映像を投影する (図 1(b))。このとき、投影映像に MOOX



(a) MOOX



(b) コンセプト

図 1 提案システムの概要

の位置情報を適用する。つまり、MOOX が停止しているときは投影映像も静止しており、MOOX が動き始めると投影映像も動き始める。ここで、投影映像の変化は移動速度や移動方向に合わせる。そのため、MOOX が移動すると投影映像も変化するが、車外から映像を観察したときには投影映像中の物体は地面に止まった状態となる。そのため、例えばプロジェクタ映像を MOOX のヘッドライトと見なしたような映像を生成することで、MOOX の移動によってヘッドライトで地面が照らされて、今まで見えなかったキャラクタ等も照らされて出現したような効果が得られることが期待される。

4. 実現方法

4.1 位置情報と方向情報の取得

本研究で提案するシステムでは MOOX の位置情報の取得が必要となる。MOOX は自動運転のために GPS データに基づいてあらかじめ経路を設定しており、走行中の自車位置は 1cm の解像度で三次元座標として取得することができる。そこで、プロジェクションマッピングシステム用の PC を MOOX の制御システムと有線 LAN で接続して、毎秒 3 回の頻度で MOOX の三次元座標を WebSocket プロトコルで取得している。なお、三次元座標は MOOX の自動運転経路の基準点を原点とする相対座標であり、システムでは標高データを除く二次元座標を用いている。そして、取得した二次元座標の現時刻の値と一つ前の時刻の値

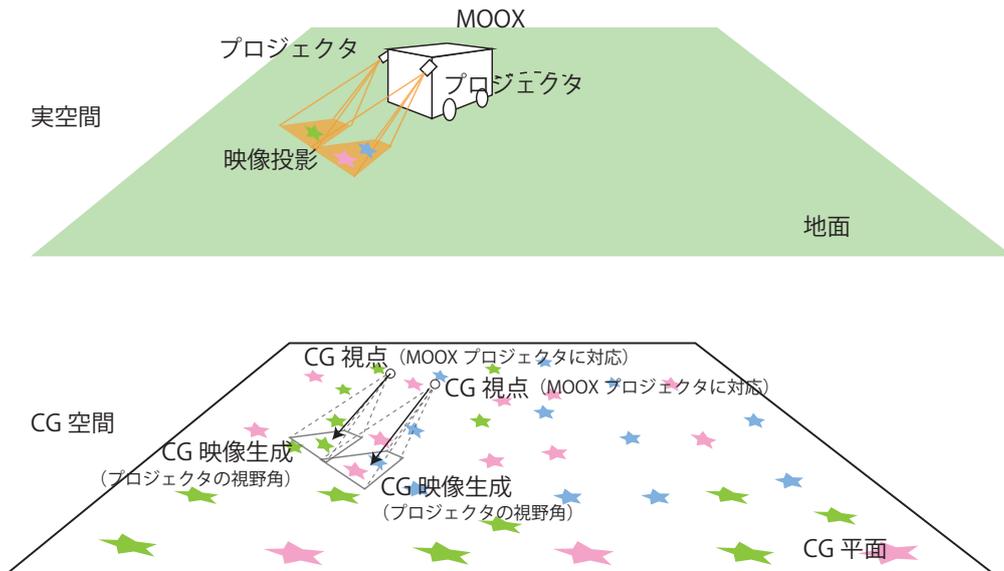


図 2 実空間の位置関係を再現した CG 空間

を 10 分割することで毎秒 30 回の補間データを生成する。

システムでは MOOX の方向情報の取得も必要となる。MOOX はコンパスや加速度センサに基づいた自車方向の情報を持っている。そこで、システムは位置情報と同じように毎秒 3 回の頻度で MOOX の方向を示すクォータニオンを WebSocket プロトコルで取得して、鉛直軸周りの方向を求める。そして、現時刻の値と一つ前の時刻の値を 10 分割することで毎秒 30 回の補間データを生成する。

次節で述べる投影映像の生成では、位置情報、方向情報とも毎秒 30 回の補間情報を用いる。

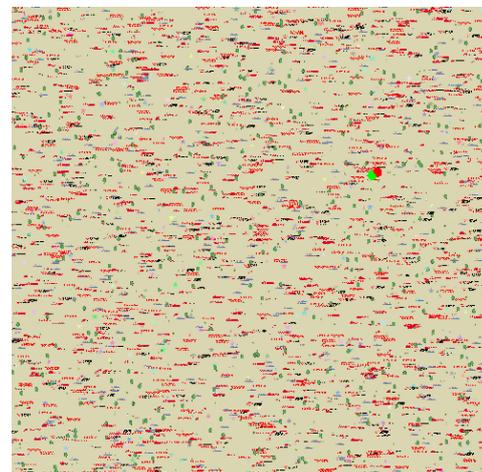
4.2 投影映像の生成と投影

投影映像は三次元 CG に基づいて生成する。そのため、図 2 に示すように実空間の位置関係を再現した CG 空間を構築する。

投影映像の生成のため、まず MOOX が走行する経路全体を含む CG 空間を構築する。CG 空間には地面に相当する平面を配置して、経路上の場所でプロジェクションマッピングで投影させたい画像を平面に対してテクスチャマッピングを適用して貼り付ける (図 3(a))。

次に、MOOX に装着したプロジェクタの位置に相当する CG 空間中の位置に視点を設定して、プロジェクタの光軸の向きと画角に合わせて視点の方向と視野角を設定する。MOOX の位置と方向は前節で述べた手法で取得しているため、プロジェクタの MOOX に対する装着位置と向きを事前に設定することで、MOOX が移動中でもプロジェクタの位置と方向は逐次求めることができる。

そして、構築した CG 空間に対して設定した視点と視野角を適用して、地面に相当する平面に透視投影による三次元 CG として映像を生成する。生成された映像は、地面に相当する平面に適用されたテクスチャ画像が実際に地面に



(a) テクスチャが貼られた CG 平面



(b) 左プロジェクタ用画像



(c) 右プロジェクタ用画像

図 3 実空間の位置関係を再現した CG 空間

貼られたと仮定して、プロジェクタの位置からその画像を観察した結果となる (図 3(b)(c))。この画像はディスプレイで観察すればキャラクタ等が台形状に変形されて表示されるが、プロジェクタで地面に投影すれば、テクスチャが地面に貼られた状態を再現することになる。



図 4 MOOX を使った投影実験の様子

以上の手法により、投影される映像は、地面全体に適用された画像のうち MOOX に設置したプロジェクタの投影領域だけが切り取られて投影された状態となる。そして、MOOX の移動によって CG 映像生成用視点も CG 空間内で同じように移動して、生成される CG 映像もその視点に応じたものになるため、MOOX の移動に応じて投影領域が移動して、その部分だけが見えるようなプロジェクションマッピングが実現される。

5. 実装と投影実験

5.1 実験環境

提案システムを MOOX に実装して、2021 年 2 月 12 日の日没後に愛知県長久手市の愛・地球博記念公園で投影実験を行った。図 4 に投影実験の様子を示す。

使用したプロジェクタは iOCHOW iO4 (1,280×720, 3,000lm) である。そして、高さを地面から 180cm、光軸を地面に対して角度 20 度に設定して、MOOX の車内前方の左右ピラーに 2 台設置した。これは、プロジェクタ映像をヘッドライトに見なすためである。

使用した PC は Mac Mini (Core i7 3.2GHz) で、C++ と OpenGL で実装した。地面に投影するためのテクスチャ画像はプログラム実行時に生成する。具体的には、512×512 画素の画像をキャラクターやロゴなど 7 種類用意して、1 画素あたり 4mm として 1 辺 100m の正方形領域に 1,000 個配置して生成する。その結果として、1 辺 100m の正方形領域に対して 25,000×25,000 画素のテクスチャを生成したことと同等になる。

PC は各プロジェクタの位置に合わせた映像を 30FPS で生成して、2 台のプロジェクタに送出する。なお、プロジェクタで投影された映像がヘッドライト風に見えるように、CG 平面の背景色を薄黄色にするとともに、生成された映像に枠を付けて楕円形に切り取っている (図 5)。

MOOX は事前に半径約 30m の円形の経路が設定されており、その経路を約 4km/h で自動走行した。

5.2 投影実験結果

図 6、図 7 に投影実験の結果を示す。



図 5 ヘッドライト風に楕円形で切り取った投影画像

MOOX の車内から投影映像を観察すると、MOOX の移動に合わせて投影映像が適切に変化していることが確認できた (図 6)。MOOX とともにプロジェクタの投影領域が移動すると、まるでプロジェクタによって暗い場所が照らされて、今まで見えなかったキャラクターが現れるような感覚が得られた。

MOOX の車外から投影映像を観察すると、投影領域は MOOX と共に移動するが、投影されるキャラクターはその場所にほぼどまっているように表示された (図 7)。こちらもプロジェクタの移動によって暗い場所が照らされて、キャラクターが現れるような感覚が得られた。ただし、MOOX の移動に伴ってキャラクターが少し移動したり変形したりしているような現象も見られた。

今回の実験は、愛知県、NTT ドコモ、トヨタ自動車、トヨタ紡織、JTB が共同で行った自動運転車の実証実験の一環として行われた。そして、本研究に割り当てられた時間はかなり限られたものとなり、プロジェクタ設置のキャリブレーションを厳密に行うことができなかった。そういった原因から、投影された映像が想定とは少し異なっており、プロジェクタが重なる部分で映像がずれたり、キャラクターの台形状の変形が残った結果となった。そのため、MOOX の移動によってキャラクターの表示位置が変化すると投影状況も変化してしまい、車外から観察したときにキャラクターが移動したり変形したりしているように観察されたと考えられる。

6. まとめ

本研究では、自動運転カートの位置情報を用いて、カートの移動に合わせて投影内容を変化させるプロジェクションマッピングシステムの提案と実装を行った。提案手法によって、カートに取り付けたプロジェクタがカートのヘッドライトのように地面を照らして、暗くて見えなかったキャラクター等がライトで照らされて見えてきたように感じられるプロジェクションマッピングが実現可能であることを確認した。



図 6 移動する MOOX の車内から投影映像を観察した様子

今回使用した MOOX は一般公道での利用と言うより、テーマパークやショッピングモールなどでの利用を想定している。そのため、今後はそのような利用状況に合わせたコンテンツ制作を行う必要がある。例えば、ストーリー性のある映像や動画などを考えている。また、建物やトンネルなどで壁に投影する拡張も考えている。

謝辞

本研究の実験実施に協力していただいた(株)NTT ドコモとトヨタ紡織(株)の皆様へ感謝致します。

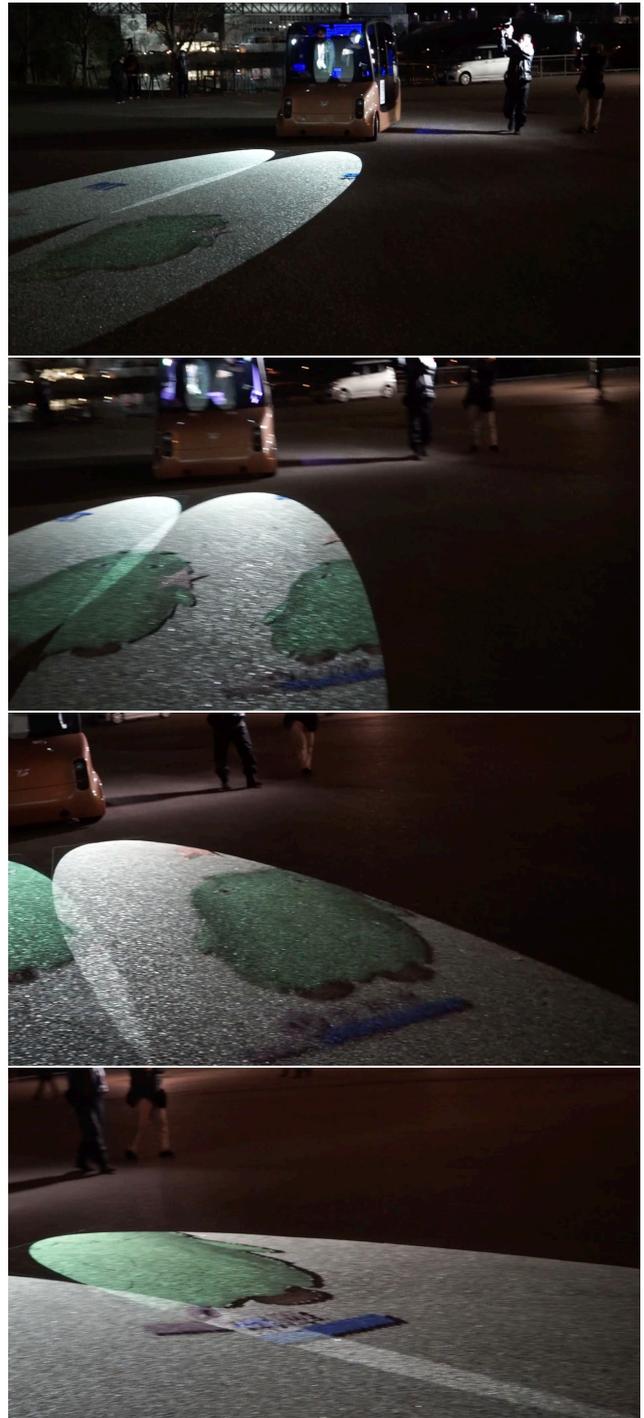


図 7 移動する MOOX の車外から投影映像を観察した様子

参考文献

- [1] 本田技研工業ニュースリリース: Honda SENSING Elite 搭載 新型「LEGEND」, 入手先 (<https://www.honda.co.jp/news/2021/4210304-legend.html>) (参照 2021-05-01).
- [2] 首相官邸: 官民 ITS 構想・ロードマップ 2020, 入手先 (https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20200715/2020_roadmap.pdf) (参照 2021-05-01).
- [3] ヤマハ発動機: EFFI-VISION, 入手先 (<https://www.yamaha-motor.co.jp/golfcar/lineup/effi-vision/>) (参照 2021-05-01).
- [4] ソニー: SC-1, 入手先 (<https://www.sony.com/ja/brand/stories/ja/our/>)

- products_services/sc-1/) (参照 2021-05-01).
- [5] トヨタ紡織: MOOX,
入手先 (<https://www.toyota-boshoku.com/jp/special/ces2020/moox.html>) (参照 2021-05-01).
- [6] Rinspeed: XchangeE,
入手先 (<https://www.rinspeed.eu/en/XchangE.24.concept-car.html>) (参照 2021-05-01).
- [7] Audi: Audi Immersive In-Car Entertainment,
入手先 (<https://www.audi-mediacycenter.com/en/audi-at-the-2019-ces-11175/audi-immersive-in-car-entertainment-11180>) (参照 2021-05-01).
- [8] VJ Suave: Suaveciclo,
入手先 (<https://www.vjsuave.com/suaveciclo/>) (参照 2021-05-01).
- [9] 榊原拓実, 水野慎士: プロジェクタを搭載した移動体によるインタラクティブプロジェクションマッピングの提案, 情報処理学会インタラクシオン 2020 論文集, 3P-73, pp. 1043–1046 (2020).
- [10] カヌチャリゾート: ムーンライトクルーズ,
入手先 (<https://global.yamaha-motor.com/jp/news/2019/1017/sc-1.html>) (参照 2021-05-01).
- [11] 水野慎士, 榊原拓実, ディスプレイ付きカート映像と床面映像が連動するプロジェクションマッピング, 芸術科学会論文誌, Vol. 19, No. 4, pp. 67–76 (2020).
- [12] 水野慎士, 手描き 3DCG 空間内に没入して移動するコンテンツの提案と開発, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-DCC-25, No. 5 (2020).