

CARMUI：自動運転車遠隔監視システムのUI検討のためのバーチャル都市プラットフォームの開発

井上 慎之介^{1,i1} 清水 怜良^{1,i1} 金子 直矢² 阿部 博² 湯村 翼^{1,a)}

概要：公道での走行が始まったレベル4自動運転車は、運転者が乗車しない場合に遠隔監視が必要である。遠隔監視システムのユーザインタフェース(UI)は監視しやすいよう改善していく必要があるが、UI開発のために自動運転車の実機を運行することは、コストやリソースの面で困難である。そこで本研究では、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)で構築したバーチャル都市を用いて自動運転車遠隔監視システムのUI検討を行うバーチャル都市プラットフォームCARMUIを開発する。CARMUIの設計と実装を行い、それを用いて遠隔監視システムのUIの模擬評価実験を実施した。CARMUIに対する評価の結果、CARMUIが自動運転車遠隔監視システムのUI検討に有用であることが期待できる。

1. はじめに

自動運転車の普及が全世界的に進む。日本では、自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト[1]にて、運転者を必要としないレベル4自動運転車が初めて認可され、2023年5月より福井県永平寺町にて運行が実施された。レベル4自動運転車は遠隔監視が必要であり、永平寺町の自動運転では図1のような遠隔監視システムが設けられた。レベル4自動運転車の運行は始まったばかりであり、遠隔監視システムのユーザインタフェース(UI)はさまざまな改善の余地がある。永平寺町の運行では1台の自動運転車を監視したが、複数の自動運転車を同時に監視することも想定される。しかしながら、遠隔監視システムのUI改善を行うために、自動運転車の実機を運行することは、コストやリソースの面で困難である。

そこで本研究では、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)で構築したバーチャル都市を用いて自動運転車遠隔監視システムのUI検討を行うバーチャル都市プラットフォームCARMUI(CAR Monitoring virtual platform for designing User Interface)を開発する。自動運転車の学習のための3DCG環境としてAirSim[3]やAWSIM[4]が存在するが、現実に即したバーチャル都市を用いてUI検討ができるよう、PLATEAU[5]を用いて実在する都市のモデルを独自に開発した。本論文では、CARMUIの設計と実装を行い、それを用いて遠隔監視システムのUIの模擬評



図1 永平寺町の遠隔監視室. 文献[2]より引用.

価実験を実施した結果を述べる。

2. CARMUI

2.1 概要

CARMUIは、自動運転車の模擬データを生成するCARMUI-SIMと、UIを検討する模擬監視システムCARMUI-VIEWで構成される(図2)。CARMUI-SIMのバーチャル空間にて、仮想的に自動運転車を走行させる。自動運転車にカメラを取り付け、その車載カメラ映像をCARMUI-VIEWへビデオストリーミングする。CARMUI-VIEWは、CARMUI-SIMから受け取った車載カメラ映像を、Webブラウザで閲覧できるようにする。

2.2 CARMUI-SIM

CARMUI-SIMはゲームエンジンUnity[6]を用いて構築した。都市の建物モデルにはPLATEAUを用い、

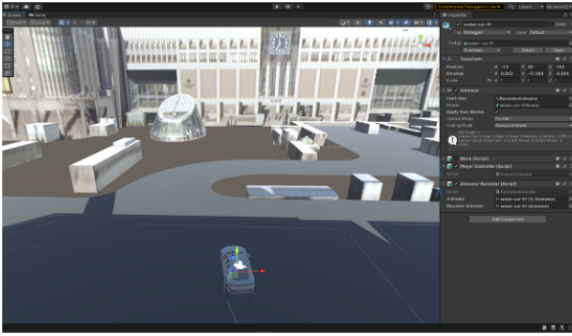
¹ 北海道情報大学

² トヨタ自動車株式会社

ⁱ¹ 共同第一著者

^{a)} yumu@yumulab.org

CARMUI-SIM



↓ 車載カメラ映像を
ストリーミング

CARMUI-VIEW

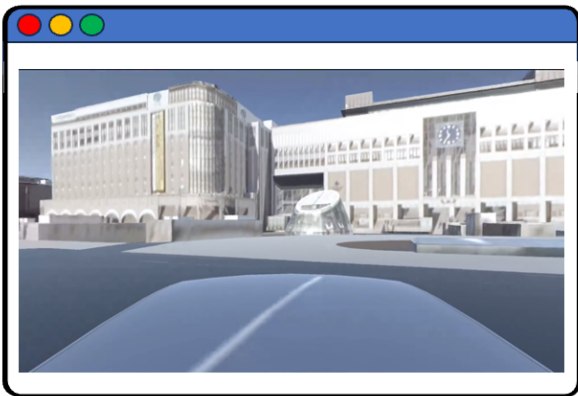


図 2 CARMUI の構成.

PLATEAU SDK for Unity を用いて Unity にインポートした. 本論文の実装では, 札幌駅前の建物モデルを用いた. カメラを自動運転車に紐づけたため, 車載カメラのように振る舞う. 自動運転車は決められたルートを通るよう実装した. CARMUI-VIEW へのビデオストリーミングは, Unity Render Streaming[7] というパッケージを用いて, WebRTC にて行う.

2.3 CARMUI-VIEW

CARMUI-VIEW は, Web ブラウザで閲覧できるように Web サービスとして実装した. ビデオストリーミングに用いた Unity Render Streaming には受信サンプルプログラムが付属しており, これを CARMUI-VIEW として用いるためにフロントエンドのプログラムを改良した. 本論文では 2 本のビデオストリーミングを受信し, それらを個別のウィンドウに表示する. それぞれのウィンドウは, マウスでドラッグして任意の位置に配置することが可能である.

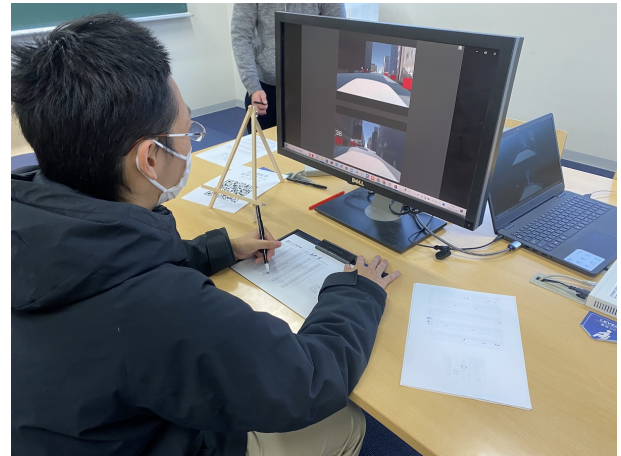


図 3 模擬評価実験の様子.

表 1 グループごとの実験条件.

グループ	1 回目の画面配置	1 回目の旗の位置	2 回目の画面配置	2 回目の旗の位置
A	上下	ア	左右	イ
B	上下	イ	左右	ア
C	左右	ア	上下	イ
D	左右	イ	上下	ア

3. 模擬評価実験

3.1 概要

CARMUI を用いて監視システムの UI 検討を行う例として, 監視システムの UI を検討する模擬評価実験を行った. 2 つのウィンドウを配置する際, 上下配置, 左右配置のいずれが監視システムの UI として優れているかを評価することを想定して実験を設定した. UI の定量的な評価を行うため, CARMUI-VIEW に表示される旗の数を数えるタスクを被験者に課した (図 3). CARMUI-VIEW の 2 つのウィンドウには, CARMUI-SIM 内で走行する 2 台の車の車載カメラ映像がそれぞれ表示される. CARMUI-SIM 内の 2 台の車は, 札幌駅前の 2 つのコースを走行する. 各コースの脇の歩道には 40 本の旗が立てられる (図 4). 旗には番号がふられ, 被験者はみつけた旗の番号を手元の用紙にチェックする. 画面の配置は上下 (図 5) と左右 (図 6) の 2 種類, 旗の配置も 2 種類用意した.

被験者は 16 名で, 運転頻度は, ほぼ毎日が 2 名, 週に 1~2 回程度が 1 名, 月に数回が 1 名, ほとんどしない (免許あり) が 2 名, 運転免許なしが 10 名であった. 順序効果が生じないように, 条件を入れ替えた 4 グループに 4 人ずつに振り分けて実験を実施した (表 1). また, 試行ごとに開始タイミングなどの条件の差が生じないように, CARMUI-VIEW を実稼働するのではなく, 事前に録画した CARMUI-VIEW のキャプチャ動画を再生した. タスク実施後, Google フォームを用いたアンケート調査を行った.

表 2 被験者へのアンケートの設問.

番号	質問	選択肢
Q1	自動車の運転頻度を教えてください	ほぼ毎日 / 週に 3~4 回程度 / 週に 1~2 回程度 / 月に数回 / ほとんどしない (免許あり) / 運転免許なし
Q2	画面が上下に並んだ配置と左右に並んだ配置では、どちらの配置の方が旗を数えやすかったですか？	1. 上下配置の方が数えやすい ~ 5. 左右配置の方が数えやすい (5 段階)
Q3	画面が上下に並んだ配置で、旗を数えやすかった理由があれば教えてください。	自由記述
Q4	画面が上下に並んだ配置で、旗を数えにくかった理由があれば教えてください。	自由記述
Q5	画面が左右に並んだ配置で、旗を数えやすかった理由があれば教えてください。	自由記述
Q6	画面が左右に並んだ配置で、旗を数えにくかった理由があれば教えてください。	自由記述
Q7	今回の実験では CG のシミュレータの画面を監視しましたが、実際の車載カメラを監視しているような感覚は得られましたか？	1.CG なので実際の車載カメラとは違った ~ 5. 実際の車載カメラを監視している感覚があった (5 段階)
Q8	CG のシミュレータの画面について改善点があれば教えてください。	自由記述
Q9	実験を通じて気づいたことやコメントがあれば何でもご記入ください。	自由記述

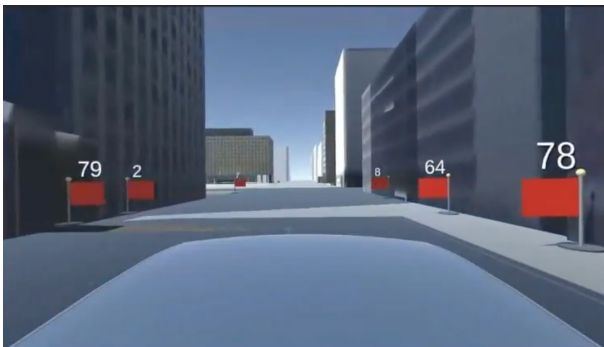


図 4 CARMUI-SIM の走行コース脇に立てられた旗.

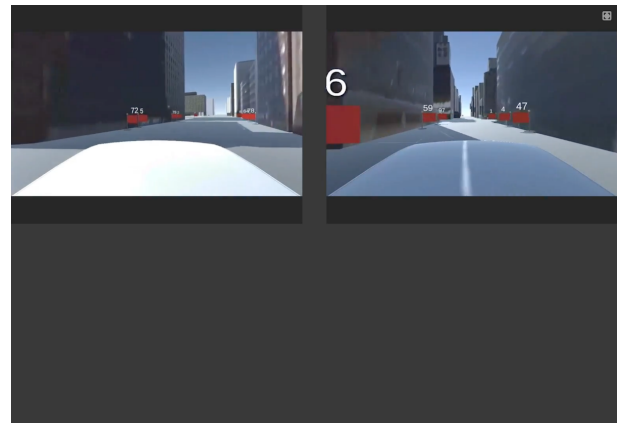


図 6 CARMUI-VIEW のウィンドウ左右配置.

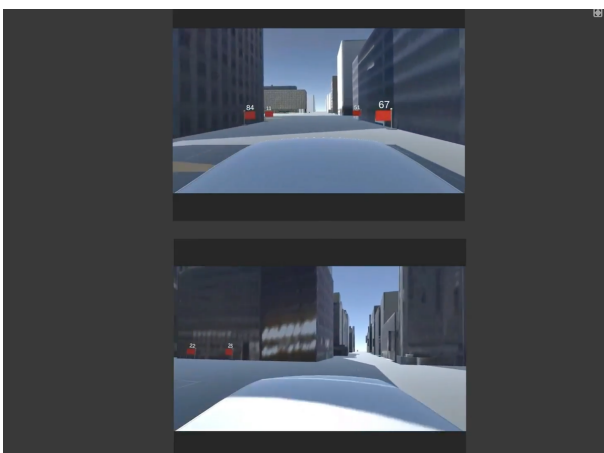


図 5 CARMUI-VIEW のウィンドウ上下配置.

3.2 結果

被験者が旗の番号をチェックした用紙をそれぞれ採点した。チェックした番号が、設置した旗の番号と合致していれば正答とした。誤答は減点しないものとし、正答数を数えた旗数とした。

グループごとに比較したグラフを図 7 に示す。どのグループでも、1 回目よりも 2 回目の方が数えた旗数が多かった。これは、タスクへの慣れの影響が大きく現れたためと考えられる。つまり、順序効果が明らかに発生しうることを示す。

上下配置と左右配置で比較したグラフを図 8 に示す。上下配置の方が、数えた旗数が多いという結果となった。

アンケートでも、上下配置と左右配置について被験者に

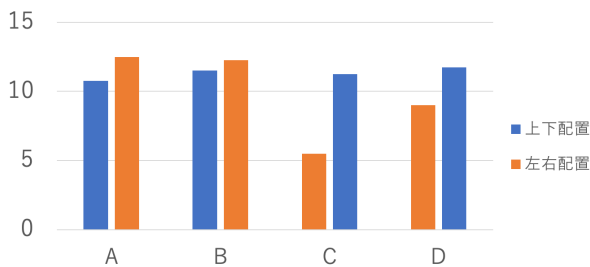


図 7 旗を数えるタスクの結果をグループごとにまとめたグラフ。各グループの左側のグラフが 1 回目、右側のグラフが 2 回目の結果。

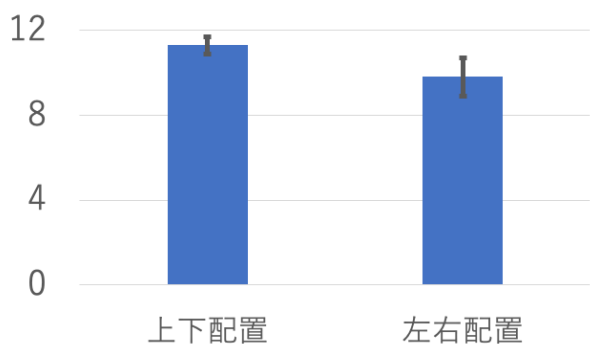


図 8 旗を数えるタスクの結果を上下配置と左右配置で比較したグラフ。

たずねた。Q2「画面が上下に並んだ配置と左右に並んだ配置では、どちらの配置の方が旗を数えやすかったですか？」の結果を図 9 に示す。上下配置の方が数えやすかったという被験者がやや多いが、ばらついた結果となった。上下配置が旗を数えやすかった理由 (Q3) として

- 視界が狭い
- 視線移動が縦の方が楽な気がした

上下配置が旗を数えにくかった理由 (Q4) として

- 両方だとどちらがどちらか混乱してわからなくなるから
- 上画面と下画面の両方を見なければならなかったの
で、首を上下に振らなきゃ数えられませんでした。

といった意見があげられた。左右配置が旗を数えやすかった理由 (Q5) として

- 旗の数は首を振るだけなので数えやすかったです。
- 普段 PC モニターを横に並べているので比較的に見やすかった

左右配置が旗を数えにくかった理由 (Q6) として

- 目を動かす頻度が多いから
- 横に広がっていてまだ追うことが大変だった

といった意見があげられた。

Q9「実験を通じて気づいたことやコメントがあれば何でもご記入ください。」の回答として

- 出た数字の確認をして、それからその数字を筆記するために目線を下に落として番号を探さないといけな

Q2 画面が上下に並んだ配置と左右に並んだ配置では、どちらの配置の方が旗を数えやすかったですか？

1 上下配置のほうが数えやすい ~ 5 左右配置の方が数えやすい

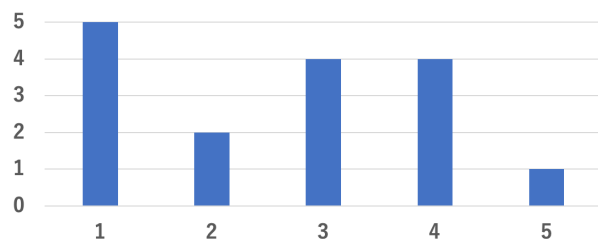


図 9 Q2 の回答結果。

Q7 今回の実験ではCGのシミュレータの画面を監視しましたが、実際の車載カメラを監視しているような感覚は得られましたか？

1 CGなので実際の車載カメラとは違った ~
5 実際の車載カメラを監視している感覚があった

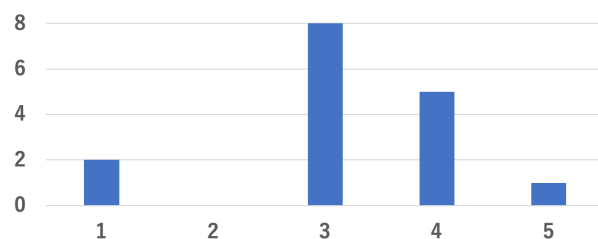


図 10 Q7 の回答結果。

く、下を見ている間に番号が過ぎていくから視認性以前の問題だと思われる。例えば、出てきたマークを白紙に書いていくや、見えた数字を白紙に羅列していくなどなら少しは視認性に対して集中できたかもしれません。

- この実験は記入シートを見なくちゃいけないので、上下に並んだ配置だと記入シートが直線上にあり、目線を上下するだけでいいですが、左右に並んだ配置だと記入シートから斜めに目線を動かさないといけなくなるので、上下の方が見やすかったのかなと思いました。関係あるかは分かりません。

といったシート記入に関する意見があげられた。模擬評価実験では、スコアにばらつきが出るよう非常に多数の旗を配置したため、シートの記入の際に画面から目を離す時間がスコアに影響したと考えられる。

3.3 CARMUI の評価

アンケートには、CARMUI 自体の評価を行う設問も設けた。Q7「今回の実験では CG のシミュレータの画面を監視しましたが、実際の車載カメラを監視しているような感覚は得られましたか？」の結果を図 10 に示す。実際の車載カメラを監視している感覚が得られたと感じた被験者が多く、CARMUI が自動運転車遠隔監視システムの UI 検討に有用であることが期待できる。

Q8「CG のシミュレータの画面について改善点があれば

教えてください。」では

- 左右の窓から見える映像もあると実際の車に乗っている感じが増すと思いました

という意見があげられた。今後の改善案として検討する。

4. おわりに

本論文では、自動運転車遠隔監視システムの UI 検討を行うバーチャル都市プラットフォーム CARMUI を提案し、設計と実装を行い、それをを用いて遠隔監視システムの UI の模擬評価実験を実施した。

模擬評価実験では、アンケートによる主観評価に加え、旗の数を数えるというタスクを被験者に課す形で定量的な評価を実施した。ただし、シート記入作業が評価に影響を与えるという、UI や CARMUI ではなくタスクの実施方法による課題が生じた。今後、評価実験を行う場合には、リスクや異常を発見するという、実際の監視システムの目的に合致したタスクを検討する。

本論文の模擬評価実験では 2 台の自動運転車の監視を想定したが、監視の台数を増やすことが容易であることが CARMUI の利点であるため、今後台数を増やしたい。車載カメラの映像を用いた監視を実装したが、CARMUI-SIM では車両位置などの情報も取得できるため、今後はこれらの情報を用いた CARMUI-SIM および CARMUI-VIEW を実装したい。CARMUI-SIM 内に歩行者や信号機を配置してより現実に即したバーチャル都市を構築することや、PLATEAU の都市モデルを用いて札幌以外の他の都市を実装することも検討する。

参考文献

- [1] 横山利夫, 胡内健一, 新谷幸太郎: 自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト (RoAD to the L4) の紹介, IATSS Review (国際交通安全学会誌), Vol. 48, No. 2, pp. 88-96 (2023).
- [2] RoAD to the L4, 国内初のレベル 4 自動運転移動サービスのための認可・許可取得, <https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/theme01/eiheiji-autholization/>.
- [3] Shah, S., Dey, D., Lovett, C. and Kapoor, A.: Airsim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles, *Field and Service Robotics: Results of the 11th International Conference*, Springer, pp. 621-635 (2018).
- [4] AWSIM, <https://github.com/tier4/AWSIM>.
- [5] PLATEAU, <https://www.mlit.go.jp/plateau/>.
- [6] Unity, <https://unity.com/>.
- [7] Unity Render Streaming, <https://github.com/Unity-Technologies/UnityRenderStreaming>.