

# 2017年度 森泰吉郎記念研究振興基金による研究助成 研究成果報告書

研究テーマ

「自動運転端末交通システムの実証実験による問題発見」

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科1年 水島知央

## 1. はじめに

高齢者や過疎地域における交通難民の問題や、赤字によるバス路線の廃止といった多くの地域交通における問題から、自動運転車を用いたラストワンマイル自動運転への注目が集まっている。ラストワンマイル自動運転とは、端末交通システムとも呼ばれ、公共交通や幹線道路から、家庭や目的地までの数 km 程度の自動運転のことである。ラストワンマイルに関係する実証実験では、自動運転車が停止するような問題が発生した際は、遠隔地から人間がカメラの映像をもとに遠隔操縦を行うことが想定されている。

そこで本研究では、経済産業省および国土交通省の平成 29 年度「高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業：専用空間における自動走行などを活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証」の一環として沖縄県北谷町と石川県輪島市で行われた実証実験を通して遠隔管理ソフトの作成と問題発生時におけるカメラを使用した遠隔操縦での対処方法の現状調査を行い、そこで得た知見をもとに、遅延時間を考慮した自動車の遠隔操縦システムの構築を目指す。そのために、本年度では、遠隔操縦時において、操縦しやすい車両側のカメラ配置の考察と安定的な無線通信経路の考察を行い、そのうえで、遠隔操縦システムを構築する際に必要な遅延時間の基礎的な検討を行った。また、遠隔操縦システムを構築する際に知見として必要になる遅延時間に関する基礎的な検討として、任意の遅延時間を発生させることのできる遅延シミュレータの作成も行った。

## 2. 実証実験における描画プログラムの開発

本章では、経済産業省および国土交通省の平成 29 年度「高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業：専用空間における自動走行などを活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証」の一環として沖縄県北谷町で行われた実証実験のために作成した描画プログラムの開発について簡単に述べる。描画プログラムは、DX ライブラリを使用して作成を行った。描画プログラム表示の画面サイズは画面解像度 1920×1080 で作成した。

### 2.1 描画プログラムの目的

描画プログラムの目的としては、4 点を重視した。4 点を以下に示す。

- ・ 車両情報をリアルタイムで分かりやすく提示する。

- ・ 複数車両の情報を同時に監視する。
- ・ 問題発生を早期に発見する。
- ・ 遠隔操縦への切り替えを容易にする。

車両情報をリアルタイムで分かりやすく提示するために、実車速、実操舵、誘導線検知、障害物情報、運行情報を大きく表示した。また監視する 2 台分の情報を並列で 2 つ表示した。動作として、通信の途絶、誘導線検知状態の悪化が見られた場合に各表示部分に警告アイコンをポップアップで表示する。機能として、遠隔操縦の車両選択を行えるようにし、ボタンを作成した。さらに、停止マグネットによって停止した車両を発車させるための発車ボタンも作成した。

### 2.2 描画プログラムの構成画面

描画プログラムのスクリーンショットの画像を図 1 に示す。画面下部の車両位置表示部分は、3D モデルで作成し、上部、左部は、車両情報表示部分として画像ベースで重ねて表示した。上部のボタンの左側から、障害物状態表示兼遠隔操縦車両選択ボタン兼遠隔操縦選択車両表示、通信状態表示、車両モード表示、誘導線検知状態表示、車速・ブレーキレベル表示、ハンドル描画・操舵角表示となっている。また、左下に 5 段階のバッテリー残量表示を配置した。

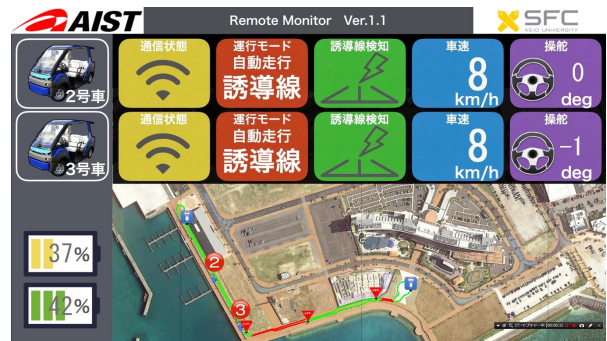


図 1 描画プログラムの表示画面

## 3. 通信環境の構築

本章では、端末交通における問題発生時の対処方法として有用なカメラを使った遠隔操縦において、ネットワークカメラでの映像を遠隔地で取得するための無線通信環境について検討した結果を述べる。本検討は、新川崎タウンキャンパス内駐車場でのカメラを使った遠隔操縦システムを対象に行った。無線通信の手段として無線 LAN を使用した。従来

から使用していた車両側とネットワークカメラの通信から、無線通信の経路の変更とより安定的なネットワーク環境の構築を目指し、無線 LAN ルーターの交換と、無線 LAN アンテナの増設を行った。

### 3.1 無線通信経路の変更

過去の研究に使用されていたネットワークカメラの無線通信経路は、ネットワークカメラと車載 PC を LAN で接続し、車載 PC に接続された USB 接続型の無線 LAN 子機と遠隔地の無線 LAN ルーターとの無線通信を使い、遠隔地で映像を取得していた。そこで、より安定的なネットワーク環境の構築と車両側ネットワークとの分離を目的に、イーサネットコンバーターを使用し、無線 LAN ルーターとのネットワークを構築した。イーサネットコンバーターを利用した通信経路手段により、車載側 PC の通信速度を依存することがなくなった。また、車載側 PC の電源が入っていない状態から遠隔地でネットワークカメラの映像を取得することが可能となった。

### 3.2 無線通信の最適化

より安定的なネットワーク環境とするために、高速無線 LAN 規格 11ac に対応した無線 LAN ルーターの交換と、無線 LAN アンテナの増設を行った。その結果、変更前に比べ、映像が乱れることなく届く範囲が広がった。

また同時に、2.4GHz と 5GHz のどちらか 1 つの周波数を用いた通信の実験を行った。実験の結果、5GHz のみを使用した通信の方が、通信範囲が広いことが確認できた。さらに、無線 LAN ルーターから 2.4GHz の同時出力を停止し、5GHz のみの出力にすると、より安定することを確認した。

## 4. カメラ設置位置の検証

本検証では、ネットワークカメラとして、AXIS F44、AXIS F1015 センサーユニットを 3 台、AXIS F1035-E センサーユニットを 1 台使用した。広角カメラとして、水平画角 112° の AXIS F1035-E センサーユニットを使用し、普通画角のカメラとして、水平画角 67° の AXIS F1015 センサーユニットを使用した。

### 4.1 道路形状別の車両カメラ配置の検証

道路状況として、直線道路、交差点、カーブの 3 つの道路形状を想定し、新川崎タウンキャンパス内駐車場で比較した。また、カメラ配置として、前方の広角、普通画角の 2 カメラ、高所、後方の 3 パターンを検証した。上記合計 9 パターンの比較表を表 1 に示す。

表 1 カメラ配置パターン表

	前方 前方	前方 後方	前方 高所
直線	①	②	③
交差点	④	⑤	⑥
カーブ	⑦	⑧	⑨

#### 4.1.1 直線道路におけるカメラ配置比較

直線道路でのカメラ配置は表 1 での①~③に該当する。以下図 2 に左右カメラ映像を除き、①~③を上から順に並べた映像を示す。

①の画像より、前方カメラの用途としては左側の広角カメラより普通画角のカメラの方が、前方の情報が確認しやすいと考える。また、①の画像と②の画像では、共に車両脇の縁石までは確認できないが、③の画像では、高所からのカメラによって車両脇の縁石が確認できる。



図 2 直線道路でのカメラ配置の比較①~③

#### 4.1.2 交差点におけるカメラ配置比較

交差点でのカメラ配置は表 1 での④~⑥に該当する。以下図 3 に左右カメラ映像を除き、④~⑥を上から順に並べた映像を示す。

④の画像より交差点進入車の確認には前方広角カメラの方が確認しやすいと考える。また④~⑥どのカメラも車両直近の停止線の位置は確認できない。



図 3 交差点でのカメラ配置の比較④~⑥

#### 4.1.3 カーブにおけるカメラ配置比較

カーブでのカメラ配置は表 1 での⑦~⑨に該当する。以下図 4 に左右カメラ映像を除き、⑦~⑨を上から順に並べた映像を示す。

⑨の画像よりカーブ時には高所カメラが内輪差も分かりやすく車両の位置関係が把握しやすいため最適だと考える。また⑦~⑨どのカメラも車両前方の距離感が確認できない。

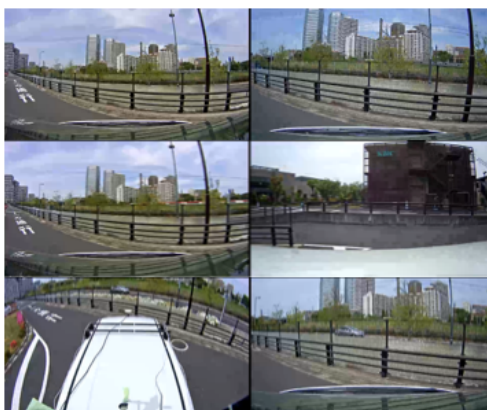


図4 カーブでのカメラ配置の比較⑦~⑨

## 4.2 高所カメラの車両設置箇所の検証

上記検証より高所カメラが有用であることが確認できたため、より良い見え方となる高所カメラの車両設置箇所の検証を行う。高所カメラの設置箇所として、車両の天井前方、天井中央部、天井後方に設置して映像を比較した。以下図5にカーブにおいてカメラをそれぞれの箇所に設置した際の画像を示す。上の左から、後方、中央、前方である。図4より、高所カメラは車両前方に設置した方が前方の距離感が把握しやすいことが確認できた。また同様の状態で交差点において確認したところ、停止線位置が確認できた。



図5 高所カメラの車両設置箇所の比較

## 5. 遅延時間の検証

本章では、遠隔操縦をする際の遅延時間の計測結果について述べる。第3章での通信環境の検討と同様、こちらも新川崎タウンキャンパス内駐車場でカメラを使った遠隔操縦システムを対象に行った。遅延時間の計測方法として、2つの端末に4つのネットワークタイムサーバーからの平均時間を計測するアプリを入れ、正確な現在時刻を用いて計測を行った。計測を行うにあたり2つの端末を並べて同じ時刻を示していることを確認した。実験車両側に端末を1台置き、その端末の表示する時刻をネットワークカメラで撮影し、遠隔操縦席の画面に表示した。また遠隔操縦席にもう1台の端末を置き、画面に映っている実験車両側の時刻と比較することで遅延時間を計測した。

## 5.1 無線LANルーターからの距離による比較

本節では無線LANルーターからの距離による遅延時間の計測結果の比較を行う。

### 5.1.1 無線LANルーターから距離が近い場合

無線LANルーターから約1mの距離に実験車両を止め、ネットワークカメラの映像に映っている端末の時刻と遠隔操縦席の端末の時刻の比較を行った。その結果、約200ms~500msほどネットワークカメラ経由の映像が遅延していることが確認できた。

### 5.1.2 無線LANルーターから距離が遠い場合

無線LANルーターから距離が遠い場合として約50mの距離に実験車両を止め、ネットワークカメラの映像に映っている端末の時刻と遠隔操縦席の端末の時刻の比較を行った。その結果、約500ms~1300msほどネットワークカメラ経由の映像が遅延していることが確認できた。

## 5.2 MotionJPEGとH264での比較

本節ではネットワークカメラの動画圧縮形式の違いによる遅延時間の計測結果の比較を行う

### 5.2.1 MotionJPEGを使用した場合

ネットワークカメラの動画圧縮形式としてMotionJPEGを使用した場合の遅延時間は約400msであった。

### 5.2.2 H264を使用した場合

同様にネットワークカメラの動画圧縮形式としてH264を使用した場合の遅延時間を計測した。その結果、約400msほどネットワークカメラ経由の映像が遅延していることが確認でき、MotionJPEGとH264で遅延時間は変わらない結果となった。

## 6. 遅延シミュレータの作成

カメラを使用した遠隔操縦を行う際に、ネットワークカメラの映像が遠隔操縦卓のディスプレイに表示されるまでに必ず遅延が発生する。しかしながら、運転手が自動車を遠隔操縦する際にどのくらいの遅延時間までであれば、運転できるのかといったデータが存在しない。そこで本研究では、カメラを使用した遠隔操縦を想定し、任意の遅延時間を発生させることのできるシミュレータを作成した。その作成したシミュレータを「遅延シミュレータ」とした。

### 6.1 遅延の発生方法

DXライブラリを使用して、シミュレータの作成を行った。遅延の発生方法として、操作情報は実時間で受け取り、描画部分のデータのみを蓄積し、遅れさせて表示する仕組みとした。任意の遅延時間を発生させることができるように、任意の遅延時間に合わせて配列を用意し、車両モデルの位置情報を配列に貯め、遅れて表示されるようにした。

## 6.2 実遅延時間の表示

設定した任意の遅延時間に対し、PCの処理能力やプログラム起動の際に発生する遅延時間があり、任意の遅延時間よりも遅れる場合がある。それらの状況における実遅延時間を計測するため、表示の際に、配列に入っている時間データと表示時間データから実際に計測されている実遅延時間を表示するようにした。以下図6に実際の車両モデルと1000msの遅延が発生している状態の車両モデルを重ねて表示したシミュレータ画面を示す。



図6 実際の車両モデルと遅延した状態の車両モデルを重ねて表示した画面

## 6.3 4画面遅延シミュレータの作成

作成した遅延シミュレータを、ネットワークカメラを使用した遠隔操縦時の実環境に近づけるため、4台のネットワークカメラ取り付け位置からの見え方と同等の見え方になるように4画面のシミュレータを作成した。現在、実車を使用した遠隔操縦時に設置しているカメラの位置は、前方カメラ、左右カメラ、後方カメラである。そのため、シミュレータ画面も前方、左右、後方の4画面を作成した。以下図7に作成した4画面遅延シミュレータの画面の様子を示す。



図7 作成した4画面遅延シミュレータの画面の様子

## 7. 作成したシミュレータの使用感

本章では、作成した4画面の遅延シミュレータを使っての使用感について述べる。今回、200msと1000ms、2000msの遅延で使用感の調査を行った。事前に行った研究では、実車を用いた遠隔操縦時には、最も遅延がない状態でも200msの遅延が発生することが分かっている。シミュレータによる200msの遅延状態では、特に違和感なくコースに沿って運転することができた。1000msでは急ハンドルを切るとふらつきが発生するが慣れれば運転が可能であった。ま

た2000msの遅延では、コースに沿って運転することも難しく、カーブ時等では、ふらついてしまい、真っ直ぐな走行ルートに戻ることができなくなった。以下図8にシミュレータで走行した200msと1000ms、2000msの遅延時間での走行軌跡を示す。

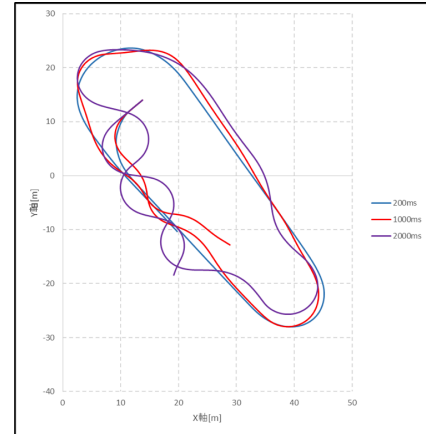


図8 シミュレータで走行した200msと1000ms、2000msの遅延時間での走行軌跡

## 8. まとめ

本研究では、自動運転端末交通システムの実証実験による問題発見として、沖縄県北谷町と石川県輪島市で行われた実証実験に参加し、その知見をもとに、端末交通システムの問題発生時における対処方法である、遠隔操縦に関する基礎的な研究を行った。具体的には、遠隔操縦をする際の車両側カメラ配置の検討や無線LANルーターからの距離によって遅延時間が変わること、ネットワークカメラの動画圧縮形式では遅延時間への影響が見られなかったことを明らかにした。また、現状のシステムでの映像遅延時間の計測と任意の遅延時間を発生させることのできるシミュレータと4画面のシミュレータの作成を行った。今後は、今回の検証で得たデータをもとに、操舵ガイドの表示や、より詳細な遅延時間の検証が必要であると考えられる。さらには、今回の作成したシミュレータを使用して実験を行い、運転手が自動車を遠隔操縦する際にどのくらいの遅延時間までであれば、運転できるのかといった検証をする予定である。