

路車協調型ラストワンマイル自動運転の遠隔操縦の開発

～障害物情報と位置情報を用いた仮想環境表示による遠隔操縦システムの構築～

1 本研究の目的

本研究は、過疎地域等において駅や大きなバス停等の交通の要衝から個人宅までといった末端の交通を担う自動運転システムであるラストワンマイル自動運転（以下、ラストワンマイル自動運転）についての研究である。ラストワンマイル自動運転において、道路上に置いた装置と車両が相互に情報を送受信しあうことにより連携する路車協調（以下、路車協調）を導入した場合の遠隔地から車両を操縦する遠隔操縦システム（以下、遠隔操縦）の開発を行う。これにより、運行管理者の削減と利用者の安心感が向上するための技術的基礎を確立し、プロトタイプ構築、評価によりその有用性を明らかにすることが本研究の目的である。具体的には、路車協調の効果評価とそれにかかわる装置の構築と評価、遠隔操縦手法の構築、キャンパス内走路において遠隔操縦可能な路車協調型ラストワンマイル自動運転に対応した実験車両による手法の評価、運用面の評価を行うことで本研究の提案内容の有用性を明らかにする。

2 本研究の背景

2.1 日本の社会環境について

現在、日本では人口減少、少子高齢化、人口集中等の理由により鉄道路線やバス路線の廃止が全国で相次いでいる。その結果、特に過疎地域において移動の自由を制限された高齢者が増加している。なかでも食料品の入手すら困難な状況に陥っている状態は“食料品アクセス問題”と呼ばれたり、そのような人々は“買い物難民”と呼ばれるなど徐々にこのような状況は社会問題となっている。具体的に、農林水産政策研究所による「食料品の買い物における不便や苦勞の内容（全年齢対象）」を問うたアンケート[1]では、徒歩や自転車、車の利用が困難であることや公共交通機関の利用のハードルが高いといった回答が得られている。このような問題を交通システムの側から解決する手法の一つとして、現在、一部の地域では“デマンド交通システム”が導入され、その可能性についての実証実験が行われている。“デマンド交通システム”というのは複数人で利用することによる低コストという路線バスの長所と利用者の望む出発地点から目的地まで運行されるというタクシーの長所を併せ持ったシステムである。具体的な利用の手順としては、まず初めに利用したい住民が乗車の 30 分前までに情報センターへ電

話で予約を行う。次に、それらの集まってきた情報を基にして情報センターがコースの設定を行い、それに従って運転手が車両の運転を行う。そして、適宜、要望した出発地点と目的地で利用者が乗降する。このシステムの実証実験を行う自治体の職員からは、この手法では情報センターや運転になお多くの人手が必要であり、まだまだ低コストとは言えない状況であるとの声があがっている[2]。一方で、同システムの有効性や必要性は確認されており、今後も同システムを継続するために、いかにコストを下げるかということが解決すべき問題となっている。

2.2 自動運転について

近年、日本では政府の推進もあり自動運転の開発が盛んである。具体的には、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部によって 2016 年 5 月 20 日に「官民 ITS 構想・ロードマップ 2016 年～2020 年までの高速道路での自動走行及び限定地域での無人自動走行移動サービスの実現に向けて～」[3]が発表されている。ここにはタイトルにもあるように 2 つの自動走行システムの 2020 年までの市場化とサービスの実現を達成すべく具体的な制度面での取り組みの検討が記されている。2 つのシステムというのは、一方は高速道路での自動走行可能な自動車の市場化、他方は過疎地域及び都市における限定区域での無人自動走行による移動サービスの提供である。ここで、自動運転については、両者ともに自動運転ができなくなった場合にどのように対処するかといったことが解決すべき問題となっている。

3 本研究の手法と流れ

3.1 研究全体の流れ

本研究は、「課題(1)：路車協調」、「課題(2)：遠隔操縦装置の開発」、「課題(3)：車両による評価」、「課題(4)：運用面における評価」の大きく 4 つの課題に分けて研究を進める。「課題(1)：路車協調」では路車協調の効果評価と路車協調装置の開発と評価を行う。これは昨年度に「ラストワンマイル自動運転における路車協調の効果評価と路車協調装置の製作と評価」と題して卒業論文で実証済みである。この研究では、道路側と車両側で相互に複数の取得情報を送受信することで効率的な車両の運用を行うことができるかを検証し、それに必要な路車協調

装置の製作と評価を行い、その有効性を確認した。次に、「課題(2)：遠隔操縦装置の開発」及び「課題(3)：実験車両による評価」では、まず大前研究室所有の実験車両を遠隔地から操縦すること可能にすることと、そのために必要な障害物情報の仮想環境表示を行う。その次に遠隔操縦者への情報の提示手法の開発を行い、実車実験による有効性の評価と遠隔操縦者への情報の提示手法の評価を行う。最後に、「課題(4)：運用面における評価」として同システムの継続的な運行に対する評価を行う。

以下の図1に全体のスケジュールを示す。なお、本スケジュール表については、研究を進める上で進めやすい形に一部項目の申請書からの変更を行った。

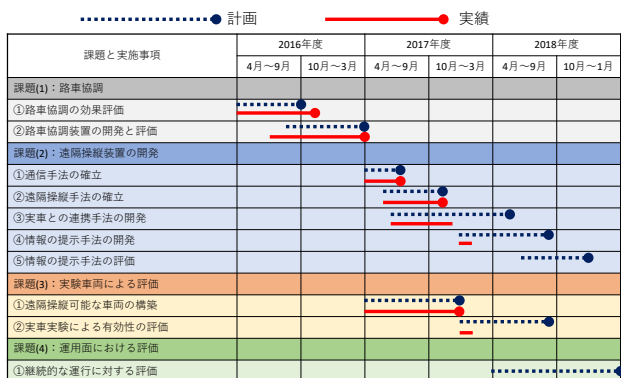


図1：研究全体のスケジュール

3.2 本年度の研究の流れ

本年度の研究内容としては、「課題(2)：遠隔操縦装置の開発」について、「①通信手法の確立」、「②遠隔操縦手法の確立」、「③情報の提示手法の開発」、「④実車との連携手法の開発」を行なった。また、「課題(3)：実験車両による評価」について、「①遠隔操縦可能な車両の構築」、「②実車実験による有効性の評価」を行った。次章以降にてこれらの進捗について具体的に述べていく。

4 通信基盤の作成

対応項目：

課題(2)：遠隔操縦装置の開発 (①通信手法の確立、②遠隔操縦手法の確立)

課題(3)：実験車両による評価 (①遠隔操縦可能な車両の構築)

4.1 本年度の研究

既存の大前研究室の自動運転のためのソフトウェアとして、PCと車両が情報を交換する車両通信ソフト EstimalO(以下、車両通信ソフト)、車両を目標のルートに合わせて走るように計算処理を行う自動運転ソフト PathFollower(以下、自動運転ソフト)という2つのソフトウェアがある。そこで今回は車両通信ソフト、自動運転ソフトを遠隔操縦へ必要な形に改良した遠隔運転ソフト PathFollower 改訂版(以下、遠隔運転ソフト)、加えて遠隔通信ソフト remoteCtrl(以下、遠隔通信ソフト)を作成することで、従来の知見を活用しながら、遠隔地と車両において通信を行うことを考えた。

遠隔地においては、遠隔運転ソフトと遠隔通信ソフトを用いる。まず、遠隔地から車両へ操縦情報を送ることについては、PCのキーボード及びステアリングコントローラにて入力した情報を遠隔通信ソフトが取得して、車両へ送信する。一方で、車両から得た障害物情報及び位置情報については遠隔通信ソフトにて受信し、遠隔運転ソフトにて描画を行うことで遠隔操縦者へ現在の車両情報を伝える。ここで自動運転ソフトを用いるのは、従来より自動運転ソフトには車両の乗員へ車両情報を伝えるための描画が組み込まれており、それらの知見を活かすことができるからである。

ここで、車両周辺の情報を遠隔地へ送るのにカメラで映像を撮影してそのデータを送るのではなくデータを送るのは、そのような方法だとデータ量が多くなってしまったためだ。そこで、本研究では予め車両と遠隔地において共通の走行路の三次元地図を保持しておき、そこに記されていない障害物情報のみを随時送受信することで、少ないデータ量で車両周囲の情報を遠隔地へ伝えるという手法をとった。

車両においては、車両通信ソフト、遠隔通信ソフト、遠隔運転ソフトの3つのソフトを用いる。車両から遠隔地へ車両情報を送ることについては、車両通信ソフト及び遠隔運転ソフトよりそれぞれ車両情報及び障害物情報を取得して、遠隔通信ソフトから遠隔地へ送信される。一方で、遠隔地から得た操縦情報については遠隔通信ソフトにて受信し、車両通信ソフトにて車両へその情報を送ることにより車両を動かすことができる。

また、遠隔地及び車両それぞれにおいて全てのソフトは1つのPC上で起動することを想定しておりソフト同士はファイルマップドメモリによる変数の授受を行うことで、ソフト間の連携をする。

以下の図2にソフトウェア間の連携について図示する。

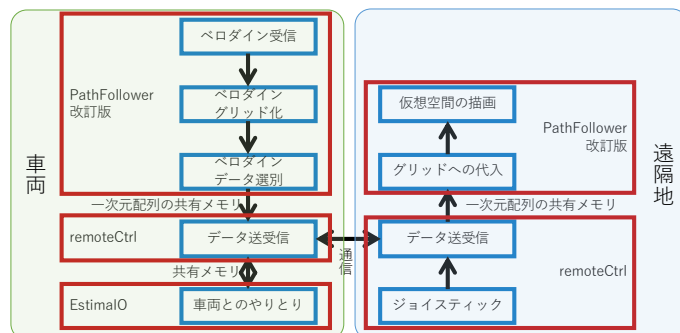


図2：遠隔操縦にまつわるソフトウェア間の連携

5 障害物情報のデータ削減手法

対応項目：

課題(2)：遠隔操縦装置の開発 (③実車との連携手法の開発)

5.1 本年度の研究

障害物情報と位置情報を車両から遠隔地へ送る上で、一定時間における送信可能な情報量に対して送信したい情報量が多いと送信を正しく行うことができない。そこ

で、車両から情報を送信する前に、一旦情報を小さくすることが必要である。そこで、本研究では遠隔操縦をする際に必要な情報という観点から情報量の削減を図った。

まず、通信の仕様として、限られたデータ送信領域を無駄なく使うために、実際に通信に用いられているのと同じ16進数にて値を表現し直してから通信を行うこととした。また、位置情報や車両速度などの値については、値の範囲と精度が決まっているため、以下の式により0を起点とする自然数で送受信することで16進数に変換する前にも、さらなるデータ圧縮を図った。

$$data_{send} = \frac{data_{row} - offset}{factor}$$

ここで、 $data_{send}$ は送信データ、 $data_{row}$ は生データ、 $offset$ は最小値、 $factor$ は精度とする。

障害物データについて、従来自動運転ソフトにおいて取得した点群の距離データを車両中心座標500グリッド×500グリッド(1グリッドは20cm四方)に格納している。各グリッドでは、各々において最も高く計測された点をそのグリッドの高さとしている。自動運転ソフトでは、この情報をもとに地面よりも高さのあるグリッドについてその高さで棒を描画している。そこで、本研究の遠隔運転ソフトでは、このグリッドを用いることとした。ここで、遠隔操縦においては、使用される状況としては自動運転が不能となった際にその状況を回避するための手段として用いられるという前提のもと、低速域での遠隔操縦において必要な最低限の情報の送受信が必要である。したがって、自動運転ソフトでは前後左右各50mのグリッドを描画しているところ、遠隔運転ソフトではこの範囲を小さくすることが可能である。例えば、1.5m/s(=5.4km/h)での走行において予見時間を2.0sとした場合3.0m前方が見えれば良いということになる。次に、高さ情報についても大小にかかわらず物体があれば避けて走行しなければならぬことには変わりはないため削除して、地面であるか否かというシンプルな情報とすることでデータのさらなる削減を図った。なお、これを受信側で再度描画する際に高さを指定して描画する必要があるが、低いと安全意識の低下へつながり、高すぎるとそれによって陰ができて見えない箇所ができてしまうため、そのバランスをとった高さとした。

5.2 翌年度に向けて

本研究では、障害物データについては上記の方法により圧縮した。しかしながら研究を進めていくうえで、他の方法も検証したうえでどの方法が良いか吟味する必要があるとの考えに至った。そこで、前述の方法を「近傍」という方法とし、このほかに障害物データをグルーピングしたうえで座標データと大きさの情報を送受信する「グルーピング」、開発環境であるWindowsの標準の機能によって障害物の生データをエンコード及びデコードする「圧縮」の2つの方法を今後作成する予定である。

6 実験車両による有効性の評価 対応項目：

- 課題(2)：遠隔操縦装置の開発 (④情報の提示手法の開発)
- 課題(3)：実験車両による評価 (②実車実験による有効性の評価)

6.1 本年度の研究

実験車両による評価としては、遠隔地から車両向きの通信及び車両から遠隔地向きの通信の2つの検証項目が存在する。

このうち前者については、大前研究室の同期の学生の研究においてカメラ映像を用いた遠隔操縦の実験があり、その場において、本研究の使用評価も同時に行い、問題が無いことを確認した。また、私の所属する大前研究室は、国立研究開発法人産業技術総合研究所が幹事機関として受注する経済産業省及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光津システムの社会実装に向けた実証」にも参画している。具体的に大前研究室としては、自動走行システムに必要な遠隔操縦における遠隔地側の通信プログラム及びその情報の描画プログラムの作成を行っている。両プログラムについて、各一人の院生がその作成を担当しており、私はその通信プログラムの作成を担当している。本報告書にて述べている通信プログラムと同事業の遠隔地側で用いる通信プログラムにおいて、基本的な核となる部分は併用している。これは、工数の削減だけでなく、相互にプログラムのバグ等を確認することができる考えたからだ。そのため、同事業の走行においても本報告書において述べている遠隔通信プログラムに類似するプログラムの確認が事実上同時に行われている。こちらについても、問題なく動作している。

あ 続いて後者の車両から遠隔地向きの通信については、普段から自動運転の実験用道路として用いている慶應義塾大学新川崎タウンキャンパス内の駐車場を手動で走行する車両と同敷地内にある大前研究室内のPCを無線LANにより接続して、実際に受信ができるかを確認した。これにより、プログラムとしては問題が無いことを確認できた。図3は、「近傍」のパターンでデータを送受信した際のうち受信をしている様子である。左側が遠隔通信ソフト、右側が遠隔運転ソフトだ。

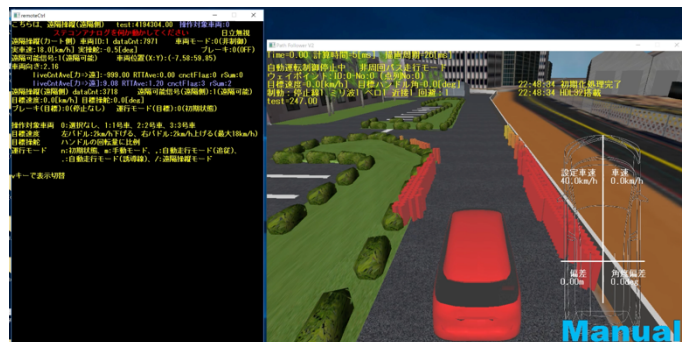


図3：「近傍」パターンによるデータ受信の様子

6.2 翌年度に向けて

なお、翌年度、具体的な評価をしていく上においては、無線 LAN や PC といったハードウェアを含めた様々な角度から検証を行っていく予定だ。検証項目としても技術的に送ることが可能な情報量の調査及び遠隔操縦が可能な情報量の調査の 2 つの種類の調査をすることで、遠隔操縦するのに最適な情報量を検証する。また、前章にて述べた通り、障害物データの削減手法としては今回構築した「近傍」以外に 2 パターンあり、全 3 つのパターンそれぞれにおいて先ほどの検証をすることで、どの方法がどのような状況においてどの程度データの削減手法として適しているかを検証する。

7 本研究にまつわる学会発表

7.1 ICMEMIS2017

2017 年 11 月 29 日から 3 日間、群馬県桐生市にて行われた ICMEMIS2017 において、“Evaluations of Effects of Road-Vehicle Cooperation for Low Speed Automated Driving in Limited Areas”と題した論文を担当教員と共著で投稿し、口頭にて発表した。発表内容としては、昨年度の本研究の内容を発表した。図 4 は、発表の際の写真である。

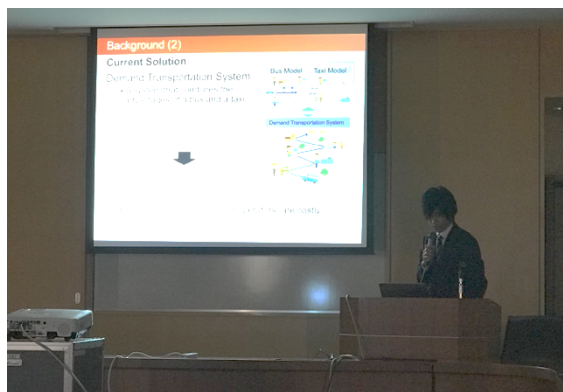


図 4 : ICMEMIS2017 発表

7.2 第 15 回 ITS シンポジウム 2017

2017 年 12 月 7 日から 2 日間、九州大学伊都キャンパスにて行われた第 15 回 ITS シンポジウム 2017 において、「ラストワンマイル自動走行システムの実現に向けた研究の取り組みの紹介」と題したポスターを担当教員を筆頭著者として、同期の他 2 名と共著で発表した。発表内容としては、昨年度の本研究の内容のうちラストワンマイル自動走行システムにまつわる箇所である。図 5 は、その際の写真である。



図 5 : 第 15 回 ITS シンポジウム 2017

8 参考文献

- [1] 農林水産政策研究所・食料品アクセスマップ
<http://cse.primaff.affrc.go.jp/katsuyat/>
(閲覧日：2017 年 5 月 1 日)
- [2] 全国デマンド交通システム導入機関連絡協議会
<http://www.demand-kyougikai.jp/material/conference.html>
(閲覧日：2017 年 5 月 3 日)
- [3] 官民 ITS 構想・ロードマップ 2016
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20160520/2016_roadmap.pdf
(閲覧日：2017 年 5 月 3 日)