

# 人にやさしい遠隔操縦付き自動運転の開発

(AIT Project on Human-friendly Autonomous Vehicle with Remote-control: HAVRec)

[研究代表者] 道木加絵 (工学部電気学科)  
[共同研究者] 中條直也 (情報科学部情報科学科)  
塚田敏彦 (情報科学部情報科学科)  
松河剛司 (情報科学部情報科学科)  
矢野良和 (工学部電気学科)  
中井孝幸 (工学部建築学科)  
内藤克浩 (情報科学部情報科学科)

## 研究成果の概要

2018年度までの成果を基に応募した研究課題が知の拠点あいち重点研究プロジェクト(III期)に採択された。(研究課題:ヒトに優しい遠隔運転要素技術の開発とシステム化～完全自動運転実現への架け橋として～、研究リーダー:塚田敏彦教授)。HAVRecの研究活動の一つとして本プロジェクトに取り組むこととなったため、共同研究者として新しいメンバーを迎えた(内藤克浩准教授)。HAVRecとして複数の研究テーマに取り組むが、2019年度は「自動運転制御システムの構築」、「自動駐車支援」、「隊列車両制御」、「遠隔操縦支援」関連の研究テーマで国内学術講演会における研究発表を11件行った。また、ITSワールドへの出展、あいち重点研究プロジェクトに関連して研究内容に関する講演や新聞でのプロジェクト紹介、個別企業への技術紹介なども行った。また、「遠隔操縦用コックピット」の開発に関する研究テーマで、1件の特許出願を現在検討中である。

HAVRecに参加する学生の活動の1つとして、夏のオープンキャンパスに出展した。セントラルガーデンにおける「自動運転デモ」、遠隔操縦の難しさを理解してもらうための「ロボットの遠隔操縦体験」や「クレーンゲーム」、研究テーマで活用しているVR(仮想現実)やAR(拡張現実)のデモ体験やVR映像展示等、計6件のテーマでHAVRecに参加する学生が各デモンストレーションの運営、オープンキャンパスに参加する高校生や保護者に対する研究内容説明を行った。また、前述のITSワールドでもHAVRec参加学生が各研究テーマについて来場者に説明する機会を持つこととなった。以上のような対外活動を通して、参加学生はプレゼンテーション能力やコミュニケーションスキル、企画運営能力等を高めることができた。

**研究分野:** ロボティクス、知的情報処理、知的制御

**キーワード:** 遠隔操縦付き自動運転車、操縦支援、X Reality(XR)、情報提示

### 1. 研究開始当初の背景

労働人口の減少により物流における運送・配送手段、都心や過疎地における高齢者の移動手段として日本では自動運転車両の実現が急務である。世界的にも自動運転車両実現に対する要望は高く、自動運転に関する様々な要素技術研究が全世界的に行われてきている。最初は一般車両を除いた高速道路のように非常に限定された環境での自動運転を目的とし、その開発は順調であった。しかし、一般

車両を含む高速道路、大都市の市街地、一般市街地と自動運転車両の走行環境の拡大や制限緩和が進むにつれ、Level5の自動運転実現に向けた課題が複雑かつ困難であることが明らかとなりつつある。

### 2. 研究の目的

本研究では、まずはLevel4の自動運転実現が重要かつ急務と捉え、これまで遠隔操縦付き自動運転車両に取り組

んできた。本研究では、「ラスト 100 ヤードの走破」を合言葉にした一般的な交通ルールが順守されない状況が発生しやすい私有地や未整備道路、また自動運転車両が自律走行不可能な状況下等において遠隔地の操縦者が車両の運転操作を行う事を想定する。遠隔地にいる操縦者が安全かつ的確に自動運転車両を運転するには、車両周囲の状況を操縦者に十分かつ適切に提示する必要がある。また、自動運転車両が自律走行不能な状況を減らすには、自律走行不能時の操縦者の操作を自動運転車両が蓄積して自身の状況判断・車両制御に反映することが望まれる。更に、自動運転車両が一般社会で受け入れられるためには「搭乗者」「遠隔操縦者」「周囲の一般車両のドライバや歩行者」にやさしい自動運転車両が必要不可欠と考える。そこで本研究では、「(搭乗者・遠隔操縦者・一般ドライバや歩行者すべての) 人にやさしい」遠隔操縦付き自動運転の開発に向けた要素技術の確立を目的とする。

### 3. 研究の方法

遠隔操縦付き自動運転車両の実現には、「自動運転システム」および「遠隔操縦システム」に関連した多岐に亘る要素技術が必要である。そこで、本研究ではプロジェクト全体の方針・方向性を全教員で議論・決定しつつ、各自の専門を基盤とした「自動運転システム」および「遠隔操縦システム」に関連する研究テーマを設定する。また、本プロジェクトでは研究活動に参加する大学院生・学部学生に対する教育活動の一環として、大学院生・学部学生による対外広報活動にも取り組む。

### 4. 研究成果

#### ①遠隔運転を想定した通信のリアルタイム性評価

これまで自動運転はロボット開発向けのミドルウェアである ROS1 を用いて開発されてきた。しかし、リアルタイム性確保の仕組みがない問題点があった。そのため、リアルタイム制御を考慮した ROS2 が開発されている。そこで本研究では、ROS2 を用いた遠隔運転を想定した場合の通信のリアルタイム性評価を行った。今回、カメラ画像送受信を 10000 回行う際のレイテンシやサンプルのロスト数を計測し、平均値、最悪値、最良値、標準偏差を評価した。実験結果より、ROS2 を用いることでサンプル送受信のロスト数削減が可能となり、遠隔運転の通信信頼性の向

上に繋がること示された。一方で、ネットワークが安定している場合に比べ、ネットワークが不安定な場合はサンプルのロスト数が増加し、レイテンシも 500[ms]以上となることが分かった。

#### ②自動駐車支援の検討

本テーマでは非整備環境での自動駐車について取り組む。AI が自動駐車できないと判断した駐車場については、いったん遠隔操作によって駐車する。その駐車経路や駐車可能判定基準を AI に学習させることで、自動駐車機能向上を図る。今年度は、仮想環境を用いて非整備環境の駐車場を作成し、遠隔操作で作成した走行経路を用いて、自動駐車を行うために必要な経路追従アルゴリズムの評価、検証を行った。経路追従アルゴリズムとして Pure Pursuit と MPC について評価を行った結果、MPC の方が自動駐車に適していることが確認された。

#### ③遠隔操縦における拡張現実 (AR) 的映像提示

遠隔操縦者の負担軽減を目的とし、HMD (Head Mounted Display) と全天球映像を用いた遠隔操縦システムの実現を目指す。全天球映像はデータ量が膨大であり、操縦者への映像提示に遅延が発生する。この映像提示の遅延は作業に悪影響を与えることは明らかとされている。そこで、本研究ではデータ量の少ない他のセンサ情報に基づく拡張現実 (Augmented Reality) 映像を提示することで、映像提示遅延の作業への悪影響抑制を実現する。今回、3D Lidar 情報を基に AR 映像を生成・提示した遠隔操縦実験を行った。20 代成人男性による被験者では、AR 映像の提示により作業効率・性能の悪化が抑制されることが確認された。

#### ④統計処理に基づく人間の行動要素抽出

乗り心地改善や搭乗者の不安解消を目的とし、人間の運転スキルを活用した自動運転の実現を目指す。この実現には人間の車両運転に関する何らかのモデルが必要であるが、設計者のノウハウに頼る人間の車両運転モデル設計は非常に困難である。そこで、本研究では膨大なデータから抽出した人間の行動モデルを自動運転の制御に適用することを目指す。今年度は、膨大なデータから統計処理に基づき人間の行動要素を自動抽出するアルゴリズムの検証を行った。人間の行動に関する実データを用いた実験で、現在取り組んでいる手法に基づく行動要素の自動抽出の可能性が示された。



図 1：オープンキャンパスでの自動運転の様子



図 2：遠隔操縦による小型電気自動車制御の様子

#### ⑤大学院生・学部生による対外活動

学生の対外活動として、夏のオープンキャンパスへの出展と、ITS ワールドへの出展を行った。オープンキャンパスでは様々なデモを行ったが、今年最も挑戦的なテーマは「自動運転デモ」であった(図 1)。自動運転デモを検討する際、来場者に対する安全が最優先事項・課題であった。そこで、自動運転デモを行う際の安全対策について学生と教員が一つになって議論を重ね、実施要項を作り上げた。当日は微妙な天候であったが無事に自動運転のデモを実施することができた。

実機による遠隔操縦の実現を目指し、小型電気自動車の遠隔操縦システムを構築した(図 2)。瀬戸校地における遠隔操縦実験の様子を他の研究テーマと共に ITS ワールドにて発表した。直接通信が可能な範囲では小型電気自動車を安定して遠隔操縦できることを確認した。一方で、搭乗者は遠隔操縦に不安感を覚えることも分かり、搭乗者への情報提示が今後の課題であることが分かった。

#### 5. 本研究に関する発表

(1)道木加絵、鈴木建哉、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“遠隔操縦支援のための拡張現実におけるセン

サ情報提示手法の検討”、第 29 回インテリジェント・システム・シンポジウム、2019 年

(2) 鈴木建哉、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“映像に 3D Lidar 情報を重畳した拡張現実による遠隔操縦支援システム”、SICE 中部支部シンポジウム 2019、2019 年

(3) 鈴木建哉、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“映像品質劣化の悪影響抑制を目的とした遠隔操縦者支援のための拡張現実を用いた映像提示手法”、計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2019、2019 年

(4) 鈴木建哉、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“遠隔操縦における映像品質低下の影響抑制を目的とした拡張現実的映像提示”、第 20 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2019 年

(5) 井上佳、道木加絵、永井雄馬、橋本幸二郎、道木慎二、舟洞佑記、鳥井昭宏、“HMM 遷移ネットワークを用いた人間の行動要素抽出—IF-THEN ルールで得られた行動モデルに基づく検証—”、第 20 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2019 年

(6) 川上勇剛、本田晋也、倉地亮、中條 直也、“ROS2 を用いた遠隔運転を想定した通信のリアルタイム性評価”、第 79 回 ITS 研究発表会、2019 年

(7) 上谷一将、中條直也、“遠隔操縦付き自動運転システムにおける自動駐車支援の検討”、第 79 回 ITS 研究発表会、2019 年

(8) 金暁卓、中條直也、“自動運転用ソフトウェアプラットフォーム Autoware と Apollo の比較検討”、第 79 回 ITS 研究発表会、2019 年

(9) 早川実来、中條直也、“遠隔自動運転における隊列走行の検討”、第 79 回 ITS 研究発表会、2019 年

(10) 道木加絵、井上佳、橋本幸二郎、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、“HMM 遷移ネットワークを用いた人間の行動要素抽出—一時系列分割タイミングの影響を考慮した行動要素抽出の検討”、令和 2 年電気学会全国大会、2020 年

(11) 鈴木建哉、道木加絵、舟洞佑記、道木慎二、鳥井昭宏、元谷 卓、“遠隔操縦における映像劣化の悪影響抑制のための AR 映像提示—操作性と操作者の主観評価”、令和 2 年電気学会全国大会、2020 年