

エッジAI対応5Gデバイスを活用したパーソナルモビリティ向け自動運転支援システム

移動機開発部

たかはし 高橋	まこと 誠	なかざわ 中澤	ゆうき 祐希
もりべ 森部	ともや 智也	いけだ 池田	けんや 健矢

高齢化や労働力不足に伴う社会課題の解決に向けて、さまざまなパーソナルモビリティやサービスロボットの自動運転サービスへの期待が高まっている。これらのサービスの社会実装には、安全性確保が最重要課題となっており、障害物回避性能向上や遠隔操縦サービスへの対応が求められている。そこでドコモでは、リアルタイム性に優れたデバイス上での障害物検知や、閉域環境での5G通信を用いたセキュアな低遅延遠隔操縦の技術開発を行い、社会実装に資する安全な自動運転支援を可能とした。

1. まえがき

日本の総人口は2020年10月1日時点で1億2,571万人となった。65歳以上の人口は3,619万人であり、高齢化率は28.8%にのぼる。また、2065年には、約2.6人に1人が65歳以上となる統計データが内閣府より示されている [1]。このような高齢化社会に対して、高齢者が手軽に移動できるような自動運転 車いすや、自宅までのラストワンマイル区間の自動運転ロボットによる配送などの省人化サービスの社会実装*1が期待されている。自動運転サービスの社会実

装に向けては安全性の確保が最重要課題となり、従来のLiDAR (Light Detection And Ranging)*2などの距離センサに加えて、デバイス上での画像認識技術*3を用いた即時対応可能な障害物検知機能、また自律走行*4が困難な場合での自動運転を可能とする遠隔操縦モードへの対応、などの安全性向上に向けた取組みが求められている。

本稿では、さまざまなパーソナルモビリティ*5やサービスロボットの安全な自動運転に向けて、ドコモのMEC (Multi-access Edge Computing)*6環境上に構築した遠隔操縦システムとエッジAI*7対応

©2022 NTT DOCOMO, INC.

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。

*1 社会実装：本稿では、社会課題を解決する仕組みとして社会生活に浸透し、継続的に利用されていく状態を示す。

*2 LiDAR：近赤外光などの光を周囲の物体に照射し、反射光により物体検知を可能とするセンサ。

*3 画像認識技術：画像処理技術や機械学習技術を用いて、画像を機械に理解させ、意味を取り出す技術。

5Gデバイスを組み合わせて活用することで実現した、パーソナルモビリティ向け自動運転支援システムについて解説する。

2. システム概要

ドコモが開発したパーソナルモビリティ向け自動運転支援システムの構成図を示す(図1)。本システムは、①さまざまなパーソナルモビリティやサービスロボットにアドオンして用いる「エッジAI対応5Gデバイス」、②リアルタイム性が要求される処理を当該デバイス上で行う「エッジAIアプリケーション」、③パーソナルモビリティ自動運転の監視・走行サポートを可能とする「遠隔操縦システム」の3つの機能ブロックからなる。なお、本システムでは車いすなどのパーソナルモビリティ自体を開発するのではなく、パートナー企業の開発機体にアドオンすることで利用可能な構成を取っており、さまざまなタイプのパーソナルモビリティやサービスロボットに対して安全性を高める自動運転支援が可能であ

る。

具体的には、本システムを用いることで、パーソナルモビリティ周辺の、ある障害物が人物であることを認識した上で障害物回避を行うなどの適切な機体制御が可能となり、LiDARなどの距離センサのみを用いた自動運転システムの安全性をさらに高めることができる。また、自動運転サービスの社会実装に向けては、パーソナルモビリティの自律走行技術の安全性向上とともに、自律走行中の予期せぬトラブルに対して遠隔から自動運転をサポートする機能が求められる。本システムは現地映像を遠隔サポートセンタ側へ伝送し、遠隔サポートセンタ側から機体状況をモニタリングする機能を具備しており、周囲の人混みや障害物などによって、パーソナルモビリティが自律走行中に自己位置を見失った場合、または自律走行に必要なデジタルマップが存在しない場所への移動を行う場合に、遠隔サポートセンタ側の管理者による遠隔操縦を可能とする。本システムは、さらに現地映像に映り込む人々へのプライバシー配慮として、検知した人物の顔に対してモザ

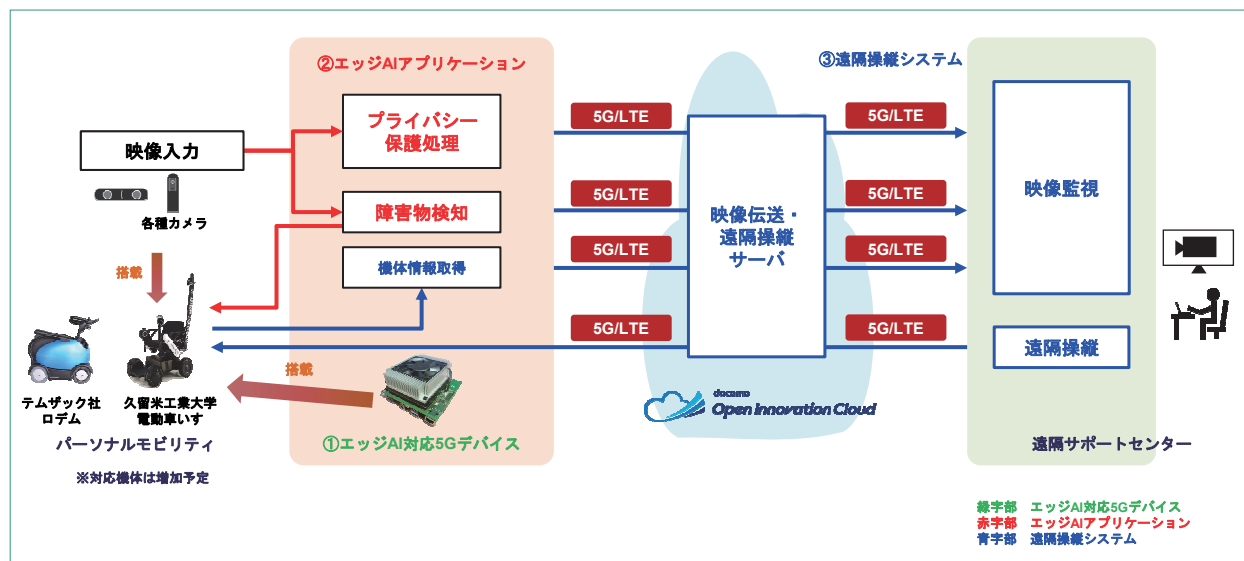


図1 「パーソナルモビリティ向け自動運転支援システム」の全体構成図

- *4 自律走行：デジタルマップおよびパーソナルモビリティ（*5参照）に搭載された距離センサ、モーションセンサなどを用いて、自己位置推定しながら目的地へ走行する機能。
- *5 パーソナルモビリティ：本稿では、電動タイプの個人用の乗り物を示す。
- *6 MEC：移動通信網において、お客様により近い位置にサーバやストレージを配備する仕組み。

- *7 エッジAI：本稿では、MEC環境上で処理するAIではなく、デバイス上で処理するAIを示す。

イク加工を行うマスク処理を施した映像を伝送することも可能となっている。

また、本システムを構築するクラウド基盤として、ドコモが提供するMEC環境であるドコモオープンイノベーションクラウド[®] [2] を活用し、第5世代移動通信システム（5G）を用いたクラウドダイレクト接続を行うことにより、5Gならではの高精細かつ低遅延な映像伝送、およびインターネットを経由しないことによる高セキュリティ通信が可能である。

3. エッジAI対応5Gデバイス

3.1 デバイス概要

本デバイスは、後述の高性能プロセッサ、5Gモジュール、各種インタフェースを具備したキャリアボード^{*8}から構成される。パーソナルモビリティでの利用にあたっては、エッジデバイス上での画像認識などの高負荷処理、高精細映像などの大容量・低遅延通信、機体への組み込みやすさなどが求められる。本デバイスは以下の各構成要素を組み合わせることで、パーソナルモビリティ自動運転支援への活用を可能とした。

3.2 エッジAI処理可能な高性能プロセッサ搭載

パーソナルモビリティの自律走行では、リアルタイム性に優れたエッジデバイス上での複数のAI処理が求められている。一般的に画像認識などのAI処理はマシンパワーの優位性からクラウド上で実行されることが多いが、本デバイスはNVIDIA社製のエッジコンピューティング^{*9}用プロセッサ「Jetson AGX Xavier [3]」を搭載することで、エッジデバイス上でのAI処理を可能としている。また、より省電力・廉価な「Jetson Xavier NX [4]」にも対応しており、ユーザの用途に合わせてプロセッサの

選択が可能となっている。

3.3 高速・大容量・低遅延通信を実現する5Gモジュール搭載

5G対応通信モジュールについては、ドコモネットワークとの相互接続性試験を完了したTelit社製モジュール「FN980 [5]」を採用した。遠隔操縦によるパーソナルモビリティ自動運転支援においては、高精細映像や360度カメラ映像など複数カメラを用いて安全性を高めているが、5Gの導入によりそれらの映像伝送を実現可能としている。

本モジュールは外部アンテナにも対応しており、パーソナルモビリティの機体内部に本デバイスを組み込んでも、機体外部のアンテナによって安定的な通信が可能である。また、通信モジュールとの接続インタフェースとして、汎用的なM.2コネクタ^{*10}を採用することにより、多様な機器との接続性を確保した。

3.4 外部機器接続用インタフェースを具備したキャリアボード搭載

前述の高性能プロセッサや、5Gモジュールを組み込むためのキャリアボードを開発した。本ボードでは、シリアル通信用インタフェースや、HDMI (High-Definition Multimedia Interface) 入力（「Jetson AGX Xavier」のみ）など、豊富なインタフェースを具備している（表1）。これにより、スマートフォンや一般的なルータでは困難な、外部カメラをはじめとするセンサ類との接続が可能となっている。また、本デバイスはパーソナルモビリティにアドオンする形での使用が想定されているため、組み込みやすさを重視した形状となっている。特定のパーソナルモビリティだけでなく、さまざまな機体への組み込みに対応可能な汎用性をもっている。

*8 キャリアボード：必要な入出力インタフェースを持つハードウェア。

*9 エッジコンピューティング：ユーザの近くにエッジサーバを分散させ、距離を短縮することで通信遅延を短縮する技術。

*10 M.2コネクタ：薄型で高性能なデバイスに適した接続端子。

表1 キャリアボードの製品仕様

サイズ	120×120mm
動作温度	-20~+80℃
動作湿度	10~90%
インタフェース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1×HDMI Type A (出力) ・ 1×USB3.1 Type C ・ 2×USB3.1 Type A ・ 1×USB2.0 Micro B (OTG) ・ 1×RJ-45 for GbE ・ 1×Micro SDスロット ・ 1×DC-in 9~19V (6pinユーロブロック) ・ 1×M.2 B-Key 3052 (Telit FN980m 5G/LTE) ・ 1×M.2 M-Key 2280 (SC710N1 M2 HDMI) (1×HDMI Type A入力) ・ 1×M.2 M-Key 2280 (M.2外部ストレージ追加可能) ・ 1×nano SIMスロット
拡張ピンヘッダー	<ul style="list-style-type: none"> ・ 1×CANBUS ・ 1×UART 3.3V/5V TTL (JST-GH 6pin) ・ 1×UART 3.3V/5V TTL (DF-13-6pin) ・ 1×RS-232/1×I2C/5×GPIO ・ 1×MIPI CSIコネクタ (120pin) ・ 1×フロントパネル (リセット/リカバリ/電源ON)

4. エッジAIアプリケーション

4.1 アプリケーション概要

ドコモは、パーソナルモビリティ自動運転の安全性向上を目的としたリアルタイム性が要求される障害物との衝突回避のための周辺映像認識や、遠隔操縦のための伝送映像に写り込んだ人物に対するプライバシー保護処理などの、デバイス上で動作するアプリケーションを開発した。

4.2 パーソナルモビリティ周囲の障害物検知

自律走行時には、パーソナルモビリティの周囲に存在する障害物を精度よく把握するため、ステレオカメラ映像を用いた画像認識・解析を行うことで、障害物種別の判別や障害物までの距離を算出可能とした。また、障害物が人などの移動物体である場合には今後の移動方向・移動量も予測する。これらの映像解析による出力情報について、クラウドを介さ

ずにデバイスから即時にパーソナルモビリティへ通知することで、安全な自動運転に繋がる速やかな機体制御を可能としている。

遠隔操縦時には、遠隔操縦者の操作性向上およびシステムの安全性向上のため、パーソナルモビリティの周囲360度の画像認識・解析を行い、それらを遠隔地の画面に表示することで、付近のどの位置に人が存在しているか遠隔操縦者が視覚的に確認可能とした。

4.3 プライバシー情報の保護

医療施設などで映像伝送を行う際、伝送映像に移り込んだ人物に対するプライバシー保護が要求される場合がある。本システムでは当該ケースへの対応のため、遠隔操縦者に映像伝送する際にデバイス上で検知した人物へのマスク処理を可能とした。ただし、人物全体にマスク処理を行うと遠隔操縦者の視認性が損なわれることから、検知した人物の顔のみ

にマスク処理を行っている。なお、人の顔自体を画像認識対象とすると、認識対象部分が小さくプライバシー保護精度が低くなる傾向が見られたため、人物検出と顔検出を段階的に用いた。

4.4 映像・制御情報伝送の低遅延化

パーソナルモビリティの自律走行や遠隔操縦では、衝突防止や安全性確保のため、高負荷処理に対応できるだけでなく、低遅延であることも非常に重要となる。また、エッジデバイス上で複数AI処理を並列に行うため、限られたエッジデバイスの計算処理リソースで効率的に処理することも求められる。本システムでは安価かつ迅速なサービス開発のため、オープンソースAIフレームワーク^{*11}であるYolo [6] を活用し、エッジAIアプリケーションの処理を高速化するための工夫を図っている。

本システムでは、推論処理時に単精度浮動小数点演算^{*12}ではなく半精度浮動小数点演算^{*13}を採用している。例えば、人のようにある程度の大きさをもつ認識対象の場合、単精度浮動小数点演算により計算精度を向上させても推論の精度が大きく向上しないことが知られている。そこで単精度浮動小数点演算よりも高速な推論処理が可能である半精度浮動小数点演算を活用し、また、エッジAIアプリケーションの各処理パラメータ最適化に加え、デコード用のバッファサイズの最適化や、入力画像のダウンサンプリング^{*14}などによってエッジデバイスにかかる計算処理リソース全般の節約を図り、低遅延化

を実現した。

5. 5G遠隔操縦システム

5.1 システム概要

本システムはエッジAI対応5Gデバイス（図1①）、ドコモオープンイノベーションクラウド上に構築された映像伝送・遠隔操縦サーバ、監視用Web/iPad^{*15}アプリケーション、操縦用コントローラ（図1③）から構成される。映像伝送では、デバイスからエッジAIアプリケーションが生成した映像や各種センサ情報がサーバを経由して送信され、遠隔サポートセンタの監視用Web/iPadアプリケーション上に表示される。遠隔操縦では、コントローラに入力された操縦情報がサーバを経由してデバイスからパーソナルモビリティへと送信される。通信は5G/LTEに対応し、ドコモオープンイノベーションクラウド上のサーバへのクラウドダイレクト接続を採用している。本システムの検討にあたって抽出した、遠隔操縦の実用化に向けた課題を示す（表2）。

5.2 ドコモオープンイノベーションクラウドを活用した低遅延性・高セキュリティ性

低遅延性の観点では、遠隔サポートセンタ側の管理者が遠隔操縦を安全に行うために、映像の入力から操縦情報の入力・反映までを500ms以内に完結させることが求められている。この課題に対し、前述したエッジデバイス上の処理の工夫に加え、ドコモ

表2 遠隔操縦システム実用化に向けた課題

①低遅延性	状況確認から操作の反映までの低遅延性が必要。
②全周囲の安全確認	横方向または後方から接近する人・物体の視認が必要。
③機体情報の確認	機体の残バッテリー情報など、機体情報の監視が必要。
④機体に応じた柔軟なコントローラ対応	システムの拡張性を高めるために、機体に応じた指定コントローラへの対応が必要。

*11 オープンソースAIフレームワーク：AI開発を容易にする、さまざまなプログラムがまとまった骨子をAIフレームワークと呼ぶ。現在さまざまなAIフレームワークがオープンソースとして無償で利用可能になっている。

*12 単精度浮動小数点演算：32bit演算。FP（Floating Point）32と省略される。

*13 半精度浮動小数点演算：16bit演算。FP16と省略される。

*14 ダウンサンプリング：計算量削減のために画像の解像度を低くすること。

*15 iPad：Apple、Appleのロゴ、iPadは、米国および他の国々で登録されたApple Inc. の商標。TM and © 2020 Apple, Inc. All rights reserved.

独自のMEC基盤であるドコモオープンイノベーションクラウドと、専用接続回線クラウドダイレクトを組み合わせることで、要求された500ms以内の低遅延を実現した。ドコモオープンイノベーションクラウド上にシステム構築することで、インターネット上に存在するパブリッククラウド*16を使用する場合に比べ低遅延性を向上させている。遅延量は、エッジAIアプリケーションによるプライバシー保護処理を加えた映像を伝送し、遠隔地で表示するまでに300ms程度、操縦情報の伝送が100ms程度であり、トータルで遅延500ms以下の安全な遠隔操縦の達成をベンダとの実証実験により確認している。さらに低遅延以外のメリットとして、通信経路がドコモ網内に閉じている閉域構成であることにより外部から分離されるため、不正アクセスのリスクを下げることができ、高いセキュリティ性も実現している。

5.3 映像・センサ情報の可視化

遠隔操縦する際の安全性確保の観点では、前方の視界確保だけでなく、横方向または後方から接近

する人・物体の視認が求められている。また、機体情報の確認として、パーソナルモビリティのバッテリー情報やセンサにより取得した姿勢情報などを監視することも、安全な走行のために求められている。これらの課題に対しては、監視用Web/iPadアプリケーション上でWebカメラの前方映像、360度カメラによる全周囲映像の両方を表示可能とすること、また、デバイスから任意のテキスト、数値情報をサーバに送信し、Webアプリケーションにて可視化する機能で対応している(図2)。360度カメラ映像についてはドラッグ操作による視点操作が可能であり、操縦者は全周囲の着目したい部分に視点をフォーカスすることが可能である。さらに、可視化情報として360度カメラ映像からAIアプリケーションが検出した人物の位置情報を、レーダー表示する機能も備えている。また、任意のデータ可視化機能では、各パーソナルモビリティベンダの制御アプリケーションが、可視化したい情報を、指定のAPI(Application Programming Interface)*17を用いて送信すればよい。可視化したい情報や使用するセン



図2 映像伝送・遠隔操縦システムの表示画面イメージ図

*16 パブリッククラウド：インターネットを介して誰でも利用できるクラウドコンピューティングサービス。

*17 API：OSやミドルウェアなどが提供する機能を、他のアプリケーションソフトウェアが利用するためのインタフェース。

サ類などについては、各ベンダが自由に選定することが可能である。

5.4 複数モビリティ・コントローラーへの汎用性

最後に本システムの操作性の観点では、さまざまなパーソナルモビリティに適した、多種多様なコントローラーの利用が求められている。この課題に対して、本システムではコントローラーからの操縦情報を独自フォーマットなどに変換することなく、透過的にサーバに伝送する仕様としている。操縦情報はドコモオープンイノベーションクラウドを介し低遅延にデータ伝送され、各パーソナルモビリティのベンダは、自社で開発する制御アプリケーションに操縦情報を取り込むだけで、遠隔操縦が実現できる。ベンダは、制御アプリケーションに即したコントローラー機器を選定するだけでよい。各パーソナルモビリティに適したコントローラーに柔軟に対応できる。

6. あとがき

本稿では、高齢化や労働力不足に伴う社会課題に対する解決手段の1つとして期待されている、パーソナルモビリティやサービスロボットの安全な自動運転に寄与するパーソナルモビリティ向け自動運転支援システムについて解説した。

具体的には、Webカメラや360度カメラなどを接続して、画像認識処理や5G通信による遠隔監視用の高精細映像の低遅延映像伝送を実現する「エッジAI対応5Gデバイス」、リアルタイムな機体制御に活用可能な障害物検知や、伝送映像に対するプライバシー保護処理をデバイス上で可能とする「エッジAIアプリケーション」、セキュアかつ低遅延な遠隔

監視・遠隔操縦を可能とする、ドコモオープンイノベーションクラウドを活用した「遠隔操縦システム」についての特徴を説明した。

本領域についてはさまざまな実証実験が行われており、一部では有料での商用サービスが提供され始めているが、ハードウェアやソフトウェアを含めたサービス全体にかかる提供コストが高価であり、今後の普及に向けてはさらなる安全性の向上とともにサービス提供価格の低減が求められている。今後は、ドコモのもつ5GネットワークやMEC基盤に加え、安価かつ市場競争力のある市中の機器や技術を融合した汎用的なシステム開発によるコスト低減がより重要になると考えられる。種々の社会課題の解決に向けて、協創パートナーとともに新たな価値創造および社会実装を進めていきたい。

文 献

- [1] 内閣府：“令和3年版高齢社会白書（概要版）第1節 高齢化の状況。”
<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/gaiyou/pdf/1s1s.pdf>
- [2] NTTドコモ：“ドコモオープンイノベーションクラウド。”
<https://www.nttdocomo.co.jp/biz/service/doic/>
- [3] NVIDIA：“Jetson AGX Xavier.”
<https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-agx-xavier/>
- [4] NVIDIA：“Jetson AGX Xavier NX.”
<https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-xavier-nx/>
- [5] Telit：“FN980.”
https://y1cj3stn5fbwhv73k0ipkleg-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2021/02/Telit_FN980-FN980m_Datasheet.pdf
- [6] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi：“You Only Look Once：Unified, Real-Time Object Detection,” Cornell University, May 2016.
<https://arxiv.org/abs/1506.02640>