

ロボットビジョン技術を搭載したドローン実演機の試作と

RTF でのフィールド実証 (第 1 報)

Prototype of drone demonstration machine equipped with robot vision technology
and field demonstration at Fukushima Robot Test Field (1st report)

南相馬技術支援センター 機械加工ロボット科 太田悟 三浦勝吏 塚本遊 加藤和裕
技術開発部 生産・加工科 鈴木健司 近野裕太 清野若菜

本事業では、近年ドローンをはじめとしたロボット分野で活用が進むロボットビジョン技術を搭載したドローン実演機を試作し、福島ロボットテストフィールドにおいて実証実験を行う。主要なロボットビジョン技術である三次元構造復元、AI、5G 通信の 3 つの要素技術について、今年度はドローンに積載可能な、AI により物体検出及び領域検出を行う小型装置を製作するとともに、5G 通信を利用した通信速度マップの作成と映像伝送の実験に取り組んだ。

Key words: ロボットビジョン、ドローン、AI、物体検出、領域検出、5G 通信、速度計測、VPN、映像伝送

1. 緒言

福島ロボットテストフィールド (以下、福島 RTF) は陸・海・空のロボットの实証試験を行う国内最大級の实証フィールドであり、無人航空機をはじめ自動走行車や水中ドローンなど様々な災害対応ロボットの实証試験が行われている。特に無人航空機では、回転翼を持つドローンを使った自律飛行や長距離飛行、インフラ点検や気象観測などに向けた実証試験が盛んに行われており、今後もドローンの産業利用が進むことが期待される。

そこで本事業では、中小企業のロボット関連分野への参入促進を目的とし、ドローン実演機の試作と福島 RTF での実証実験を行う。さらには実技講習会開催等の普及活動を行っていく。

ドローン実演機は、ハイテクプラザが保有するロボット関連技術のうち、三次元構造復元技術、AI 技術、ネットワーク技術を活用して試作する。三次元構造復元技術によるドローン映像による建造物の 3D データ化、AI 技術による災害現場の家屋や生存者の発見、土砂の流出範囲などの検出を想定した小型システムを開発しドローンへ積載することで、簡易型災害対応ドローンの実現を目指す。また、ドローンで撮影した高精度映像や機械学習用の大容量データを遠隔にある拠点と共有することを想定したネットワークシステムの開発も行う。(図 1)

実証試験はドローンによる災害現場の情報収集及び被害状況の分析を想定し、福島 RTF の屋外フィールドで行う。

本事業は令和 3 年度から令和 5 年度で実施する。初年度である令和 3 年度は、AI 技術を使った物体検出及び領域検出の環境構築と、5G 通信を利用した通信速度マップの作成及び映像伝送の実験に取り組んだ。



図 1 実証実験の概要

2. 実験と結果

2. 1. YOLO を用いた AI 物体検出

災害現場において被災家屋や生存者を発見することを想定し、建物や人の物体検出を可能とする AI 物体検出システムの開発に取り組んだ。ソフトウェアにはリアルタイムで物体検出を行う YOLO を使用し、また GPU を搭載し AI 処理に適した小型・軽量のコンピュータである JETSON NANO を使って環境を構築した。構築した環境を表 1 に示す。

表 1 AI 物体検出システムの開発環境

ハードウェア	JETSON NANO
・ CPU	Quad-core ARM A57
・ メモリ	4GB
・ GPU	Maxwell
・ CUDA コア	128
ソフトウェア	Tiny YOLO

YOLO¹⁾とは畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いてオブジェクト・ディテクションを実現するソフトウェアである。従来、2段階で行われていた物体検出処理を1段階で処理することで高速化を実現している。また、リアルタイムで検出した複数の物体のおおよその位置とサイズをバインディング・ボックスで表示するとともに、認識した物体の種別を認識精度とともに表示できるといった特徴がある。YOLOによる物体検出の結果例を図2に示す。解像度1280×720のカメラ映像を入力した場合、フレームレートは約9fps、処理遅延は1秒以内で物体検出ができることを確認した。



□ … バインディングボックス

図2 YOLOによるAI物体検出の結果

2. 2. YOLACTを用いたAI領域検出

自然災害の発生エリアを検出することを想定し、道路や土砂、水没地の領域検出を可能とするAI領域検出システムの開発に取り組んだ。領域検出を行うソフトウェアにはリアルタイムでセグメンテーションを行うYOLACT²⁾を利用し、またGPUを搭載しAI処理に適した小型・軽量のコンピュータであるJETSON NANO及び、その上位機種であるJETSON AGX XAVIERを使って環境を構築した。あわせて、デスクトップ型で高速にAI処理が可能なAIワークステーションDeepLearning BOX IIにも同様の環境を構築し、JETSON 2機種との処理性能を比較した。構築した環境を表2に示す。

YOLACT²⁾はYOLOから派生し開発されているため、YOLOと同様バインディング・ボックスを用いた物体検出と、画像全体をピクセル単位で領域分割するセマンティックセグメンテーションの機能を併せ持っている。またYOLACT Edgeはエッジデバイスなどの動作に適し、より高速にインスタンスセグメンテーション処理を行うことができる。これらの特徴を活かしたハードウェア/ソフトウェア構成で環境を構築した。YOLACT及びYOLACT Edgeによる領域検出の結果例を図3、図4に

示す。両結果とも、バインディング・ボックスによる物体検出とセグメンテーションによる領域検出ができることを確認できた。

表2 AI領域検出システムの開発環境

ハードウェア	JETSON NANO	JETSON AGX XAVIER	DeepLearning BOX II
・CPU	Quad-core ARM A57	Octa-core ARM v8.2	Core-i9 10920X
・メモリ	4GB	32GB	128GB
・GPU	Maxwell	Volta	Geforce RTX 2080Ti
・CUDAコア	128	512	4352
ソフトウェア	YOLACT Edge	YOLACT Edge	YOLACT

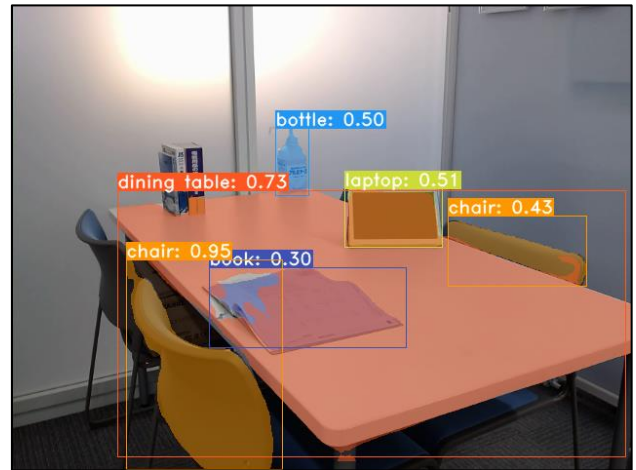


図3 YOLACTによるAI領域検出の結果



図4 YOLACT EdgeによるAI領域検出の結果

環境を構築した3機種について、それぞれの処理性能を比較した。JETSONの2機種にはシングルボードコンピュータでの動作に適したYOLACT Edgeを、AIワークステーションのDeepLearning BOX IIには検出精度が高いYOLACTをインストールし、フレームレートと処理遅延を比較した。結果を表3に示す。JETSON NanoとYOLACT Edgeの組み合わせでは、フレームレートは1fpsと低くかつ処理遅延も15秒と大きかった。しかし、JETSON AGX XAVIERとYOLACT Edgeの組み合わせでは、フレームレートが23fpsで処理遅延も1秒程度であり、AIワークステーションと遜色ない処理性能であることを確認できた。

表3 AI 領域検出システムの処理性能の比較

ハードウェア	JETSON NANO	JETSON AGX XAVIER	DeepLearning BOX II
ソフトウェア	YOLACT Edge	YOLACT Edge	YOLACT
フレームレート [fps]	1	23	30
処理遅延 [s]	15	1	<1

2. 3. 5G 通信速度マップ

福島 RTF の屋外フィールドの複数地点において 5G 通信によるインターネット接続のスピードテストを行い、5G 通信速度マップを作成した。福島 RTF は、キャリア 5G と呼ばれる移動体通信事業者による 5G 通信の提供エリアとなっており、インフラ点検・災害対応エリア内の 4 カ所に 5G 基地局が設置されている。今回、この 5G 基地局を利用しスピードテストを行った。通信方式は、キャリアアグリゲーション技術により 3.7GHz と 4.5GHz の周波数帯を束ねて使用する Sub6-CA 方式であり、一般的な Sub6 方式と比べより高速な通信が可能である。測定場所は、実証実験を計画しているインフラ点検・災害対応エリア内の市街地フィールド及び瓦礫・土砂崩落フィールドとした。市街地フィールドは住宅やビル、ガレージなど電波を遮る障害物があるため、地点 A から地点 Y まで 20m 間隔の計 25 地点で測定した。瓦礫・土砂崩落フィールドは電波を遮る障害物が少ないため、地点 A から地点 T まで 50m 間隔の計 20 地点で測定した。各フィールドのスピードテスト実施地点を図5、図6に示す。



図5 スピードテストの実施地点（市街地フィールド）

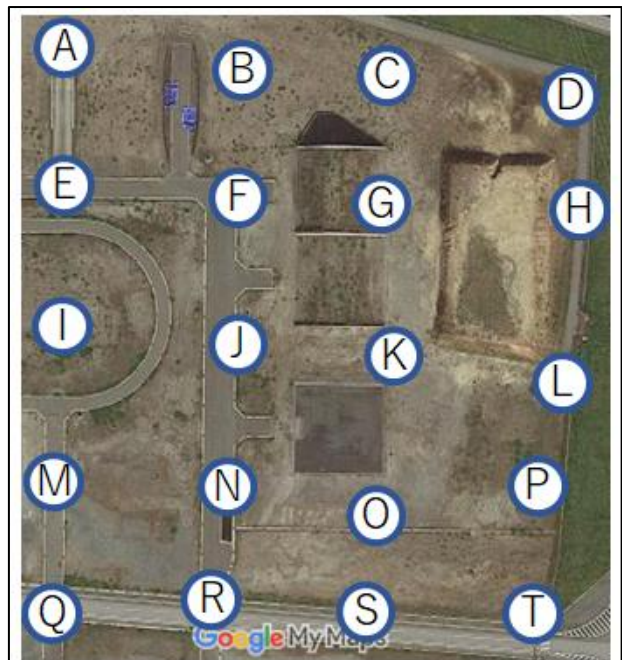


図6 スピードテストの実施地点（瓦礫・土砂崩落フィールド）

スピードテストは、5G 通信対応スマートフォンに速度計測アプリ nPerf をインストールして行った。nPerf³⁾ はインターネット接続時の通信速度や遅延時間等を測定できるアプリケーションで、ダウンロードとアップロードに分けて測定できるという特徴がある。1 地点当たり 3 回の計測を行い、その平均値を評価した。また 5G 通信の比較対象として 4G 通信によるスピードテストも行った。各地点のアップロードの計測結果を図7、図8に示す。

このスピードテストの結果をもとに、市街地フィールド及び瓦礫・土砂崩落フィールドのヒートマップを作成し、これを重ね合わせた 5G 通信速度マップを作成

した。各地点のアップロードの5G通信速度マップを図9、図10に示す。

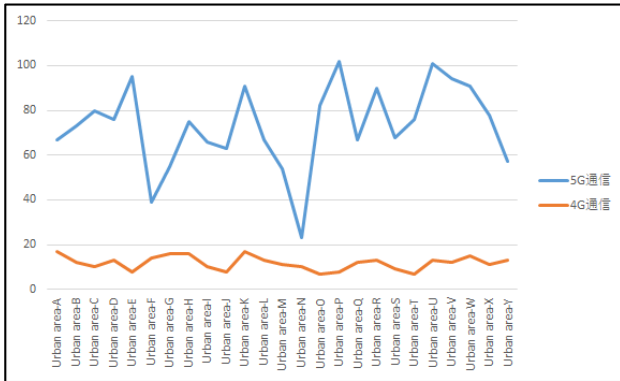


図7 通信速度の計測結果（市街地フィールド）

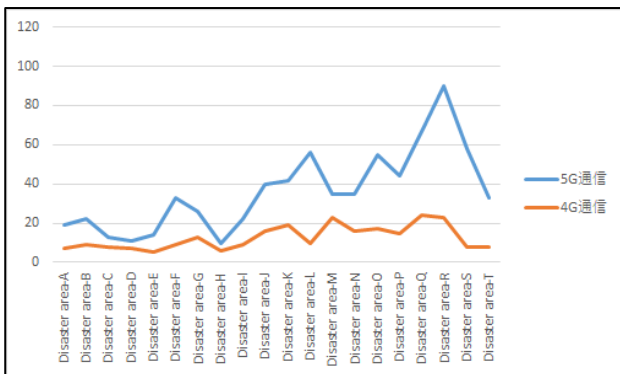


図8 通信速度の計測結果（瓦礫・土砂崩落フィールド）

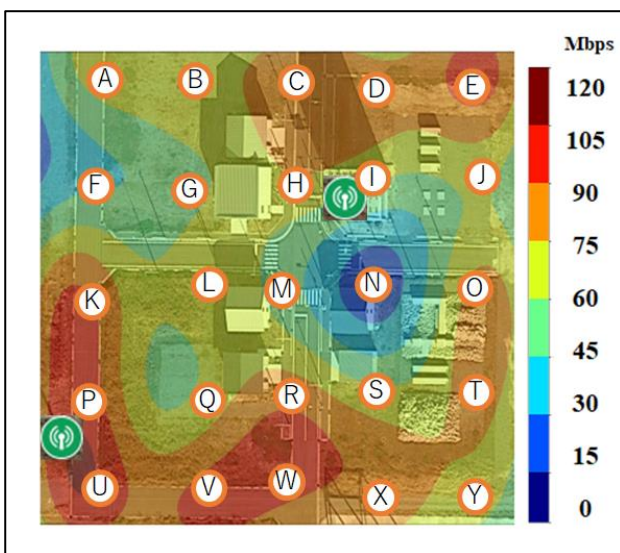


図9 5G通信速度マップ（市街地フィールド）

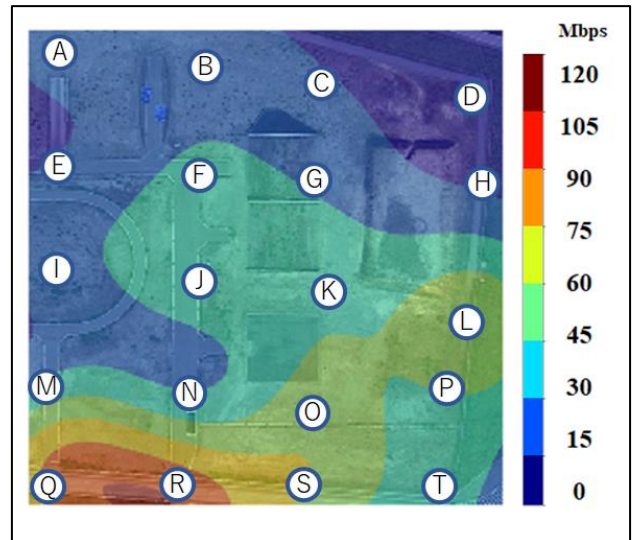


図10 5G通信速度マップ（瓦礫・土砂崩落フィールド）

2. 4. 5G通信を用いた映像伝送

福島RTFの屋外フィールドと本館実験室の2地点間で映像伝送やデータ送受信を行うことを可能とするネットワークを構築した。屋外フィールドはモバイルルータを利用した無線通信によるインターネット接続環境とし、本館実験室は光ファイバーによるインターネット接続サービスを利用した有線通信によるネットワーク環境とした。(図11)一般的なインターネット接続環境で、任意の2地点の間で相互に通信を行うためにはVPNを実現するソフトウェアが必要となる。このソフトウェアは、暗号化技術を使うことで任意の2地点の間を相互接続できる秘匿性の高い安全なネットワークを構築でき、拠点間接続やリモートアクセスの用途で広く普及している。

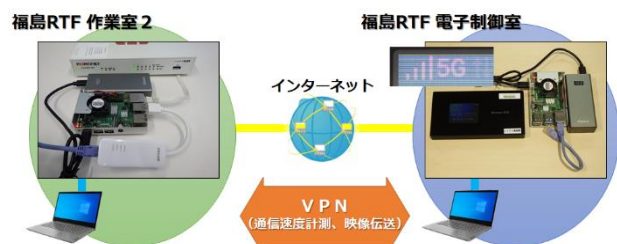


図11 実験ネットワークの概要

本事業では、小型で低消費電力のシングルボードコンピュータ Raspberry Pi に、SoftEther VPN ソフトウェアをインストールした VPN 装置を2組作成した。製作した装置を図12に示す。



図 1 2 製作した VPN 装置

SoftEther VPN⁴⁾ は、筑波大学の SoftEther VPN プロジェクトが開発と配布を行うオープンソースのソフトウェアであり、商用、非商用にかかわらず無償で利用できる。LAN カードや HUB 等のネットワークデバイスをソフトウェアでエミュレートすることにより、拠点間接続 VPN、リモートアクセス VPN といったネットワーク相互接続を実現する。

この 2 台の VPN 装置を送信側と受信側に設置し、ソフトウェアの JPerf を使用し通信速度を計測した。JPerf は速度計測ツール iPerf⁵⁾ を GUI で操作できるソフトウェアであり、クライアント側からサーバ側へ、指定したデータ量を指定した時間連続して送信することで、ネットワークの帯域幅や実効速度を計測することができ、また通信プロトコルを TCP 通信と UDP 通信に分けて測定できるという特徴がある。通信速度は 5G 通信を用いて、データファイルの送受信などで使用される TCP 通信と、ストリーミング配信などの映像伝送で使用される UDP 通信に分けて計測した。計測は 10 回ずつ行い、その平均値を記録した。また、モバイルルータの 5G 通信/4G 通信の切り替え機能を利用した比較測定も行った。結果を図 1 3 に示す。

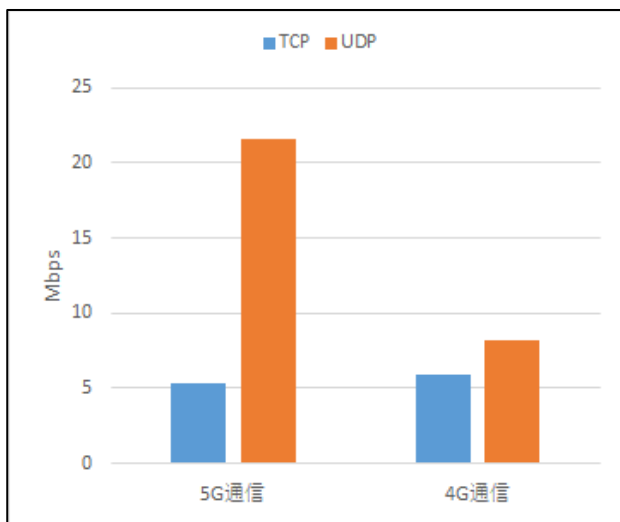


図 1 3 VPN ネットワークの通信速度の計測結果

またネットワークの応答遅延時間についても Windows 10 のシステムツールである ping コマンドを使って計測した。5G 通信と 4G 通信で比較測定も行った。結果を図 1 4 に示す。

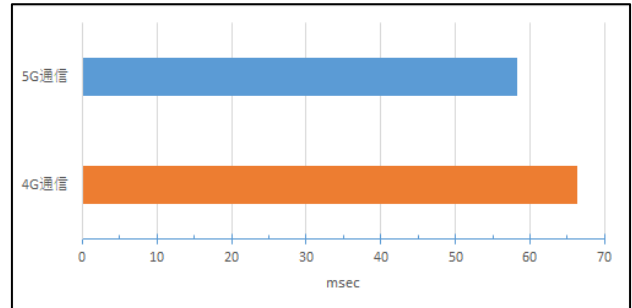


図 1 4 VPN ネットワークの応答遅延時間の計測結果

さらに構築した VPN ネットワーク上で映像伝送実験を行った。ソフトウェアは MJPG-streamer⁶⁾ を使用し、カメラ映像をリアルタイムでストリーミング配信の実験をした。実験は福島 RTF 2 階の、60m 程度離れた 2 室間で行った。実験の様子を図 1 5 に示す。一方の部屋の Windows PC からカメラ映像を送信し、受信側 Windows PC はブラウザを使ってストリーミング映像を受信した。送信側と受信側に時間を合わせた電波時計を設置し、ストリーミング映像の遅延時間を測定した結果、1 秒から 2 秒程度の遅延で映像伝送できることを確認した。



図 1 5 映像伝送実験の様子

3. 考察

3. 1. YOLO による AI 物体検出

シングルボードコンピュータの Jetson NANO を使って AI 物体検出システムを構築した。フレームレートが 9fps、処理遅延が 1 秒以内であり、今回試作するドローン実演機では十分な性能と考える。また、サイズが

100×80×29mm かつ重量が 140g と小型・軽量であり、モバイルバッテリーによる動作も可能であることから、市販されている中型サイズの産業用ドローンへの積載も十分可能である。

3. 2. YOLACT による AI 領域検出

小型・低消費電力のシングルボードコンピュータ 2 機種とデスクトップ AI ワークステーション 1 機種で、処理性能を比較した。最も小型で安価な Jetson NANO は、処理遅延が大きい、持ち運びの容易性やバッテリー動作ができるといったメリットがあり、講習会での体験利用に適していると考えられる。Jetson AGX Xavier と DeepLearning BOX II は十分な処理性能を持つが、サイズや重量は JETSON NANO と比べ大きく商用電源も必要であるため、室内に設置しネットワーク経由で利用する方法が適していると考えられる。

3. 3. 5G 通信速度マップ

5G 通信及び 4G 通信によるインターネット通信速度の比較計測を行い、どちらの通信方式を用いても映像伝送実験を行う上で十分な速度であることを確認できた。今後は、測定日時の違いにより通信速度に大きな変化があるか、再度計測実験を行う予定である。

3. 4. 5G 通信を用いた映像伝送

屋外フィールドと実験室間で映像伝送を行うため、小型・軽量のシングルボードコンピュータの Raspberry Pi と通信ソフトウェアの SoftEther VPN を使用した VPN ネットワークを構築した。VPN ネットワークの通信速度は、TCP 通信では約 5.29Mbps、UDP 通信で約 21.6Mbps となり、双方向での 4K 映像伝送やサイズの大きい AI 学習モデルなどのデータ送受信を行うには不十分な結果となった。原因は、5G 通信の電波状況が考えられる。速度計測実験は室内で行ったため、屋外にある 5G 基地局からの電波強度が一定せず、通信速度が一時的に 2 倍や 1/2 倍になるケースも見られた。また、VPN 通信時に行われる Raspberry Pi での暗号化処理の負荷なども考えられ、今後改善していきたい。

4. 結言

初年度は、物体検出及び領域検出を行う AI 技術の環境構築と、5G 通信を利用した通信速度マップの作成及び映像伝送実験に取り組んだ。

AI 物体検出では、小型・軽量で GPU を搭載したシングルボードコンピュータの Jetson Nano に、AI 物体検出ソフトウェアの YOLO をインストールして環境を構築した。実験の結果、フレームレートは約 9fps、処理遅延は 1 秒以内であった。

AI 領域検出では、小型・軽量で GPU を搭載した Jetson

Nano 及び Jetson AGX Xavier に AI 領域検出ソフトウェアの YOLACT Edge をインストールし環境を構築した。性能比較の結果、Jetson AGX Xavier と YOLACT Edge を組み合わせたシステムの場合、フレームレートは約 23fps、処理遅延は約 1 秒となり、AI ワークステーションと同等の処理性能であることを確認できた。

5G 通信速度マップの作成では、福島 RTF のインフラ点検・災害対応エリア内の市街地フィールド及び瓦礫・土砂崩落フィールド内の計 45 地点において、スピードテストアプリ nPerf を使用して 5G 通信及び 4G 通信の通信速度を計測した。また、計測地点間の速度を補間するヒートマップを使った 5G 通信速度マップを作成した。

5G 通信を用いた映像伝送では、5G モバイルルータとシングルボードコンピュータ Raspberry Pi、SoftEther VPN ソフトウェアを用いたネットワークを構築し、ストリーミング配信ソフトウェアを使用して映像伝送システムを構築した。実験室ベースの実験結果では、VPN 通信速度は TCP 通信で約 5.29Mbps、UDP 通信で約 21.6Mbps、応答遅延時間は 58.3 ミリ秒であった。映像伝送実験ではフル HD 画質の映像伝送を行い、遅延時間は 2 秒以内の結果となった。

次年度は、今年度構築した要素技術を組み合わせたシステムの統合テストを行うとともに、小型軽量化した装置をドローンへ積載し、屋内で飛行テストを行う予定である。また、福島 RTF で今年 3 月から運用が開始されたローカル 5G を利用する映像伝送実験とその評価を行い、キャリア 5G との比較検証も行う予定である。

参考文献

- 1) "YOLO:Real-Time Object Detection 公式ウェブサイト". <https://pjreddie.com/darknet/yolo/>.(参照 2021-7-1)
- 2) "YOLACT:Real-time Instance Segmentation 公式ウェブサイト". <https://arxiv.org/abs/1904.02689/>.(参照 2021-7-1)
- 3) "Internet speed test nPerf 公式ウェブサイト". <https://www.nperf.com/>.(参照 2021-7-1)
- 4) "SoftEther VPN プロジェクト ウェブサイト". <https://ja.softether.org/>.(参照 2021-7-1)
- 5) "iPerf プロジェクト 公式ウェブサイト". <https://iperf.fr/>.(参照 2021-7-1)
- 6) "MJPG-streamer GITHUB ウェブサイト". <https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>.(参照 2021-7-1)