

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 2 報)

Prototype of drone demonstration machine equipped with robot vision technology and field demonstration at
Fukushima Robot Test Field (2nd report)

南相馬技術支援センター 機械加工ロボット科 三浦勝吏 塚本遊 齋藤宏
電子機械技術部 電子・情報科 鈴木健司 ロボット・制御科 近野裕太 松本聖可
共同研究者 公立大学法人会津大学 コンピュータ理工学部 復興支援センター 山田竜平 中村啓太 (現 学校
法人札幌大学)

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システムの試作を行い、福島ロボットテストフィールドにおいて実証試験を行う。注目の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、AI 技術を使った領域検出と、5G 及び LTE 通信の通信速度計測、三次元構造復元及びドローン実演システムの試作に取り組んだ。

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・空のロボットの国内最大級の実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ロボットの実証試験が行われている。特に無人航空機では、インフラ点検や気象観測など、産業利用に向けた実証試験が行われている。

本事業では、ハイテクプラザが保有する AI、5G 通信、三次元構造復元技術の 3 技術と市販ドローンを組み合わせた実演システムを構築し、福島 RTF の屋外フィールドで実証試験を行う。AI 技術では被災現場での家屋や人の発見、土砂エリアなどの検出を行い、災害現場の情報収集及び被害状況を分析する簡易型災害対応ドローンの実現を、三次元構造復元技術ではドローンが取得する映像からの建造物等の 3D データ化を目指す。また、ドローンで撮影した高精細映像や機械学習用の大容量データを遠隔にある本部と共有することを想定した映像伝送システムの開発も行う。

本事業は令和 3 年度から令和 5 年度の 3 年間、会津大学との共同研究として実施している。令和 4 年度は、市街地フィールドでの領域検出実験と、5G 通信の通信速度計測、市街地フィールドの三次元構造復元を行った。また、AI による物体検出、三次元構造復元、5G 通信それぞれの要素技術を統合し、ドローンの映像伝送システムの試作に取り組んだ。

表 1 開発環境

CPU	Core-i9 10920X
メモリ	128GB
GPU	Geforce RTX 2080Ti
学習モデル	YOLACT
入力画像の解像度	640×480

2. 実験と結果

2. 1. YOLACT による領域検出

2. 1. 1. 環境構築

福島 RTF の瓦礫・土砂崩落フィールドの道路や土砂、家屋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 YOLACT¹⁾ を利用した。高速に AI 処理が可能なデスクトップ型 AI ワークステーション DeepLearning BOX II に実行環境を構築した。開発環境を表 1 に示す。

学習モデルは、建物 (building)、道路 (road) 及び瓦礫 (rubbles) の 3 クラスを領域分けするように構築した。YOLACT は検出物をそれぞれクラスごとに色塗りすることで検出物が画像中のどの領域にあるかを示す。画像中のどの領域が認識してほしい物体であるか手作業で指定するアノテーション作業には coco-annotator²⁾ を使用した。アノテーション作業の様子を図 1 に示す。

学習した計算機の仕様は表 1 と同様である。学習には解像度 640×480 の画像を使用し、アノテーション作業を済ませた画像を 54 枚用意して学習した。画像は福島 RTF の市街地フィールドでドローンを飛行させ収集したものを利用した。学習には表 1 の環境で約 1 時間 30 分を要した。

2. 1. 2. 福島 RTF 市街地フィールドでの実証試験

2. 1. 1 項で構築した学習モデルを用いて福島 RTF 市街地フィールドで実証試験を行った。ドローンは DJI 社製 Phantom 4 Pro V2.0 を使用した。ドローンを高度約 30[m] で、カメラを真下に向けた状態で前後左右に飛行させた。ドローンに搭載されたカメラ映像を

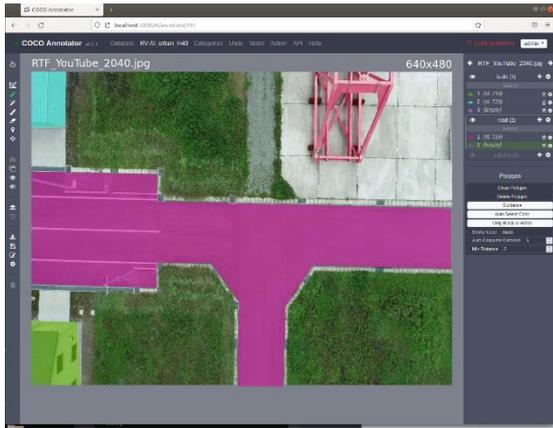


図1 YOLACT のアノテーション



図2 YOLACT 実行結果
(上) 元画像 (下) YOLACT による領域検出

AI ワークステーションに取り込み、YOLACT を実行することで、ドローンの映像をリアルタイムに領域検出できることを確認した。フレームレートは約 30[fps]であった。結果を図2に示す。

2. 2. 5G 及び LTE 通信の速度計測

2. 2. 1. 5G 通信の速度計測

福島 RTF の屋外フィールドにおいて 5G 通信の速度計測を行った。測定場所は、次年度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試験用橋梁及び試験用トンネルとした。

試験用橋梁は、鋼・コンクリート製の橋梁で、老朽化や障害物を再現し、ドローンやロボットによる状況確認や点検に関する試験や操縦訓練を行うことができる施設で、長さ 50[m]、道路幅 10[m]、桁下高 5[m]である。また、試験用トンネルは、トンネル中での交通事故、崩落、老朽化を再現し、状況確認、搜索、瓦礫除去、老朽化点検に関する試験や操縦訓練を行うことができる施設で、長さ 50[m]、道路幅 6[m]の丸形トンネルである³⁾。

この2つの施設を用いて、5G 基地局と通信端末の間が構造物によって遮蔽されることで通信速度にどの程度影響があるか調査した。試験用橋梁では橋の上と橋下の桁下空間内で速度計測した。試験用トンネルではトンネル内とトンネル外で速度計測を行った。測定地点と 5G 基地局の位置を図3に示す。

速度計測は、5G 通信対応スマートフォンに速度計測アプリ nPerf⁴⁾ をインストールして行った。nPerf 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の通信速度をそれぞれ測定できる。速度計測は 1 地点当たり 5 回行った。

各地点の計測結果を図4、図5に示す。エラーバーはそれぞれの地点での最大値及び最小値を示す。橋梁及びトンネルどちらにおいても遮蔽物があることでダウンロード、アップロードともに通信速度が下がることが分かった。

2. 2. 2. 上空での LTE 通信速度の計測

地上と上空で通信速度に違いがあるか検証するため、それぞれにおいて通信速度を測定した。測定は福島 RTF の市街地フィールドで行った。上空での速度計測はドコモが提供している LTE 上空利用プラン⁵⁾ を利用した。ドローンが着陸しているときと高さ約 50[m]を飛行しているときで速度計測した。

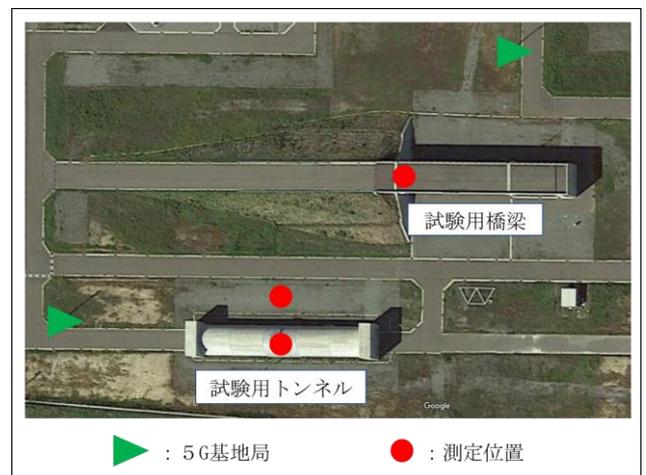


図3 測定地点と 5G 基地局の位置

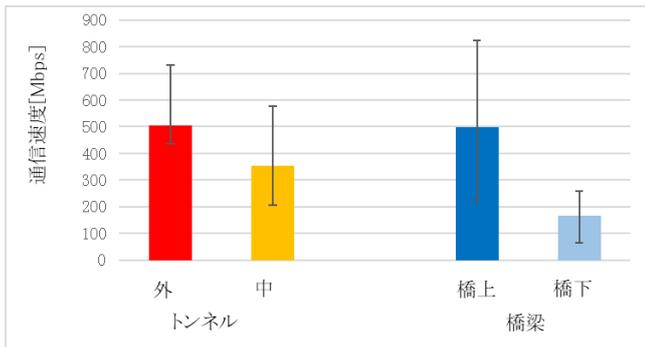


図4 通信速度結果 (ダウンロード)

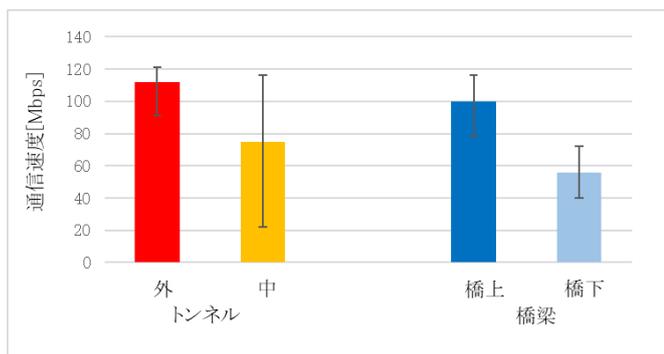


図5 通信速度結果 (アップロード)

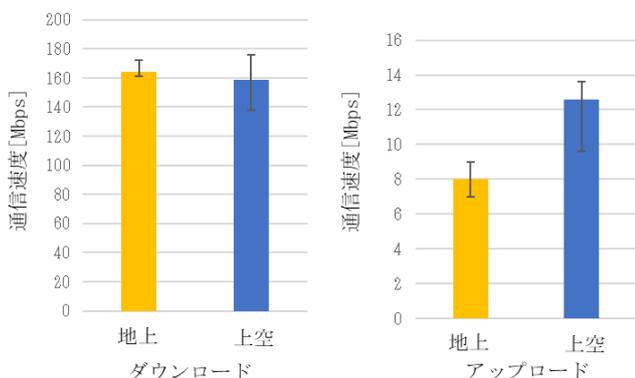


図6 通信速度結果

計測は2. 2. 1項と同様に nPerf を用いてダウンロードとアップロードの通信速度を測定した。地上及び上空それぞれ3回計測した。結果を図6に示す。エラーバーはそれぞれの地点での最大値及び最小値を示す。ダウンロードに関しては特に差はみられなかった。アップロードは、上空の方が、通信速度が速い結果となった。

2. 3. 三次元構造復元

2. 3. 1. 環境構築

ドローン映像から構造物の3Dデータ化を行うための環境構築に取り組んだ。三次元復元には SfM (Structure from Motion) と MVS (Multi View Stereo) を使用した。SfM は対象物を複数の視点から撮影した

表2 PC環境

CPU	AMD Ryzen9 3950X
メモリ	64GB
GPU	NVIDIA GeForce RTX 3090

画像からカメラの位置姿勢を推定し、対象物の疎な三次元点群を復元する技術である。

また、MVS は SfM によって得られた情報をもとに多視点ステレオマッチングにより対象物の密な三次元点群を生成する技術である。

三次元構造復元を行うソフトウェアには OpenSfM⁶⁾ 及び OpenMVS⁷⁾ を用いた。この2つのソフトウェアを用いて複数のカメラ画像から三次元点群を生成し、テクスチャ付きのメッシュデータを生成することができる。この環境を構築したPCの仕様を表2に示す。

2. 3. 2. RTF 市街地フィールドの三次元構造復元

2. 3. 1項で構築した環境を用いて福島 RTF 市街地フィールドの三次元構造を復元した。復元のためドローンを飛行させ市街地フィールドの様々な視点の画像を集めた。ドローンは DJI 社製 Phantom 4 Pro V2.0 を使用した。撮影した市街地フィールドの画像の一例を図7に示す。収集した画像をもとに復元した市街地フィールドを図8に示す。図8の復元結果はフルハイビジョン (1920×1080) の画像を533枚使用し、約10時間かけてメッシュを構築したものである。図8のとおり、ドローンの映像から市街地フィールドを三次元復元できることが確認できた。

2. 4. ドローン実演システムの試作

2. 4. 1. AI 環境と映像伝送の統合

前年度には、SoftEther VPN⁸⁾ を用いて福島 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が可能な VPN 装置を構築した⁹⁾。この装置を用いることで、HUB で接続したかのような、相互通信可能なネットワークを実現することができる。

本年度は、この VPN 装置と Robot Operation System (以下、ROS¹⁰⁾) を用いて、ドローンの映像を遠隔地に伝送し、伝送先で AI による物体検出を行うシステムを構築した。ドローンは DJI 社製 Phantom 4 Pro V2.0 を使用した。このドローンはカメラの映像をプロポから HDMI 映像として出力することができる。この映像を HDMI - USB 変換アダプタを使用して伝送用の PC に取り込み、ROS のパッケージである uvc_camera ノードを用いて AI 解析用 PC に伝送した。伝送用 PC と AI 解析用の PC は VPN 装置により接続し、ROS の分散処理機能により2台の PC を同期させることで伝送を可能とした。



図7 復元に使用した画像の一例



図8 市街地フィールドの復元結果

物体検出には、YOLO¹⁾により物体検出するDarknet_ROS¹²⁾を用いた。伝送先の解析用PCで映像を受け取り、YOLOを実行することで、遠隔地でリアルタイムに物体検出が可能となる。開発環境を表3に示す。また、本システムの概要を図9に示す。

実際にドローンの映像を遠隔地に伝送し物体検出する実験を行い、伝送先で物体検出ができることを確認した。今回の実験では、ドローンは飛行させず、ドローンと解析用PCを離れた別の部屋にそれぞれ設置し実験を行った。実験の様子を図10に示す。

2.4.2. 三次元構築環境と映像伝送の統合

SfM及びMVSを用いて三次元構造を復元するためには大量の画像データが必要となる。そこで、伝送された映像からリアルタイムに復元用の画像を生成するシステムを構築した。画像生成にはROSのimage_viewのextra_imageノードを用いた。このノードを用いることで任意に設定した時間ごとに画像を保存していくことができる。

2.4.1項と同様にドローンの映像をuvc_cameraノードを用いて伝送先の解析用PCに伝送することで、リアルタイムに復元用の画像を生成することができた。

表3 開発環境

	伝送用PC	解析用PC
CPU	Core i7-9700	Core i9 10900X
メモリ	32GB	32GB
GPU	GeForceGTX1650	GeforceRTX2080Ti
OS	Ubuntu18.04LTS	

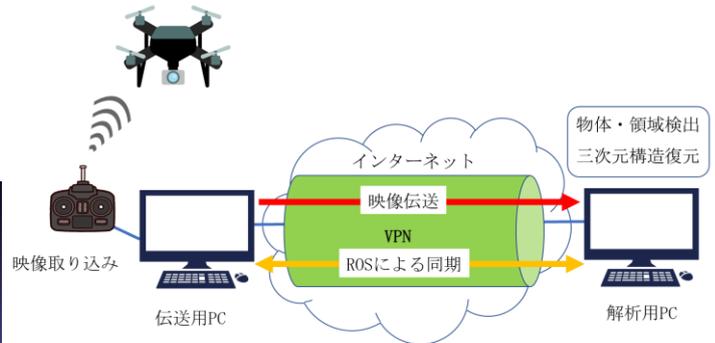


図9 伝送システムの概要



図10 AI環境と映像伝送統合実験
(上) ドローンによる撮影 (下) 伝送先での物体検出

3. 考察

3.1. YOLACTによる領域検出

学習モデルを独自に構築し、建物 (building)、道路 (road) 及び瓦礫 (rubbles) の3クラスをリアルタイムに領域検出することができた。今回は画像収集と動

作検証を同じ場所で行ったため、今後は別の場所でも同様に領域検出できるか検証する必要がある。また、実際に被災地の被害状況の分析に領域検出を用いる場合、どのように画像を学習させるか学習方法が課題である。

3. 2. 5G 及び LTE 通信の速度計測

5G 基地局と通信端末の間に遮蔽物があるとアップロード、ダウンロードともに通信速度が下がることが分かった。映像伝送の通信を行う際は遮蔽物による通信速度の低下も考慮する必要がある。

地上と上空による通信速度の変化は、ダウンロードは特に違いは見られず、アップロードは上空の方が、通信速度が速くなる結果となった。今後は、日によって気候や通信状況が変わるため、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. 3. 三次元構造復元

ドローンで撮影した画像から市街地フィールドの三次元構造を復元することができた。復元には約 1 0 時間かかったため、復元時間の短縮が課題である。

3. 4. ドローン実演システムの試作

ドローンの映像を遠隔地に伝送し、リアルタイムに物体検出及び三次元構造復元用の画像生成を行うシステムを構築することができた。今後は実際にドローンを飛行させた状態で同様の実験を行う予定である。

また、前年度の実験の結果より、構築した VPN 装置では 4K 映像をリアルタイムに伝送するためには通信速度が足りないことが分かっている。今後は 4K 映像を伝送するために伝送システムを改良する必要がある。

4. 結言

2 年目は、YOLACT を用いた領域検出と、5G 及び LTE 通信の通信速度計測、市街地フィールドの三次元構造復元及びドローンシステムの試作に取り組んだ。

YOLACT による領域検出では、建物、道路及び瓦礫の 3 クラスを領域分けできるように学習モデルを構築し、福島 RTF 市街地フィールドで実証試験を行った。結果、ドローンの映像フレームレートは約 30 [fps] で、建物、道路及び瓦礫それぞれ領域検出できることを確認した。

5G 及び LTE 通信の速度計測では、福島 RTF 試験用橋梁及び試験用トンネルにおいて 5G 通信の速度計測を行った。結果、橋梁及びトンネルどちらにおいても遮蔽物があることで通信速度が下がることが分かった。また、地上と上空で通信速度に違いがあるか検証するため、通信速度を測定した。結果、ダウンロードに関しては特に差はみられなかった。アップロードについては、地上より上空の方が、通信速度が速い結果とな

った。

三次元構造復元については、SfM と MVS の技術を用いて、福島 RTF 市街地フィールドの三次元構造を復元した。ドローンから撮影した画像を 533 枚使用し、約 1 0 時間かけて復元することができた。

ドローンの実演システムの試作については、VPN 装置と、ROS を用いて、ドローンの映像を遠隔地に伝送し、伝送先で AI による物体検出を行うシステム及び、伝送された映像からリアルタイムに復元用の画像を生成するシステムを構築した。

次年度は、4K 映像をリアルタイムに伝送できるように伝送システムを改良する。また、AI による物体検出及び領域検出、三次元構造復元、映像伝送すべてを組み合わせた実証実験を福島 RTF にて行う。

参考文献

- 1) Daniel Bolya, Chong Zhou, Fanyi Xiao, and Yong Jae Lee. Yolact: real-time instance segmentation. In ICCV, 2019
- 2) “coco-annotator”, <https://github.com/jbrooks/coco-annotator> (参照 2023-2-9)
- 3) “福島ロボットテストフィールド公式ウェブサイト”, <https://www.fipo.or.jp/robot/facility> (参照 2023-2-9)
- 4) “Internet speed test nPerf 公式ウェブサイト”, <https://www.nperf.com/> (参照 2023-2-9)
- 5) “ドコモ LTE 上空利用プラン”, <https://www.cellular.docomosky.jp/> (参照 2023-2-9)
- 6) GitHub. “mapillary/OpenSfM”, <https://github.com/mapillary/OpenSfM> (参照 2023-2-9)
- 7) GitHub. “cdcseacave/openMVS”, <https://github.com/cdcseacave/openMVS> (参照 2023-2-9)
- 8) “SoftEther VPN プロジェクト”, <https://ja.softether.org/> (参照 2023-2-9)
- 9) 太田悟, 他 “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)”. 福島県ハイテクプラザ, 2022
- 1 0) “ROS.org | Powering the world's robots”. OpenSource Robotics Foundation. <http://www.ros.org/>, (参照 2023-2-9).
- 1 1) J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi. “You only look once: Unified, real-time object detection.” arXiv preprint arXiv:1506.02640, 2015.
- 1 2) “darknet_ros – ROS Wiki”, http://wiki.ros.org/darknet_ros (参照 2023-2-9)