

無人航空機の実利用のために ~屋外・屋内利用とマッピング~

会津大学 CAIST ARC ROBOT

上級准教授 矢口 勇一

yaguchi@u-aizu.ac.jp

はじめに (自己紹介)

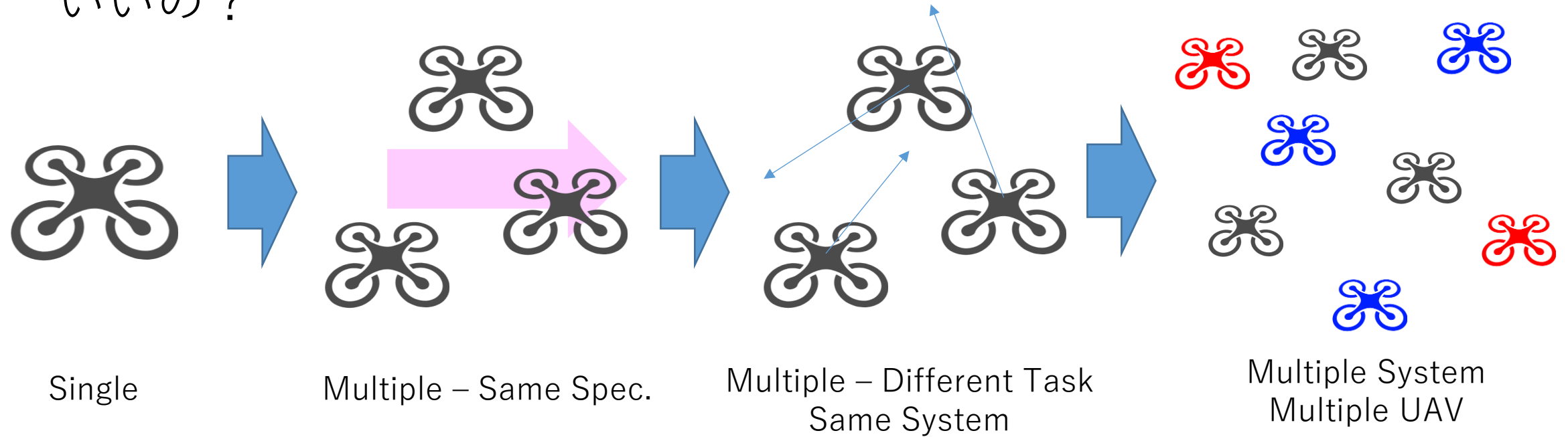
矢口 勇一 (博士: コンピュータ理工, 上級准教授)

- 会津大学 先端情報科学研究センター ARC ROBOT
- 専門: 画像処理, UAV, 複数台ロボット経路計画
- ISO TC20/SC16: Uncrewed Aircraft System Japan Expert
 - WG2 (機体システム)
 - WG3 (オペレーション手順),
 - WG4 (UASエコシステム)
 - WG6 (UASサブシステム)
 - WG8 (カウンターUAS)
- JUTM 社会実装・エコシステムWG 共同主査
- NEDO DRESS・ReAMoプロジェクト (UAS, 空飛ぶクルマ) に参画
- 型式認証, 耐空性セキュリティ
- ロボット、ドローンと自分のかかわり
 - 2015年より『会津大学産学ロボット研究開発補助事業』
(県事業: 2015年 3億円程度~現在年間 1.5億円程度)
にサブリーダーとして従事
 - 2015年~17年に、鳥瞰視点ロボットの利用として、複数台UAV制御を担当。
 - もともとは画像処理と情報可視化が中心
 - 機械屋ではなく『情報処理屋』です。



矢口の研究テーマ

- **たくさんのUAVで、別々の作業を、安全に行うにはどうしたらいいの？**



計測、経路計画、**自動化・自律化**、**安全**・セキュリティ、標準化など

ドローン実利用に向けた問題設定

- 屋外で飛べるだけでは実利用にまだ足りない

- 屋内-屋外のシームレス運用

- 特に非GPS環境下での
正確な『自動化・自律化』

- 現状こうした非GPS環境下は、
センシング技術で『飛ばせる』が
人によるパイロットイングが
必要

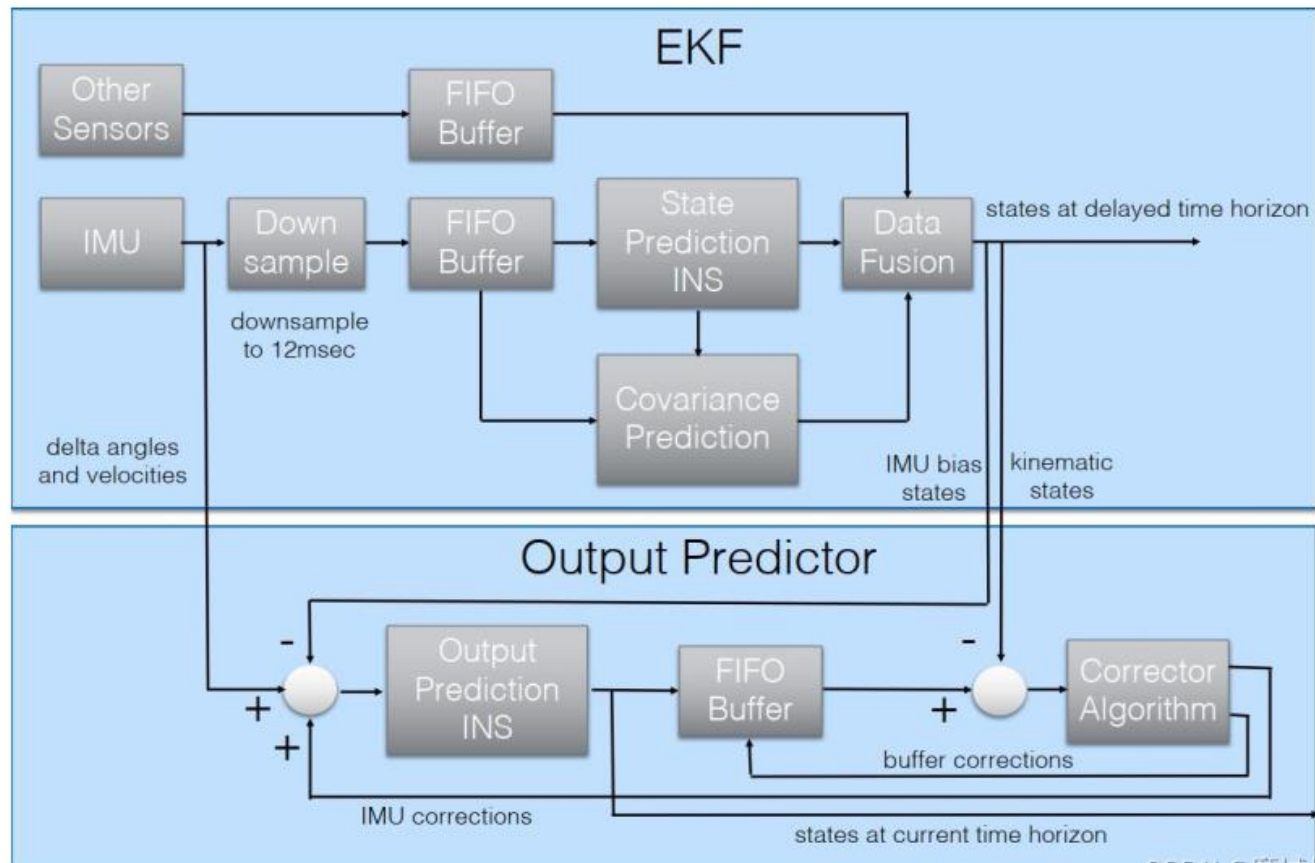
- どうやってこれを実現？

- リアルタイム3Dマッピング
 - 物体認識・意味情報抽出
 - 視覚・運動情報の言語化
→AIへの橋渡し
 - それを搭載する**プラットフォームの必要性**



[Movie It Production](#)

なぜGPS/非GPSの橋渡しが必要？



CSDN @魔城烟雨

- 『姿勢制御』に『位置制御』が追加されてしまっている (EKF3)
 - GPSはOther Sensorsの群
 - 外で精度が高い場合、IMU内で扱われるAccelerometerの積分値より信頼性が高い=カルマンゲインが高い
 - 『突然GPSがなくなる』と、パニックになる→非GPSの橋渡しが必要
 - 屋内用定位の方法が必要→ビジョンベース等

GPSなし環境で必要な定位・制御

- 非GPS環境における状態推定の役割
 - LiDAR / Camera / IMU から自己位置を推定
 - 推定結果が飛行制御・障害物回避・マッピングの入力になる
 - 屋内・暗所・狭所では、推定の安定性が安全余裕を決める
 - 今後は意味地図・3D地図を用いた精密動作へ

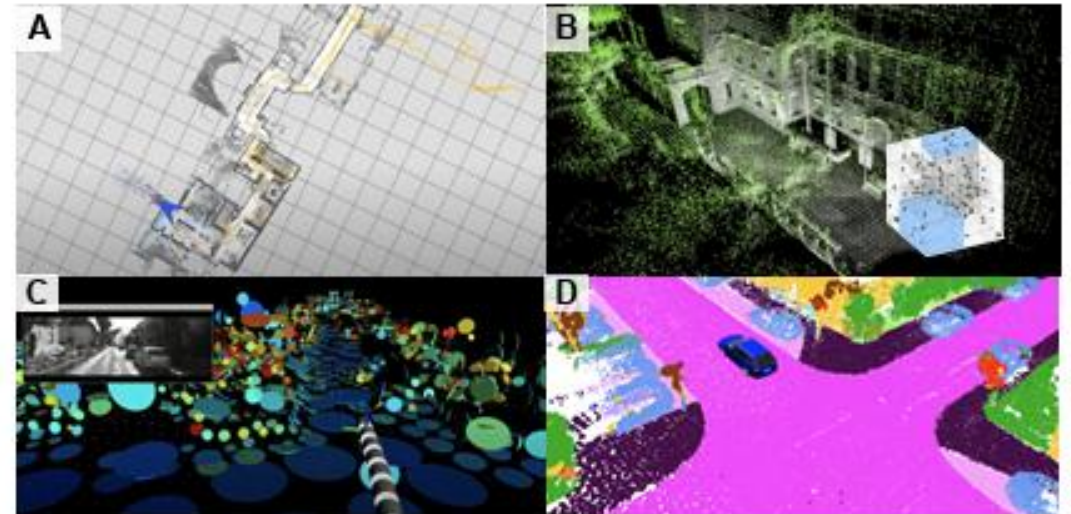
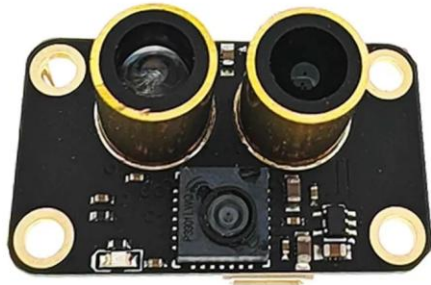


Fig. 3. Illustration of four notable state estimation methods: (A) Example of 2D LiDAR SLAM [58]; (B) Nearest neighbor search-based (incremental) KD-tree approach, as seen in [12, 13, 59]–[62]; (C) Adaptive probabilistic voxel map-based state estimation [52, 63, 64]; (D) State estimation using a semantic map [65, 66].

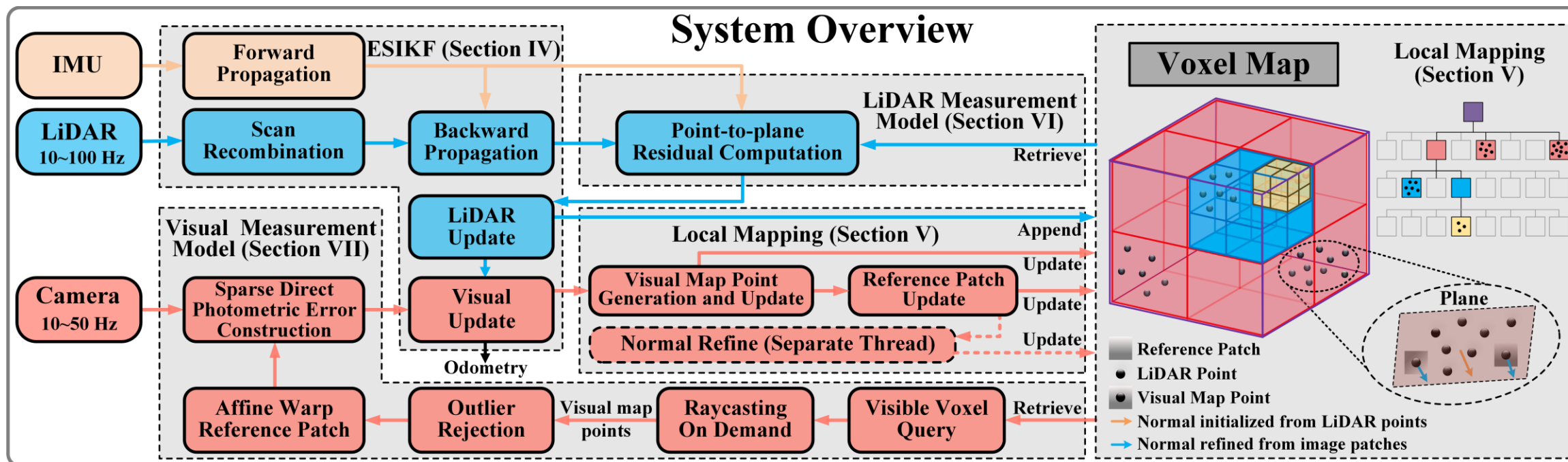
Optical Flow と Drone

- 既に殆どの屋内ドローンでOptical Flowセンサーは搭載されている
 - 小さいTello等のドローンでも高性能なものが使われている。
 - DJI機は複数のOFセンサーが搭載





LiDAR SLAMと画像融合



: Realtime 3D Mapping for UAS Autonomy / Integration of SLAM: FAST-LIVO2

- 利用できそうなテクノロジー: IMU, LiDAR, Cameraによるヒュージョーン
- LiDAR SLAM: 自己位置とマッピングを同時に行う → 高価だが安定
- CameraによるOptical Flowでの定位: 自分が安定して静止する → 安価で局所的

```

yagfly@yagfly-NUC15CRKCT: ~/fast_ws/src
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086644204] [laserMapping]: Found parameter: camera.scale, value: 1.000000
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086652119] [laserMapping]: Found parameter: camera.fx, value: 329.655186
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086659811] [laserMapping]: Found parameter: camera.fy, value: 329.493848
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086666235] [laserMapping]: Found parameter: camera.cx, value: 483.345810
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086672586] [laserMapping]: Found parameter: camera.cy, value: 296.412459
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086678769] [laserMapping]: Found parameter: camera.k1, value: -0.030377
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086684781] [laserMapping]: Found parameter: camera.k2, value: -0.062824
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086690646] [laserMapping]: Found parameter: camera.k3, value: 0.055189
[fastlivo_mapping-1] [INFO] [1773365602.086696761] [laserMapping]: Found parameter: camera.k4, value: -0.016978
[fastlivo_mapping-1] scale: 1
[rviz2-2] [INFO] [1773365602.179586832] [rviz2]: Stereo is NOT SUPPORTED
[rviz2-2] [INFO] [1773365602.179599742] [rviz2]: OpenGL version: 4.6 (GLSL 4.6)
[rviz2-2] [INFO] [1773365602.189875766] [rviz2]: Stereo is NOT SUPPORTED
[rviz2-2] [INFO] [1773365602.302843454] [rviz2]: Stereo is NOT SUPPORTED

```

```

rviz2
~/home/yagfly/Test_ws/install/fast_livo/share/fast_livo/rviz_c...

```



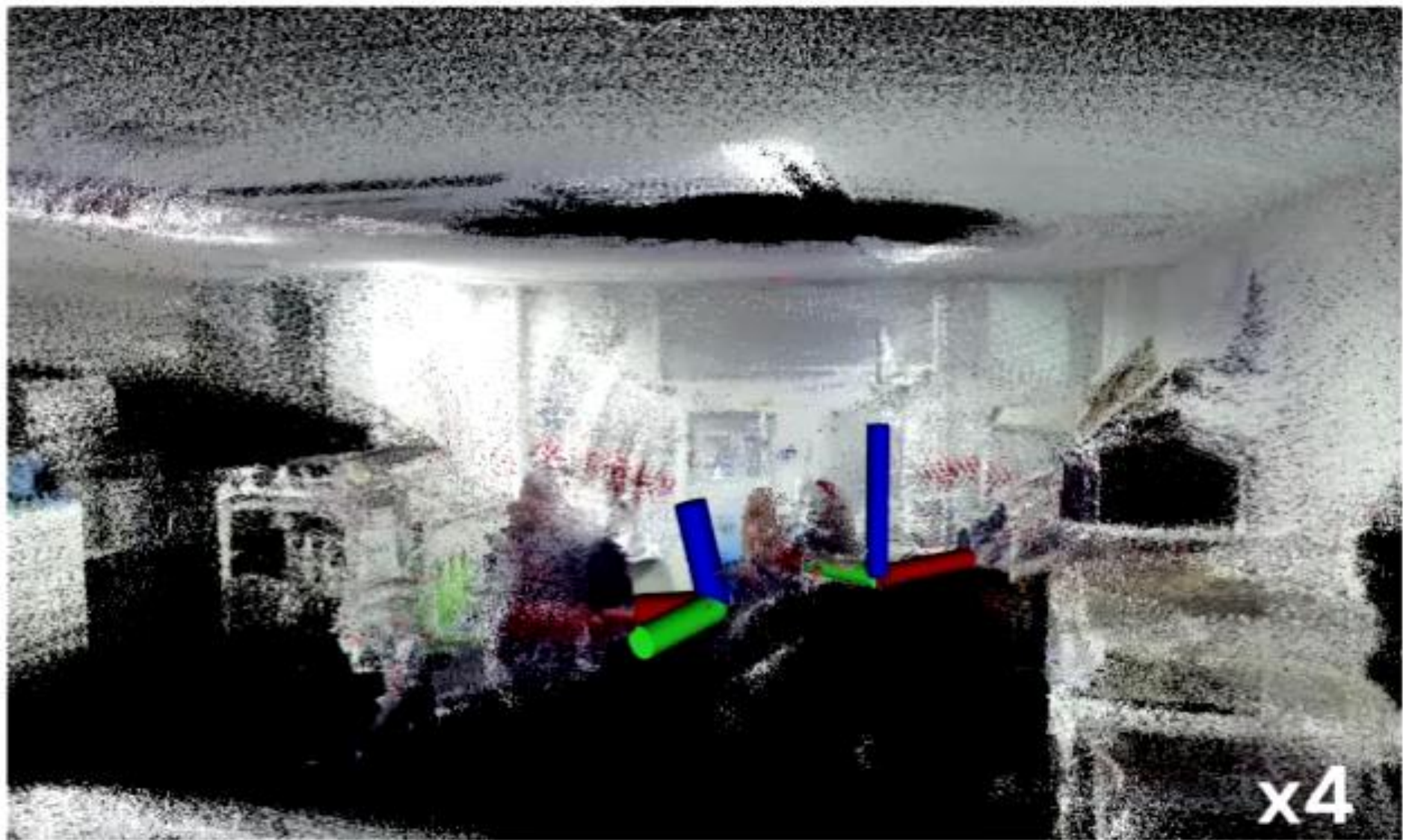
File Panels Help

Interact Move Camera Select Focus Camera Measure 2D Pose Estimate 2D Goal Pose Publish Point

Displays

- surround
 - Status: OK
 - Topic: /cloud_registered
 - Selectable
 - Style: Points
 - Size (m): 0.005
 - Size (pixels): 2
 - Alpha: 1
 - Decay Time: 10000
 - Position Transformer: XYZ
 - Color Transformer: RGB8
 - Color: [] 255; 255; 255
 - Channel Name: intensity
 - Use rainbow:
 - Invert Rainbow
 - Min Color: [] 0; 0; 0
 - Max Color: [] 255; 255; 255
 - Autocompute Intensity
 - Min Intensity: 5

Image



Time

ROS Time: 1773365254.38 ROS Elapsed: 111.37 Wall Time: 1773365254.41 Wall Elapsed: 111.37

Reset Left-Click: Rotate. Middle-Click: Move X/Y. Right-Click/Mouse Wheel: Zoom. Shift: More options.

南相馬RTFで撮影

Experimental

31 fps

実用上の課題

- Semanticの不足
 - 形状だけでは「なにか」が分からない = LiDAR+Color+認識
- 環境影響
 - 暗所・煙・粉塵・雨・霧・反射: センサ欠損と誤認識
- SWaP制約
 - Size/Weight/Power/飛行時間 → 小型機体程難しい
- 同期・座標合わせ
 - 時刻同期・外部構成: 融合精度に直結
- 通信・共有
 - 点群・ボクセルの地図は重い → 圧縮・抽象化・空間ID
- 安全性
 - ガード・冗長性・フォールバック → 屋内運用の前提

実用では「動くアルゴリズム」だけでなく、「載せて飛べる統合システム」が必要

機体プラットフォームがボトルネック



5 inch

600-1200g
X8: ~2000g

7 inch

1000-1600g
45-50cm級

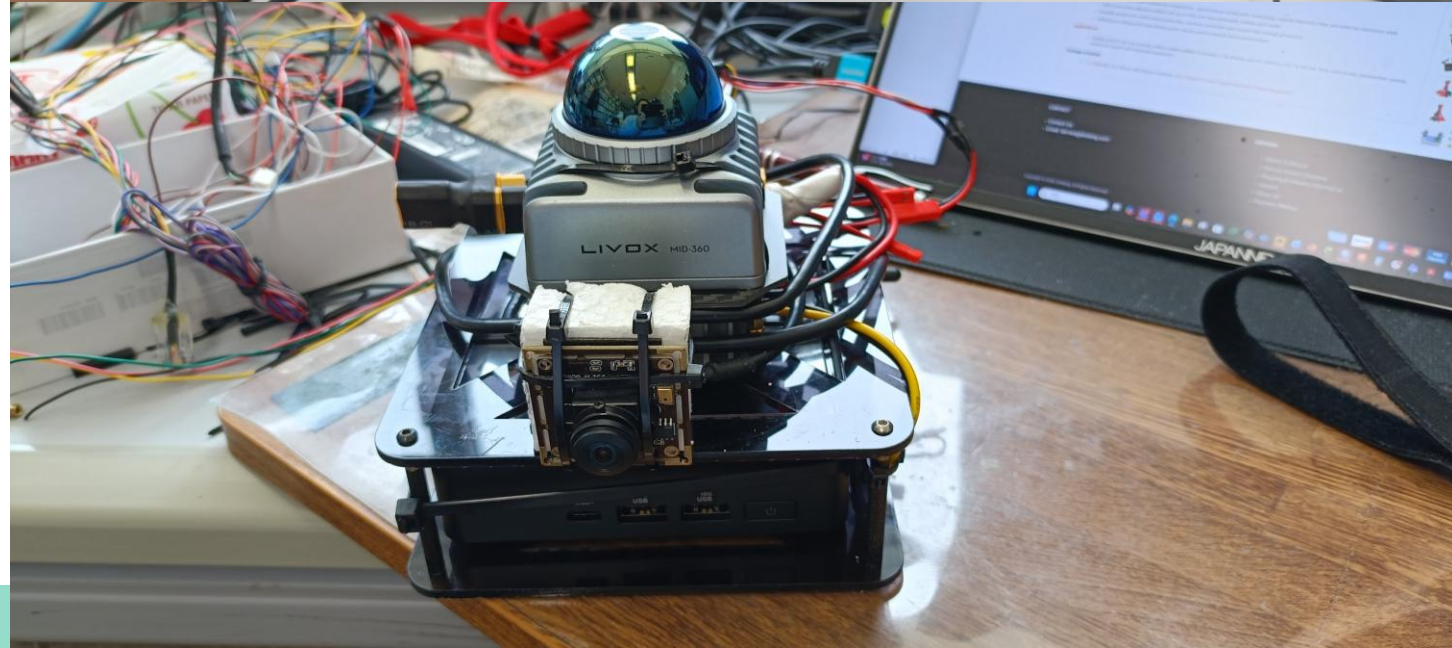
Flight time

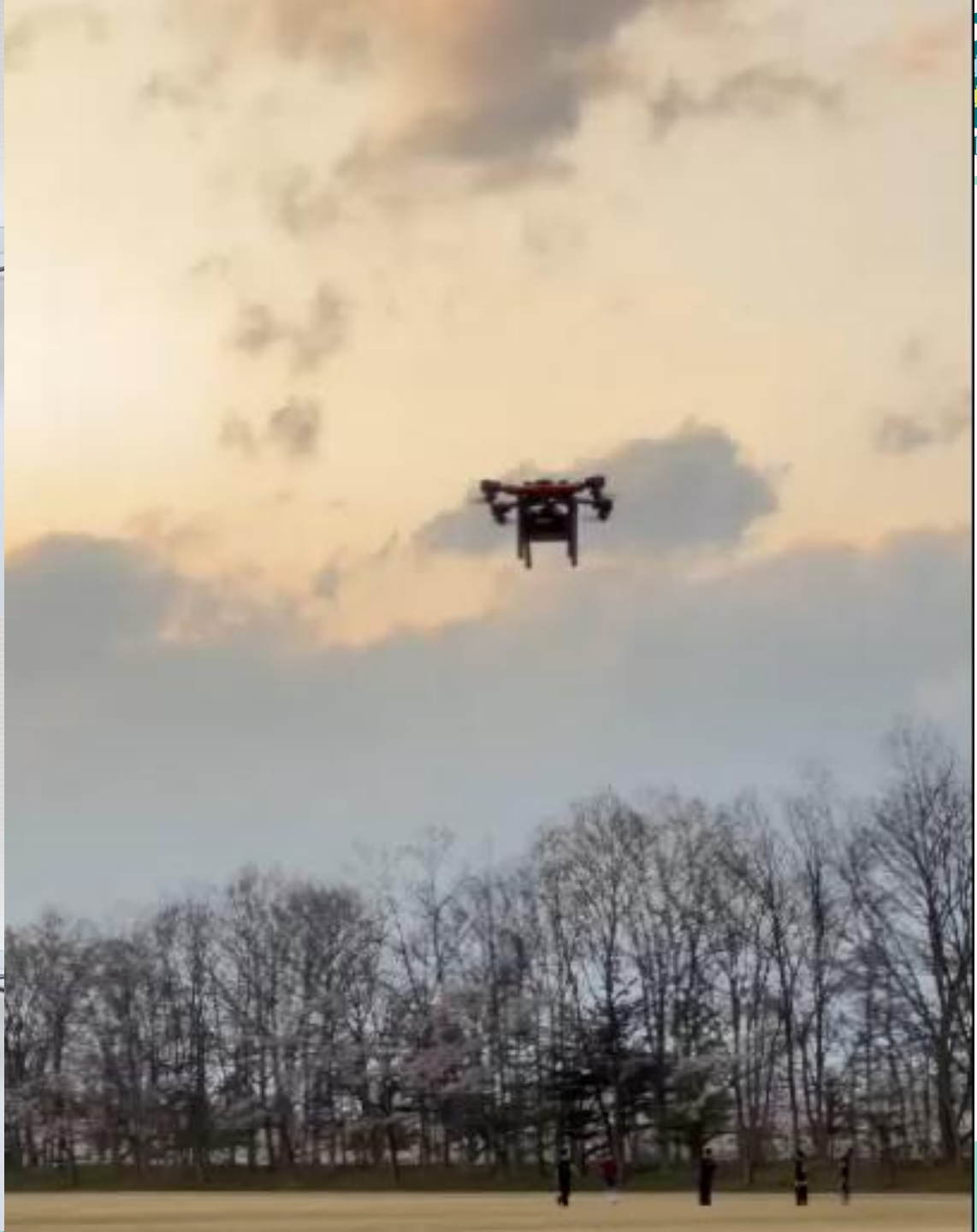
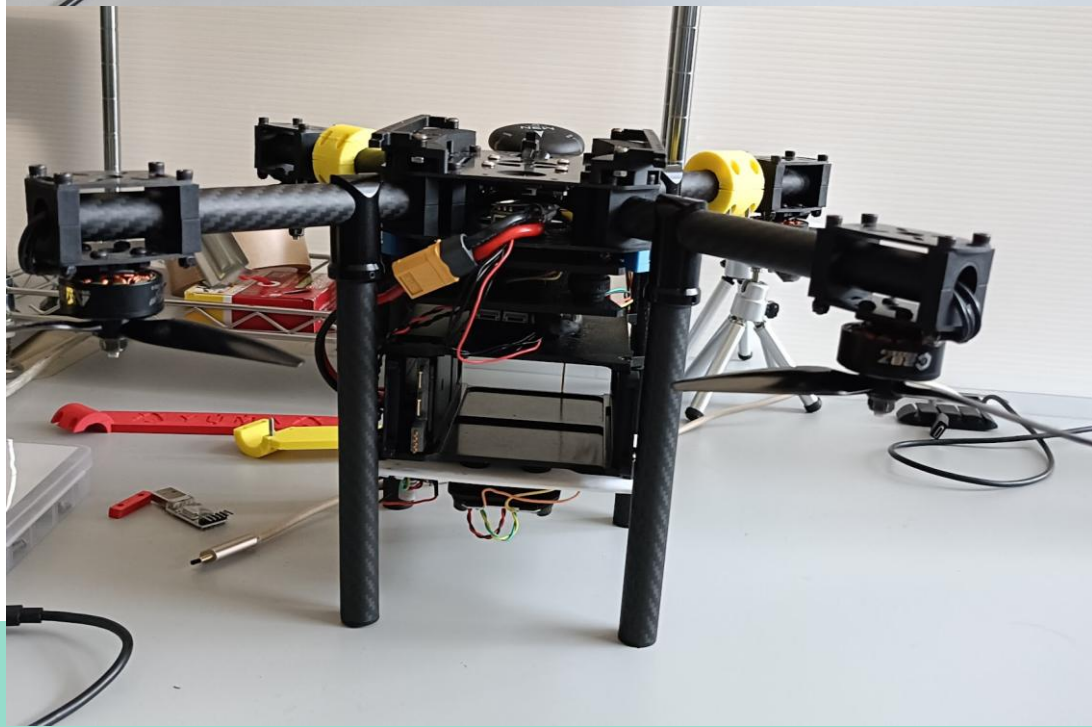
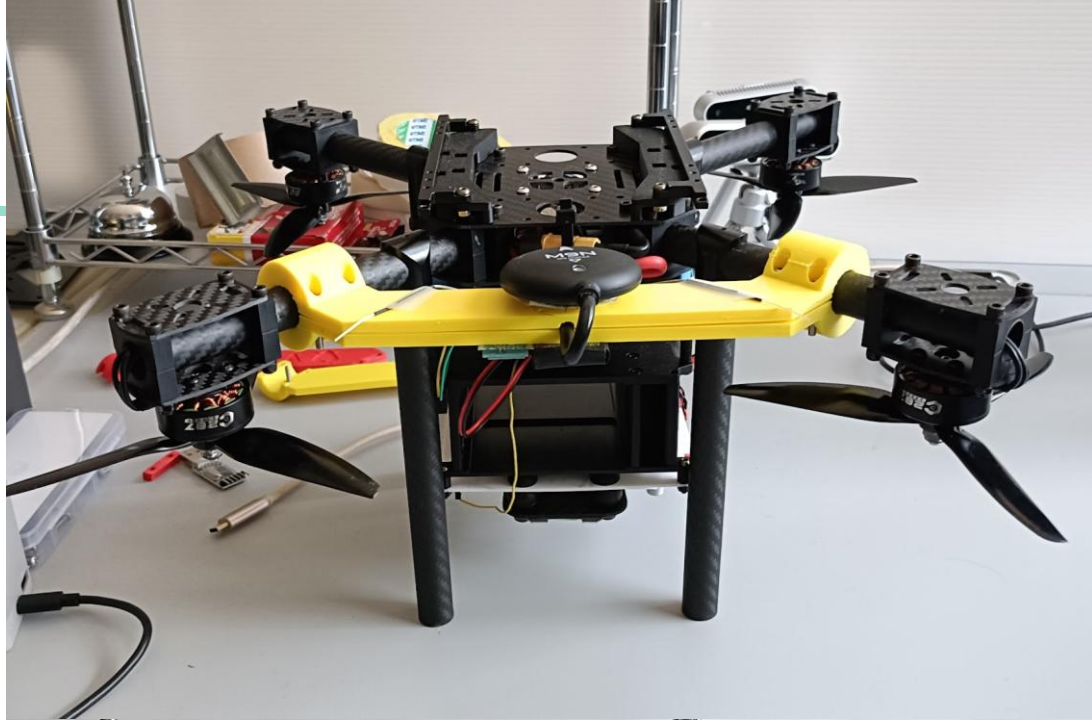
10分以上
重量で低下

- LiDAR・魚眼カメラ・小型PC/Jetson・通信機を搭載
- バッテリ・FC・PDB配置と重心設計が重要
- 屋内利用ではガードと安全な接触設計が必要
- PX4 + ROS2 等による機体上統合を想定



参考: 香港大学HKUST-Aerial Robotics UniQuad Projectによる作品群





まとめと今後の展開

- 屋外・屋内をつなぐために、機体・SLAM・認識・通信を一体で設計する

実利用に必要な能力

1. GPS / 非GPS両対応
2. 屋内・暗所・狭所での安定飛行
3. リアルタイム3Dマッピング
4. 画像認識・意味情報の統合

現在の開発軸

- LiDAR SLAM / FAST-LIVO2 融合
- 魚眼カメラ・認識結果の統合
- センサ搭載可能な小型機体
- HAMAさんとのモジュール型機体

次の展開

- Voxel map / 2D・3D地図共有
- 低帯域通信への対応
- BST-IDによる空間情報圧縮
- 複数機・地上局連携へ

- 目標：屋外から屋内へ連続的に入り、認識し、地図化し、共有できるUASへ