

ドローン+アクティブ3次元計測による インフラの効率的な検査システムの開発

九州大学 システム情報科学研究院
教授 川崎 洋

2025年8月7日

背景

水中や排水管、宇宙空間や内視鏡などの極端な環境

- ・ データの取得が困難
- ・ 出来るだけ既存のシステムを用いて計測したい

広域なシーンや遠隔地における高精度な形状計測のニーズ

- ・ ドローンやロボットによる計測
- ・ アクティブ方式による高精度・高密度が必須

精度が高く、校正の不要な3次元計測の必要性

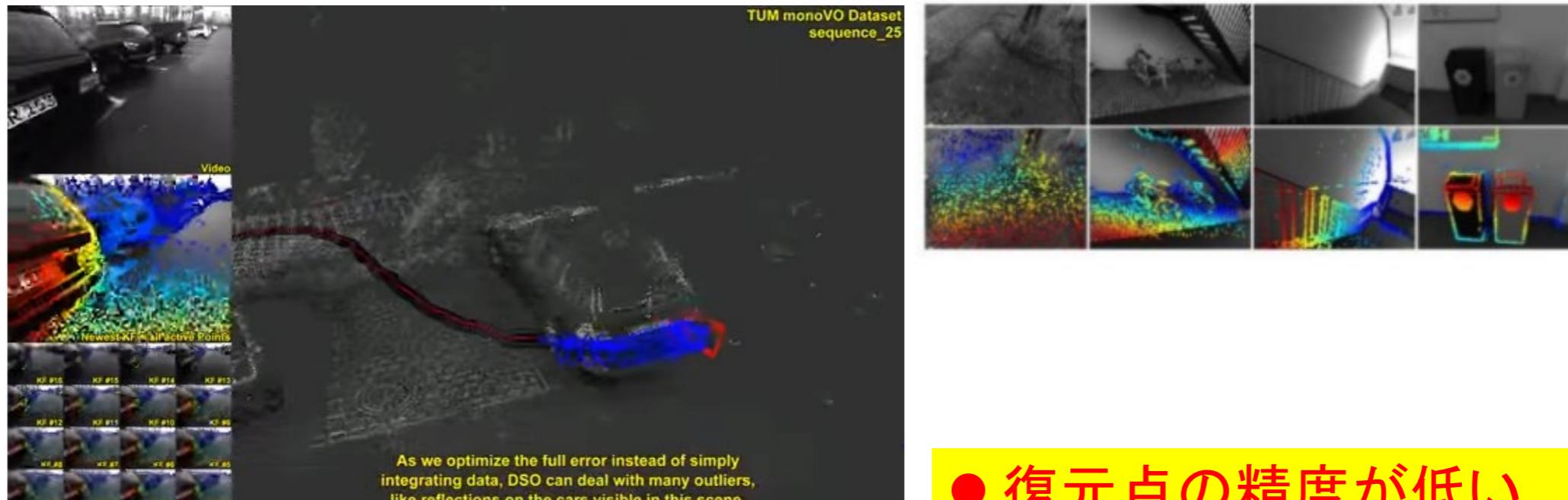
- ・ レーザによる高精度復元
- ・ 自律移動による広範囲計測

従来技術とその問題点

- 画像のみを用いる手法
 - SLAM(ORB-SLAMやDSOなど)
 - Colmap(SfM)
- アクティブ手法
 - ToF
 - StructuredLight
 - Line laserによる光切斷法(共面性復元)

従来の技術1:SLAM(DSO)

- Direct で Sparse な Visual odometry 手法



J. Engel, V. Koltun and D. Cremers, "Direct Sparse Odometry," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40, no. 3, pp. 611-625, 1 March 2018

従来の技術2: Colmap

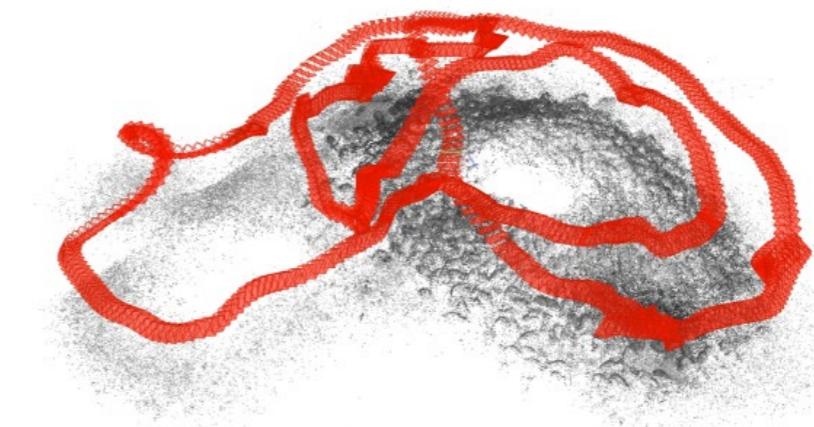
● State-of-the-art の SfM 手法



Sparse model of central Rome using 21K photos produced by COLMAP's SfM pipeline.



Dense models of several landmarks produced by COLMAP's MVS pipeline.



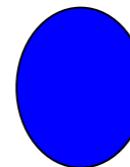
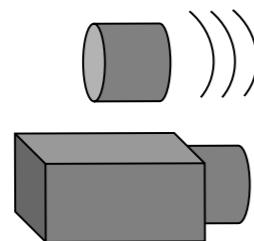
(c) Colmap reconstruction - Archeological Site #10

● 計算に時間がかかる

J. L. Schönberger and J. Frahm, "Structure-from-Motion Revisited," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016

従来の技術3: ToF

- Light Detection and Ranging (LIDAR)
 - レーザを放射し、受光する
 - 放射から受光までの時間から、距離を測る

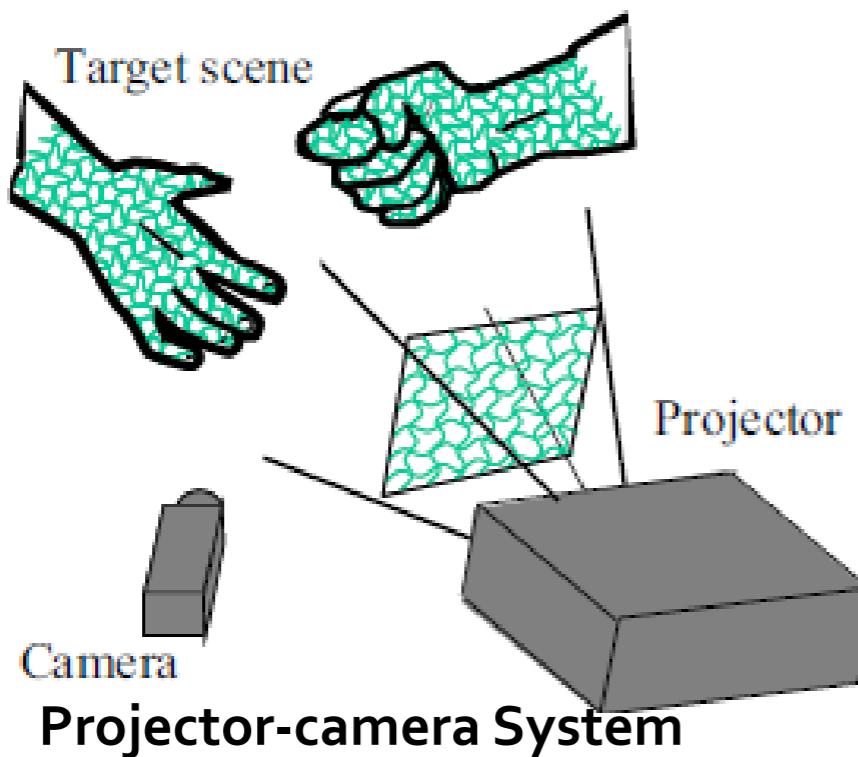


$$D = \frac{ct}{2}$$

● 解像度が低い、画角が狭い、特殊なセンサ

従来の技術4：ワンショット復元

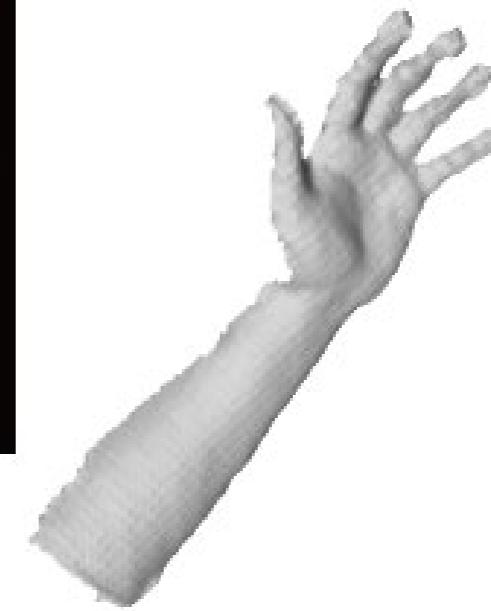
- ・グリッドベースのワンショットシステム



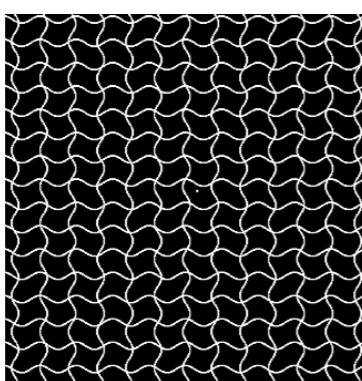
投影パターン



Obtained image



Reconstructed 3-D shape



●水中では輝度不足。屈折の影響大

Hiroshi Kawasaki, Ryo Furukawa, Ryusuke Sagawa, Yasushi Yagi

"Dynamic scene shape reconstruction using a single structured light pattern"

IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR08), pp.1-7, 6.2008

従来の技術5:水中共面性復元

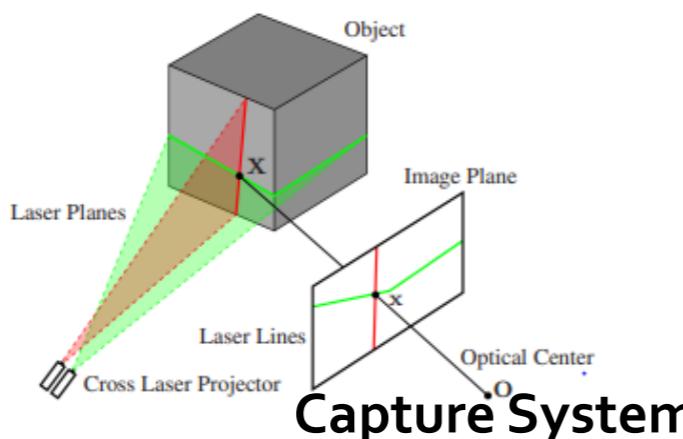
● 共面性復元の水中適用



Cross-line laser in underwater



Reconstructed 3D shape



- カメラを固定
- レーザを別途動かす必要あり
- 小さな領域のみ復元

•Bleier, Michael & Nuchter, Andreas. LOW-COST 3D LASER SCANNING IN AIR ORWATER USING SELF-CALIBRATING STRUCTURED LIGHT. ISPRS 2017

新技術の特徴・従来技術との違い

(1) 共面性による自校正

- カメラとレーザの位置関係が不明でも形状を復元可能
- 従来手法と異なり、カメラとレーザが共に移動

(2) DSOと組み合わせた形状統合

- グリッドラインどうしが引き合う問題を解消
- 深層学習によるマスク推定アルゴリズムを提案

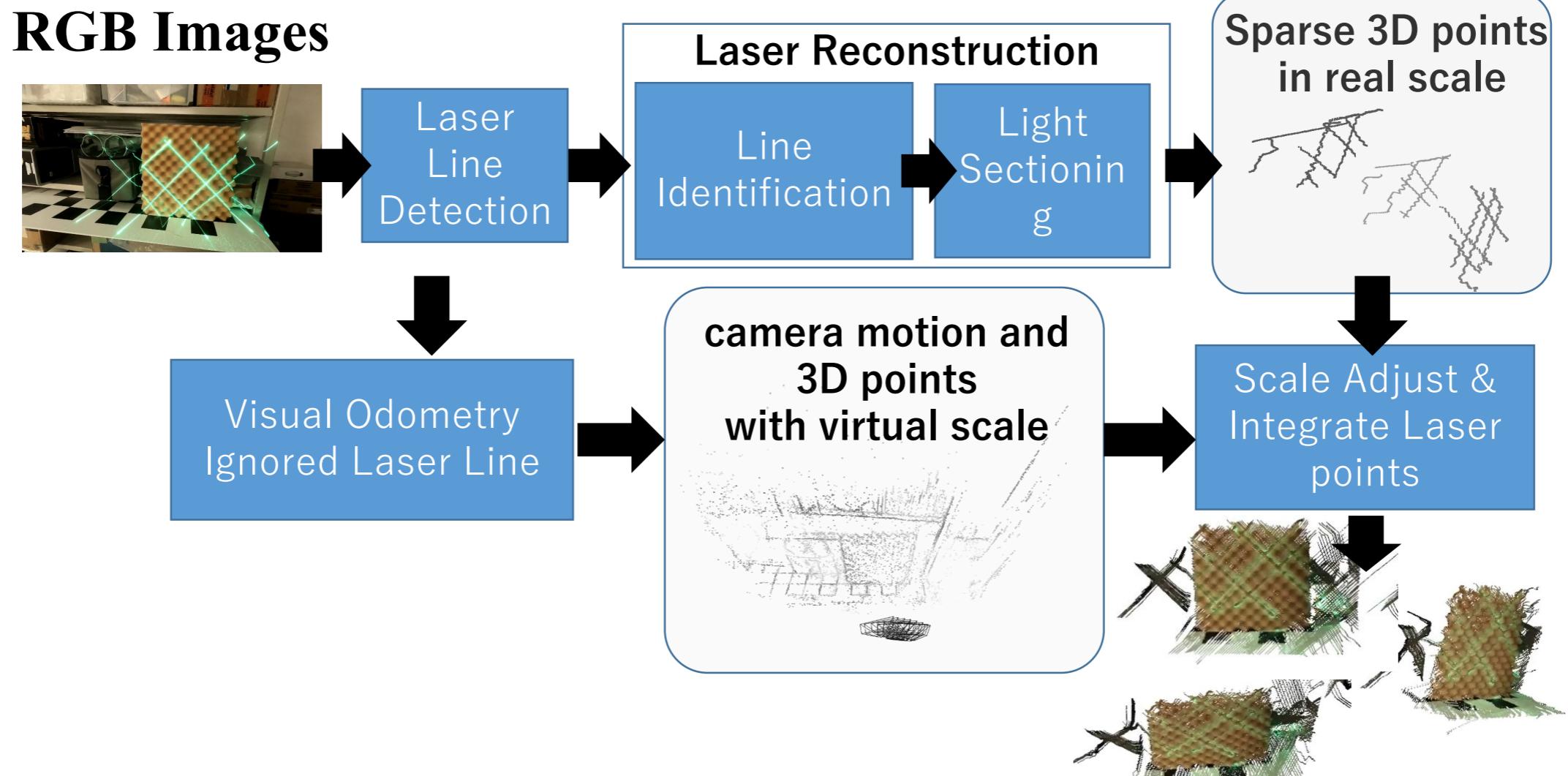
(3) 全体最適化による高精度化

- ユーリッドアップグレードによる安定かつ高精度・高密度な計測を実現

(4) 水中におけるレーザ復元の性能を改善

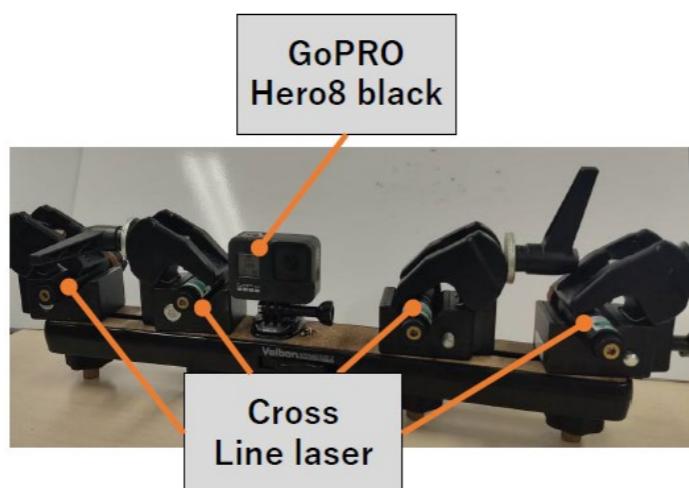
- 既存のROVにレーザを設置するだけ
- 複数のレーザによる計測速度・密度アップ

技術の詳細:全体像

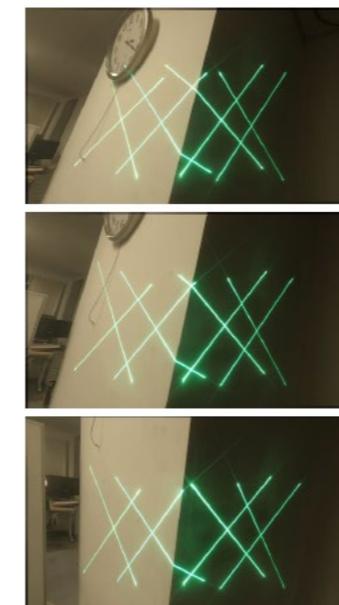


技術の詳細(1):光切斷法

- カメラ1台と平面十字レーザを固定し動画を計測



(a) Setup

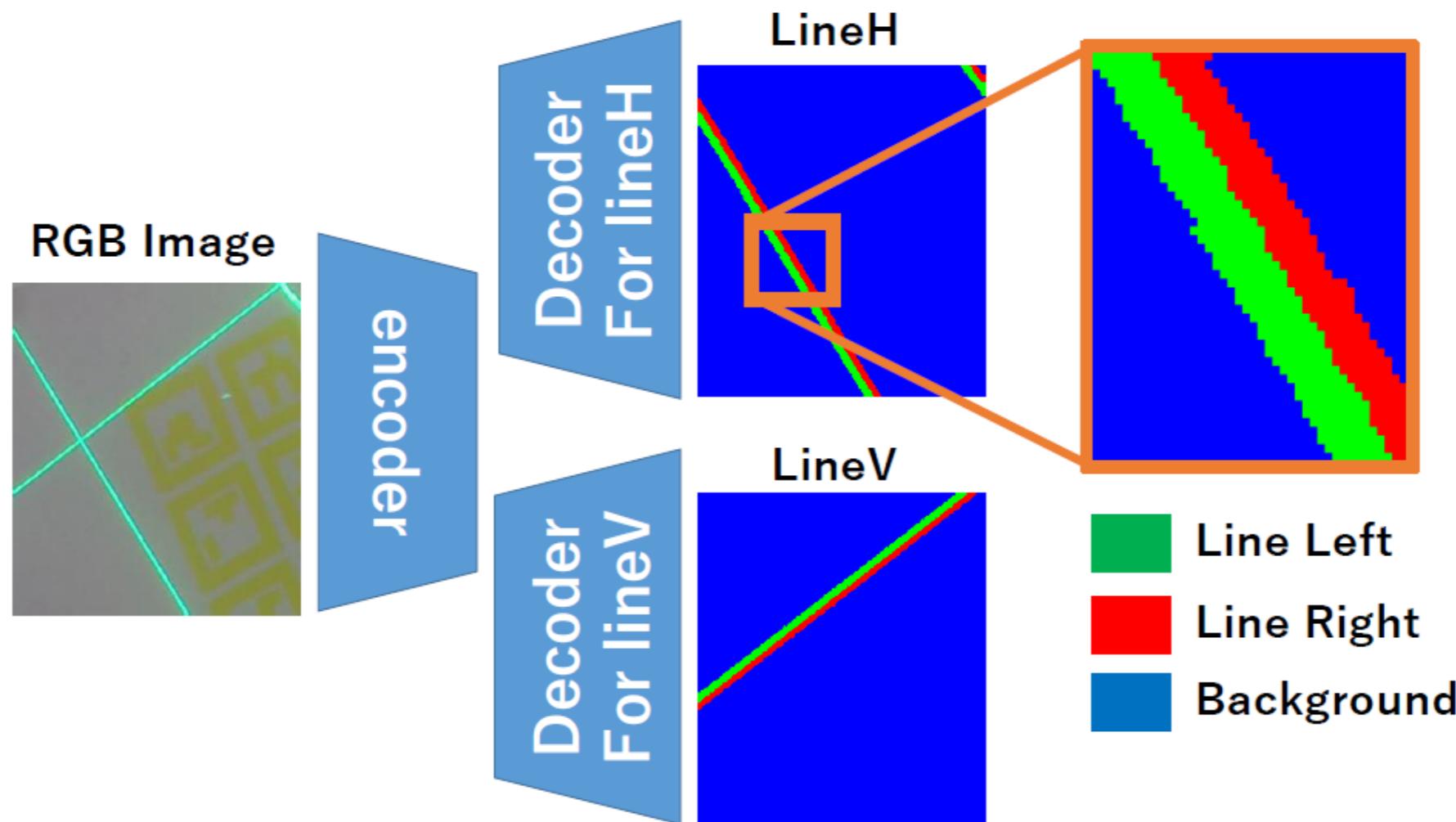


(b) Captured Images



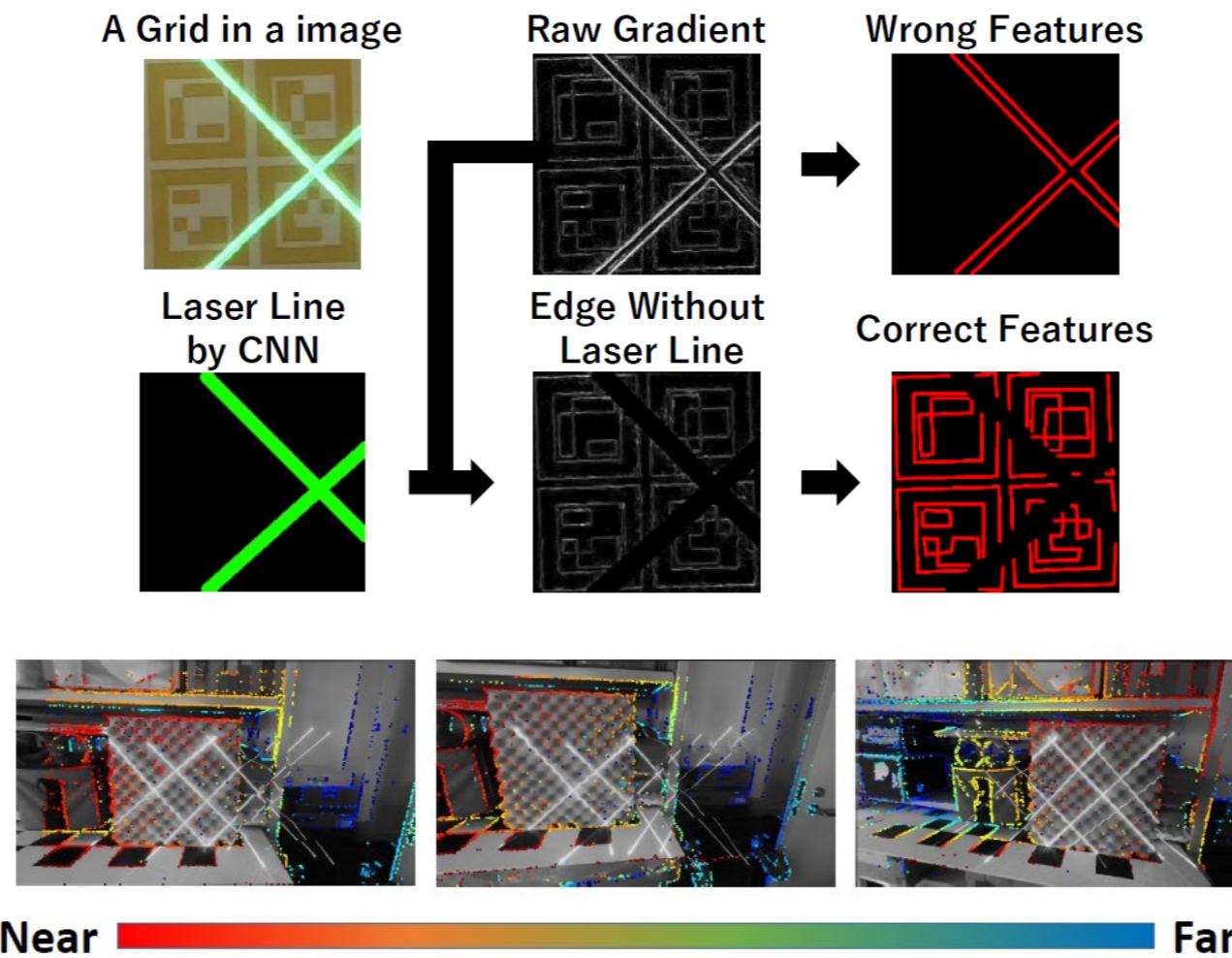
技術の詳細(2):レーザ線推定

- CNNにより画像上のレーザ線を推定



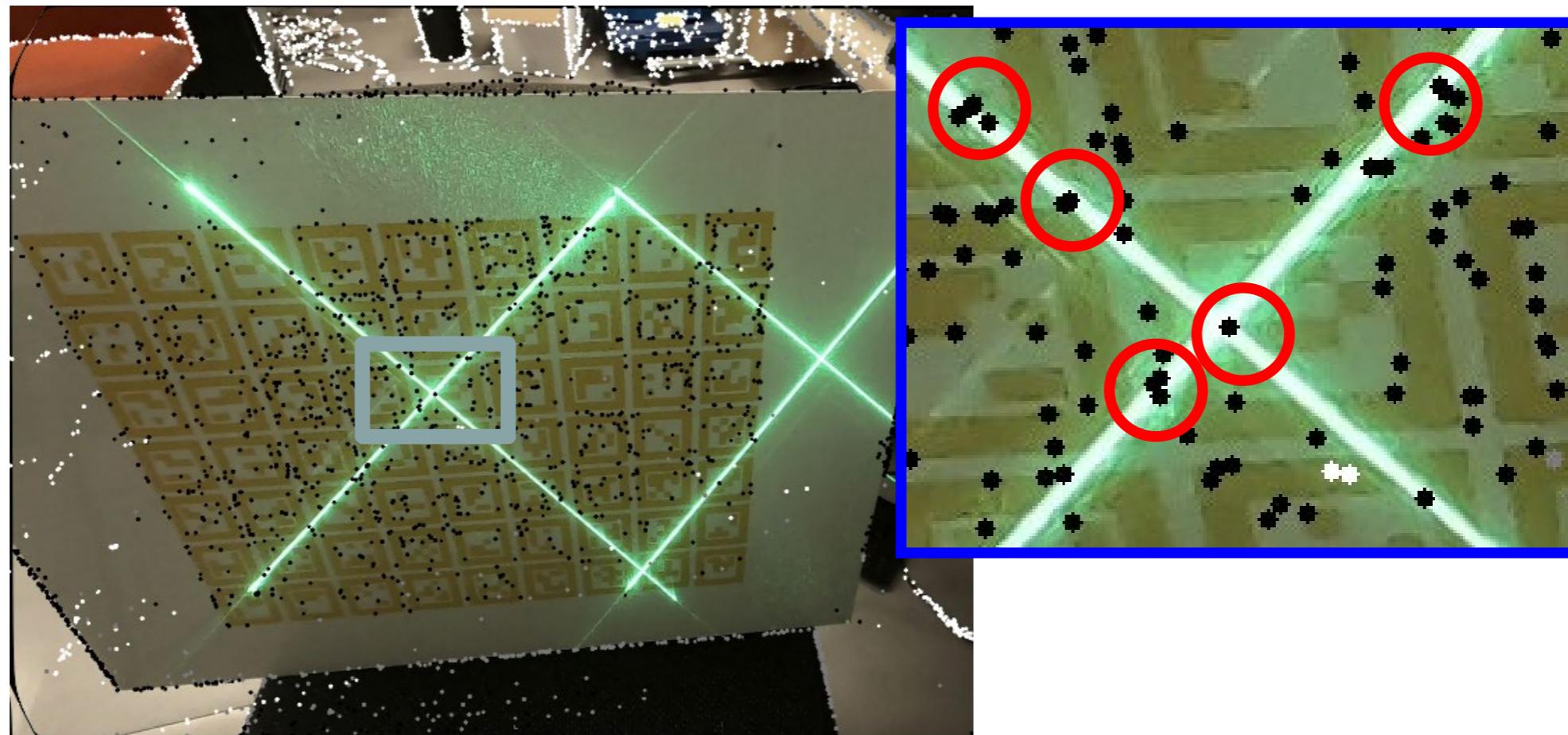
技術の詳細(4):マスク付きVO

- 推定されたレーザ線からモルフォロジー変換でマスクを作成
- マスク位置の輝度勾配を無視して Visual Odometry を適用

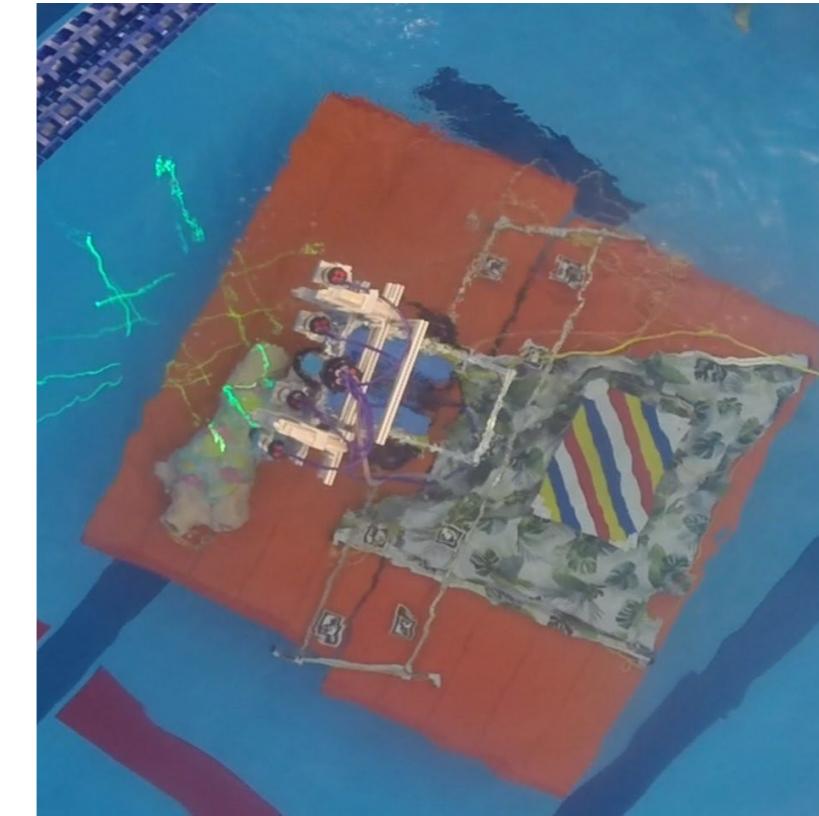
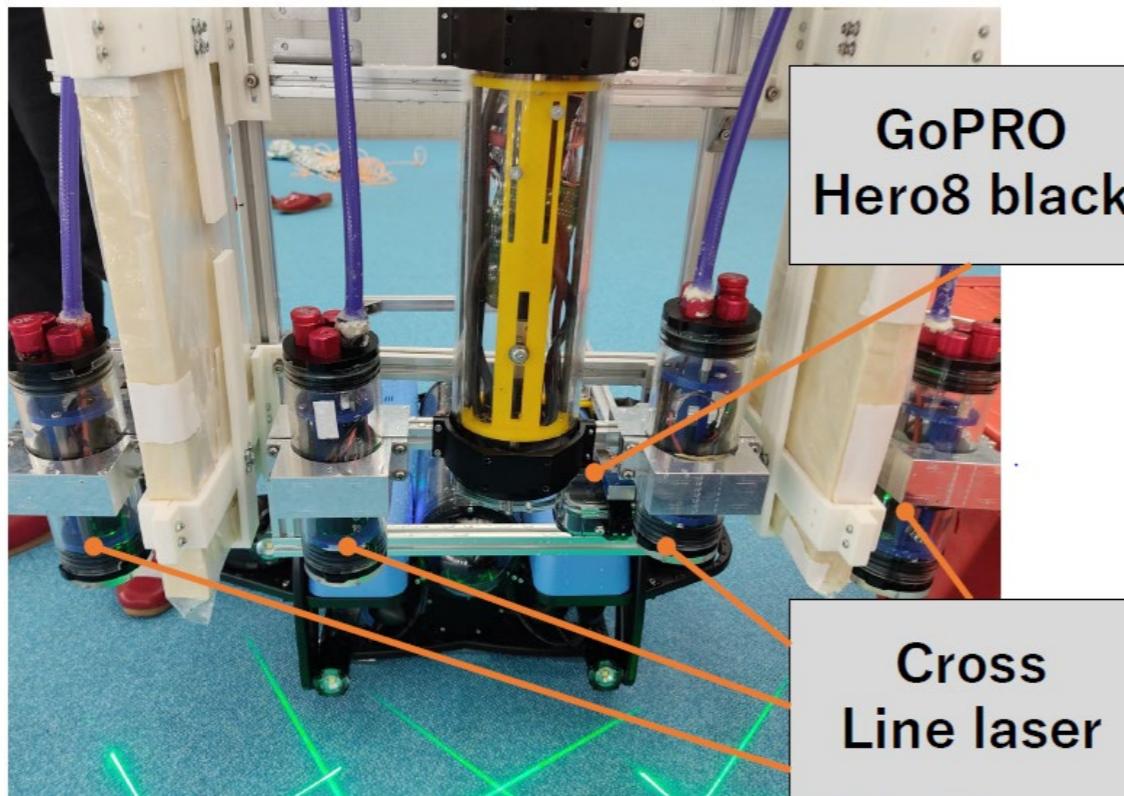


技術の詳細(5):光切断とVOの統合

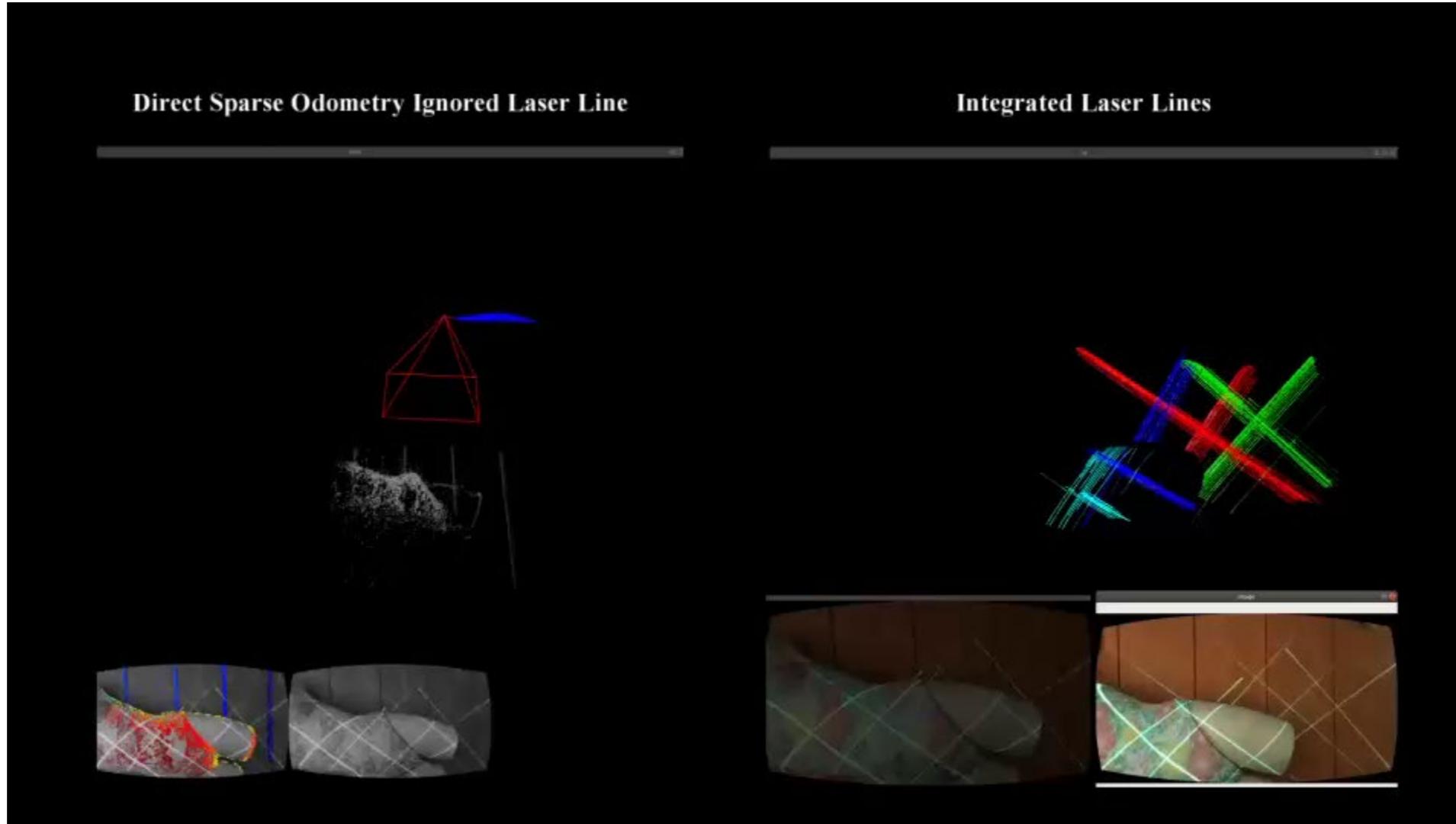
- VOにより推定された3D点がレーザ線上にあれば対応点として検出



効果(実験結果) 実験設定

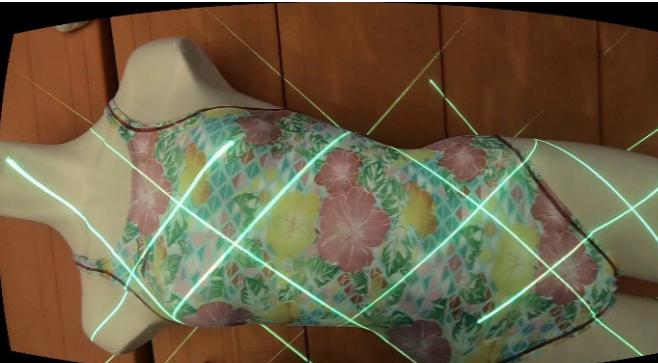


効果(実験結果)



効果(実験結果)

-



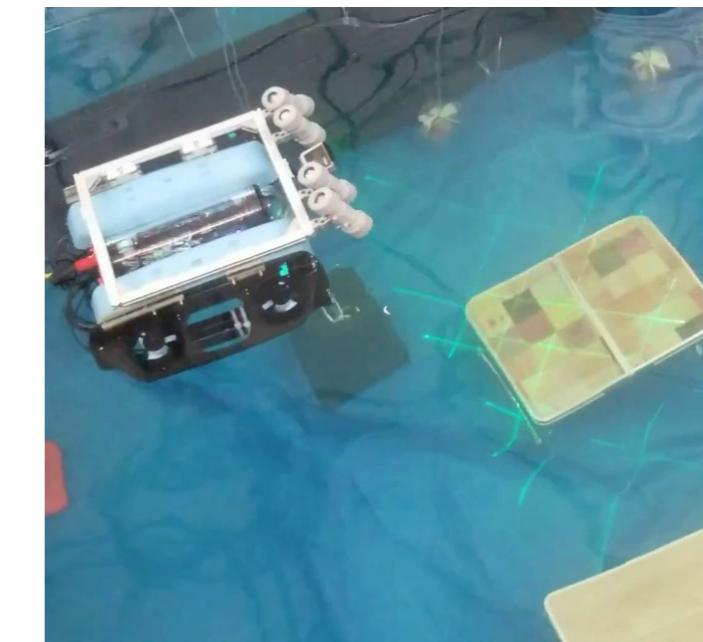
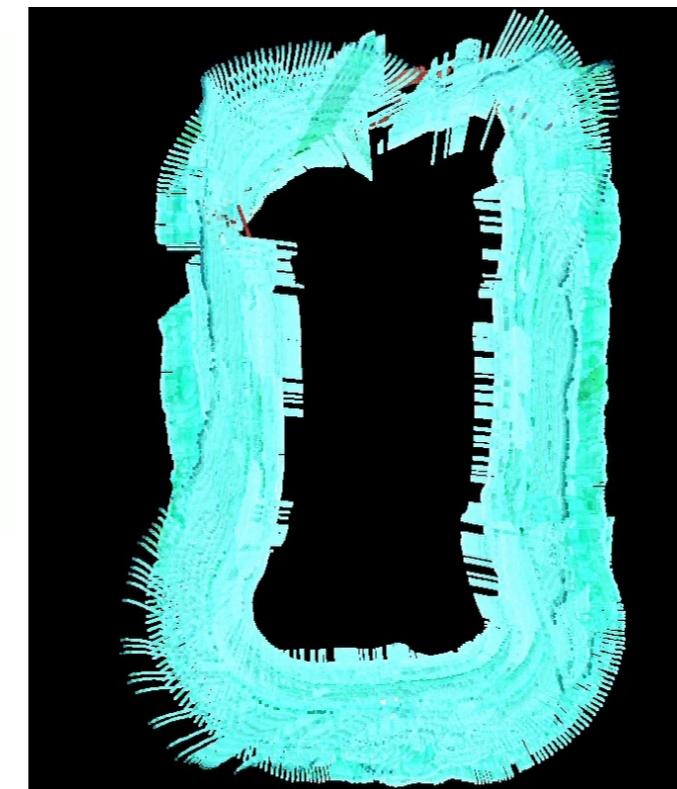
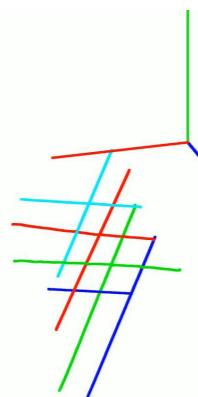
Captured Image



Reconstructed 3D shape

広範囲の計測例

- 大学のプールでROVにて計測



想定される用途

研究用途

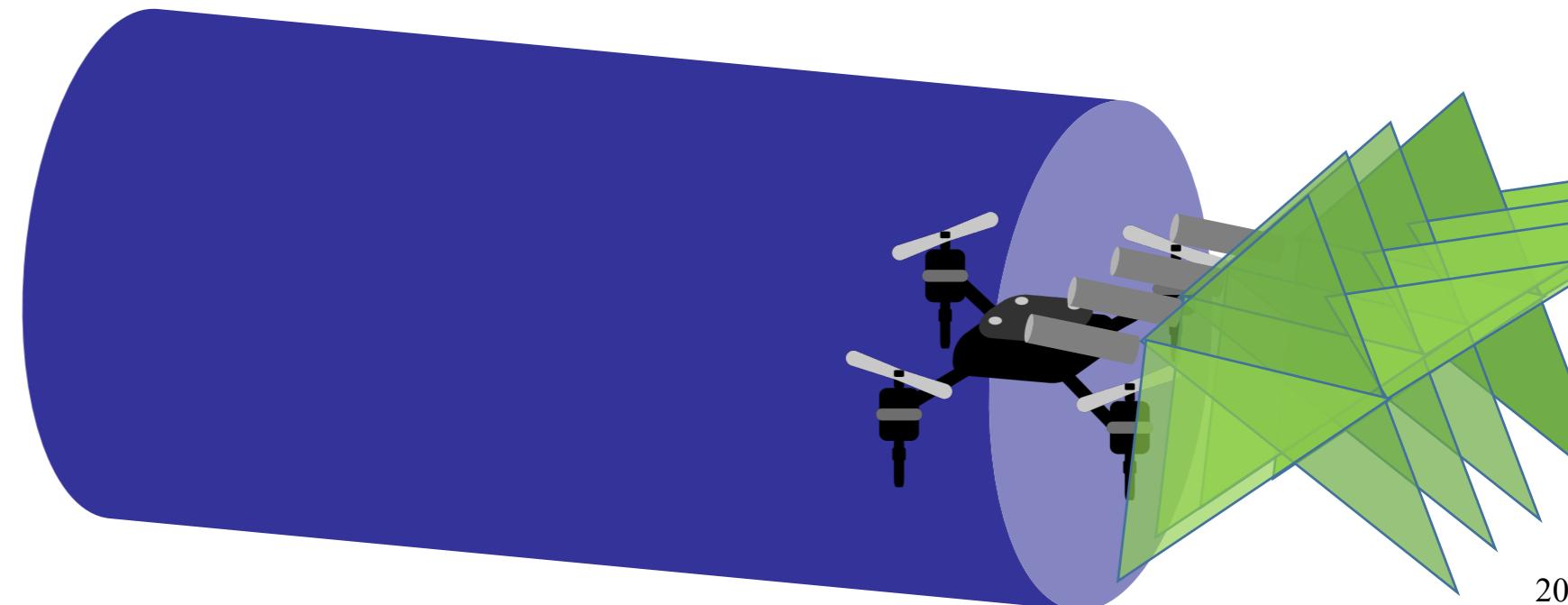
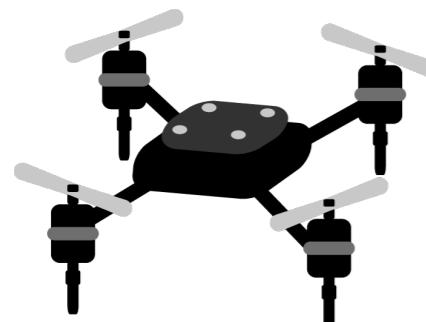
- 九州大と東大生研においてAUVによる水中構造物・海底マッピング研究を推進中
- 九州大とうみそら研で港湾の計測・メンテナンス研究を進めている
- 空中ドローンへの設置による排水管などの自動検査

製品化

- 産総研・JAXA・川崎重工により、火星探査衛星へ搭載予定
- 市販のROVに組み込むためのモジュール化を進めている(国プロ2025より)
- 3次元内視鏡を工業用に開発中・展示会にてデモ

想定される用途

- 空中ドローンへの設置による排水管などの自動検査



想定される用途

- 産総研・JAXA・川崎重工により、火星探査衛星へ搭載予定
 - 火星衛星フォボスからのサンプルリターン計画
 - 2024年打ち上げ予定→H3爆発で2年延期
 - 地形計測センサとして共同研究
 - 可動部分を回避
 - データ通信量の削減
 - 太陽に影響されない計測
 - 機体の振動の影響
 - 軌道上でのキャリブレーション方法

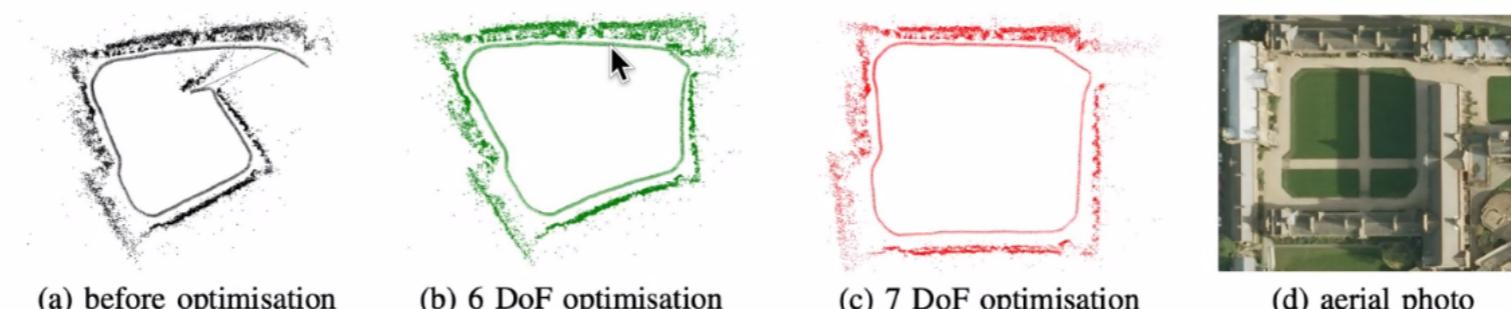
実用化に向けた課題(1)

- ・ 海などの水質



実用化に向けた課題(2)

- 経路推定(水中や配管内ではGPSなどが使えない)
- 自律航行の必要性(制御や衝突回避)
 - 単眼カメラの場合
 - スケールドリフトが存在(図.a)
 - 6自由度のPGOではスケール誤差を修正不可(図.b)
 - スケールドリフトを考慮した7自由度のPGOにより誤差を修正可能(図.c)



スケールドリフトを考慮したポーズグラフ最適化 (PGO)

[20] H. Strasdat, "Scale Drift-Aware Large Scale Monocular SLAM", Robotics: Science and Systems VI, 2010 (画像を引用)

企業への期待・貢献・PR

- 既存の水中ROVと組み合わせて、水中3次元計測を実現することに興味のある会社と、実用化を目指した開発・商品化を進めたい。
- 空中ドローンで、洞窟や排水管、屋内など狭い空間での計測や検査に興味のある会社と、実用化を目指した共同研究を希望。
- アクティブ3D計測の既存デバイスへの導入にあたっての技術指導

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 画像生成処理装置, 3次元形状の復元システム, 画像生成処理方法およびプログラム
- 出願番号 : 特願2023-536755
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 川崎 洋, 永松 元気, 岩口 基史, 高松 淳, 小池 賢太郎

- 発明の名称 : 画像生成処理システム、画像生成プログラム、画像生成方法及び画像生成処理装置
- 出願番号 : 特願2024-041198
- 出願人 : 九州大学
- 発明者 : 川崎 洋, 市丸 和人, トマ ディエゴ, 岩口 基史

产学連携の経歴

- 2008年-2009年 日本信号と共同研究実施
- 2010年-2011年 SAPOIN（代表・株式会社ノア、研究開発担当として参画）に採択
- 2012年-2016年 研究室学生ベンチャーの技術指導
- 2023年-2025年 大学発新産業創成基金「可能性検証」に採択
- 2024年-2025年 株式会社・共和合金と共同研究実施
- 2025年-2026年 PARKSスタートアップ事業に採択

お問い合わせ先

九大OIP株式会社
サイエンスドリブンチーム

TEL 092-400-0494

e-mail transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp