


A Study on Extraction and Integration of Sensor Information from Multiple LiDARs for Informative Dynamic Map

大阪大学 大学院情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻 村田研究室
名和 駿

1

背景 - 高度安全運転技術の発展 2

- **ダイナミックマップへの期待**
 - 各センサ情報や道路交通情報、三次元地図情報を統合した実空間情報を投影したマップ
 - 車両の安全運転支援のみならず MaaS (Mobility as a Service) など幅広い交通システムへの利用が可能
 - リアルタイム性が求められる動的な情報の更新には MEC (Multi-access Edge Computing) の使用を想定
- **ダイナミックマップ作成の取り組み**
 - 静的情報に関して企業や団体によるデジタルマップ化が進む
 - 静的情報：道路、道路上構造物などの長期間変更のない情報
 - 関連研究の複数センサデータ統合手法におけるワールド座標取得方法
 - 位置が固定であり既知 [1]
 - GPS による位置取得 [2]



ダイナミックマップの概念図

[1] E. Arnold, M. Dianati, R. de Temple and S. Falah, "Cooperative Perception for 3D Object Detection in Driving Scenarios Using Infrastructure Sensors," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 3, pp. 1852-1864, March 2022
[2] Z. Zhang, S. Wang, Y. Hong, L. Zhou, and D. Han, "Distributed dynamic map fusion via federated learning for intelligent networked vehicles," in 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2021, pp. 953-959.

2

従来のダイナミックマップ作成手法の課題 3

- **複数センサデータの統合**
 - ローカル座標で取得されるセンサ情報からワールド座標への変換に GPS を使用
 - GPS では一般的に数メートル単位の誤差：誤差の影響が緩和される時間スケールでの応用に限定
- **マップ構成に必要な情報抽出**
 - 歩行者や走行中の車などの移動物体の座標・速度・進行方向などの動的情報
 - ローカル座標のセンサ情報に対する物体検知手法[3]
 - ワールド座標に変換・投影が必要
 - 停車中車両や一時停止中の物体など、動き出す可能性のある物体の準動的情報
 - 物体の移動可能性を考慮した進路決定などに重要
 - 準動的情報に注目した抽出手法は少ない

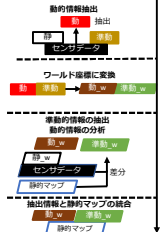
マップを構成し交通システムへの応用に限定せず広く活用するには、動的情報や準動的情報を抽出し、精細な動きを捉える Informative Dynamic Map の構築が必要

[1] X. Chen et al., "Moving Object Segmentation in 3D LiDAR Data: A Learning-Based Approach Exploiting Sequential Data," in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 4, pp. 6529-6536, Oct. 2021

3

研究目的と研究手順 4

- **研究目的**
 - LiDAR センサデータから動的及び準動的情報の抽出と静的マップへの統合
 - 衝突検知等のアプリケーションへの応用を考え、動的情報の位置・進行方向・速度を計算し表示
- **研究手順**
 - LiDAR センサデータから動的情報の抽出
 - 複数センサデータのローカル座標をワールド座標に変換
 - 位置誤差の原因となる動的情報の点群を抽出し、除去
 - 動的情報除去後のデータを用いて位置合わせしセンサデータをワールド座標に変換
 - マップ構成に必要な情報抽出
 - 構造物の情報である静的マップとの差分により準動的情報を抽出
 - 動的情報の点群を用いて位置・進行方向・速度を計算
 - 動的情報・準動的情報を含むマップ情報を統合、表示



4

複数センサデータの統合：動的情報の抽出 5

- **動的物体の検知には LiDAR-MOS [3] を使用**
 1. センサデータの点群データを各フレームごとにレンジ画像(距離情報を含む画像)に変換
 2. ある時刻tのレンジ画像 R_t と直前のフレームから作成したレンジ画像 R_{t-1} の差分から残差画像を生成
 3. R_t と生成した残差画像を CNN の入力にして動的物体を検知
- **結果と画像の比較**
 - 動的情報は赤色点群で表示



移動中の車両



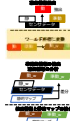
検知された動的物体

[1] X. Chen et al., "Moving Object Segmentation in 3D LiDAR Data: A Learning-Based Approach Exploiting Sequential Data," in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 4, pp. 6529-6536, Oct. 2021

5

複数センサデータの統合：データと静的マップの位置合わせ 6

- **複数センサデータの統合**
 - 動的情報を除去し静的情報と準動的情報からなる点群データの位置合わせ
 - GPS による大域的な位置合わせが実施済みとする
 - 点群データをもとにした位置合わせとして点群レジストレーションを適用
- **位置合わせ手順**
 1. センサデータ及び静的マップから地面部分の点群を取り除く
 2. センサデータ、静的マップの両点群の各点において FPFH 特徴量を計算
 - FPFH とは注目点の法線ベクトルと特定距離内の点群の法線ベクトルを比較しヒストグラム化した特徴量
 3. 特徴量の計算結果をもとに RANSAC を用いて位置合わせ
 4. RANSAC とは外れ値を含むデータから外れ値を除外しパラメータを学習する方法
 - ICP を用いて位置合わせの微調整
 - ICP とは2つの点群間の距離の差を最小化するためのアルゴリズム



6

マップ構成に必要な情報抽出

7

- 位置合わせ後の静的マップとセンサデータの差分から準動的情報を抽出
 - 差分抽出方法として Point Cloud Library の octree_change_detection を使用
- 動的情報の位置・進行方向・速度
 - 各フレームの動的物体の重心の移動から算出
- 準動的情報の抽出結果と画像の比較
 - 準動的情報は黄色点群で表示



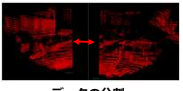
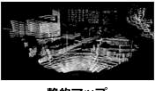

停止している自転車
抽出された準動的情報

7

評価実験

8

- セブンイレブン大阪大学福利館店前の交差点の観測データを取得
 - 2023/1/24 13:41:07~13:44:54 (3分47秒間)
 - 動的情報：測定時間内に記録された全ての移動物体
 - 準動的情報：自転車を設置
 - 静的マップ：自転車を設置しない環境において、動的物体がない時刻のデータを使用（以降白色点群で表示）
- その他諸元
 - Lidarセンサ: LIVOX Horizon、フレームレートは10Hz
 - センサの位置は固定
 - Lidarセンサ2台の情報統合を模擬
 - Lidarセンサ1台を用いたため
 - 取得したデータを分割
 - 左半分の点群データをセンサAの情報
 - 右半分の点群データをセンサBの情報


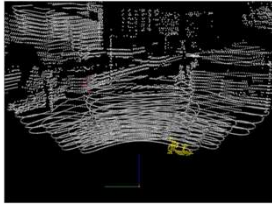
データの分割
静的マップ

8

マップの作成結果

9

- 抽出した動的及び準動的情報と静的マップを統合し作成したマップ


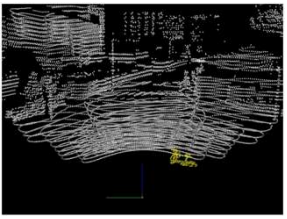
データ取得時の動画
作成したマップで自転車が通過する様子

9

マップの作成結果

10

- 抽出した動的及び準動的情報と静的マップを統合し作成したマップ

データ取得時の動画
作成したマップで自転車が通過する様子

10

マップの作成結果 - 位置合わせ誤差の影響

11

- 位置合わせ誤差により自転車の進行方向が実際とずれる時あり
 - 時間軸方向での平滑化
 - FPFH 及び RANSAC のパラメータチューニング
- その他解決方法
 - 360°LIDARセンサによって視野範囲が拡大されれば改善される



進行方向にずれが生じた瞬間

11

まとめと今後の課題

12

- まとめ
 - 複数センサから動的及び準動的情報の取得とそれら情報と静的マップを統合したマップの作成
 - 動的情報、準動的情報を抽出してワールド座標へのマッピング
 - 衝突検知等のアプリケーションへの応用を考え、動的情報の位置・進行方向・速度を計算し表示
 - 位置合わせ誤差の評価
 - 実際の位置との誤差は平均して約4cm
 - 連続するフレーム間で固定物体が誤差で動く距離は約7cm
 - 特定の条件下で誤検出が発生
 - オクルージョン発生時に手前の物体の一部を動的物体として誤検出
- 今後の課題
 - 実際に複数センサを使いデータ間に重なり部分が生じる場合のマップ生成への影響の確認
 - MEC (Multi-access Edge Computing) を利用したリアルタイムなマップ作成の実現
 - マップを発展させより広域の情報を取得し活用する手法の検討

12