

歩行支援ためのレーザーSLAMによる 電動車椅子の自律走行の研究

帝京大学大学院
理工学研究科総合理工学専攻
井上研究室
2年生 曾 梓傑 (ソウ シケツ)

研究概要

研究背景

- 高齢社会において、高齢者の健康を維持
- 歩くことは高齢者の健康維持に重要

研究目的

- 歩行支援のための自律走行
 1. 疲れた時は乗る
 2. 自分の足で歩けるように歩行を支援
 3. 歩行のパートナー
- 2D-LiDARを用いたSLAMを電動車椅子に適用



実験装置

- 2D-LiDAR (SLAMTEC RPLIDAR A3)
- 電動車椅子 (WHILL Model CR)
- パソコン (ASUS ZenBook Pro UX550VE)



2D-LiDAR



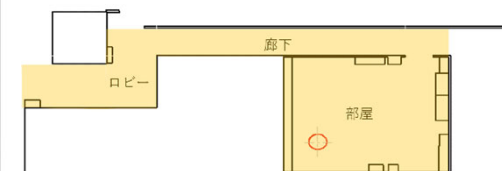
WHILL



PC

実験環境

- 帝京大学 宇都宮キャンパス (機械棟部屋→廊下→ロビー)



システム・SLAMの概要

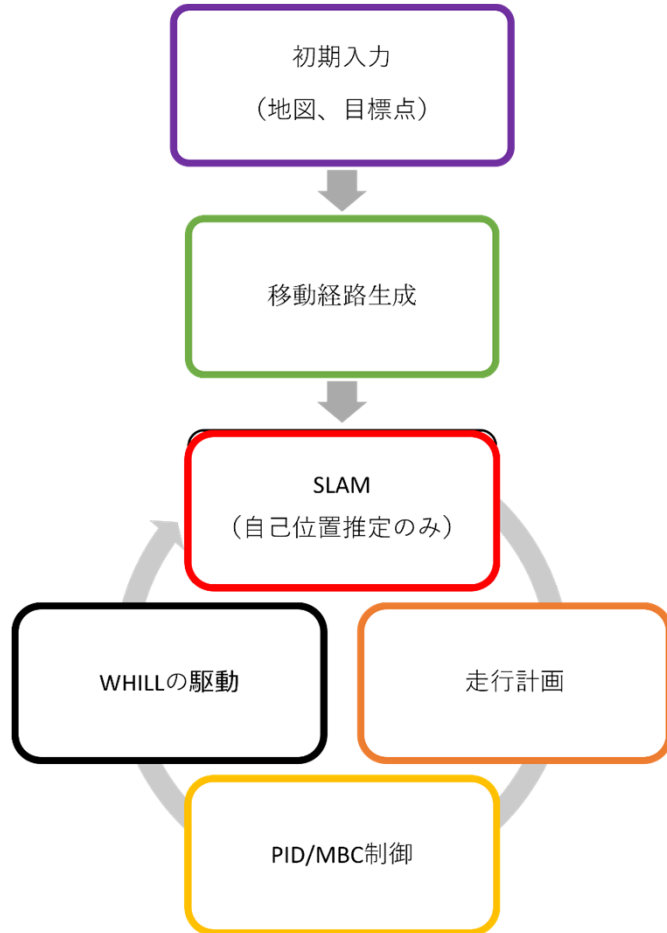


図1：自律走行システムの処理流れ

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

- 自己位置推定 (Localization)
 1. **速度センサー**のデータで仮現在位置 (オドメトリ) を推定
 2. **2D-LiDAR**から周囲の環境データ (点群) を収集、処理
 3. 環境データと地図を**マッチング** (ICP) して、観測位置を推定
 4. 仮現在位置 (オドメトリ) と観測位置で現在位置を推定
- 地図構築 (Mapping)
 - 周囲の環境データ (点群) と推定位置で地図を構築

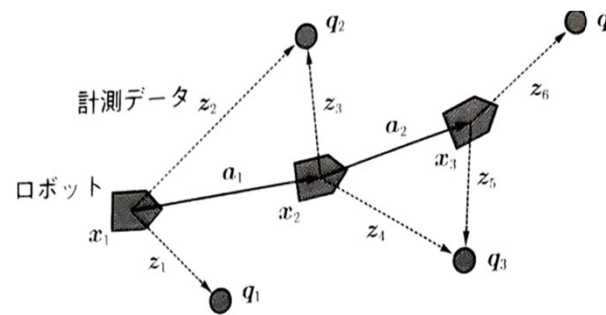


図2：仮現在位置と観測位置の推定

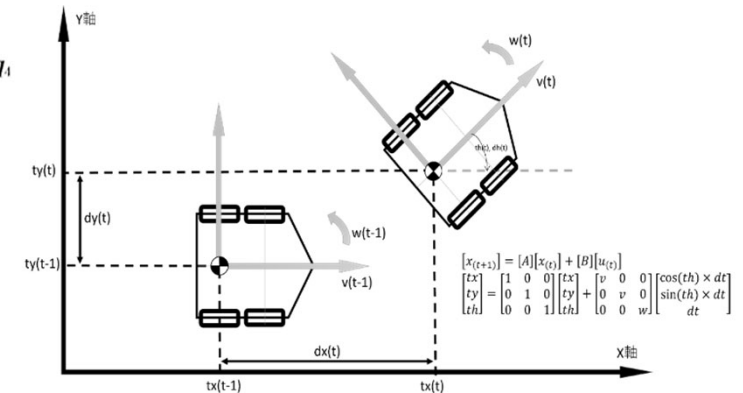
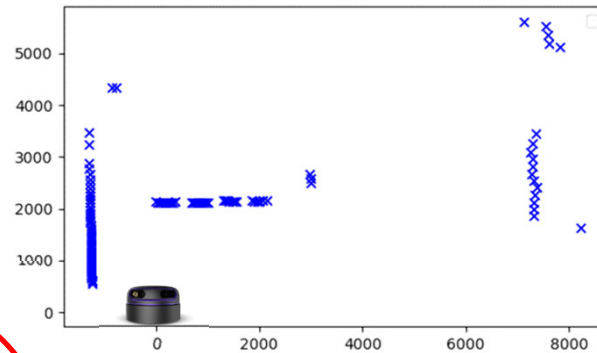


図3：電動車椅子の運動モデル

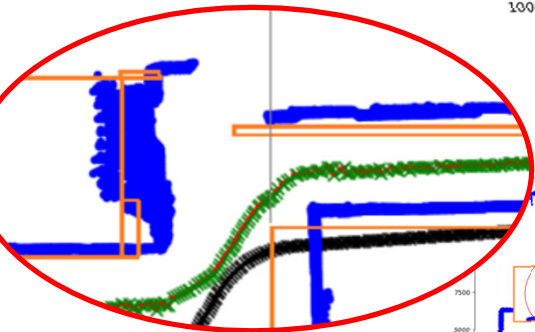
問題点・解決策

問題点：

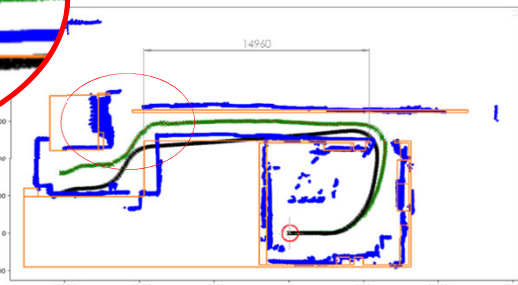
1. 点群の密度の不均一によるマッチング性能の悪化
2. 退化問題によるマッチング性能の悪化
3. 点群処理の計算コスト



↑図4：距離による点群密度の影響



- 真の地図
- 推定を基に構築された地図
- 推定の移動経路



↑図5：退化問題

1. 点群密度の改善

均一化

- 密度高い場所、点を削除
- 密度低い場所、仮想的な点を生成

2. 退化への対応

マッチング範囲の調整

- 電動車椅子の速度によって範囲を調整
- 間違い対応点を防止

拡張カルマンフィルタの応用

- マッチングの共分散行列で退化しやすい環境を判定
- パラメータとして、観測ノイズを調節
- 均一化の最大誤差で、システムノイズとする

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_t &= g(\mu_{t-1}, u_t) & \text{システムノイズ分散共分散} R &= \begin{bmatrix} 25 & 0 & 0 \\ 0 & 25 & 0 \\ 0 & 0 & 0.017 \end{bmatrix}^2 & a1 &= (\alpha/s_{xy}) \times \frac{s_{xx}}{s_{xx} + s_{yy}} \\ \bar{\Sigma}_t &= G_t \Sigma_{t-1} G_t^T + R & \text{観測ノイズ分散共分散} Q &= & a2 &= (\alpha/s_{xy}) \times \frac{s_{yy}}{s_{xx} + s_{yy}} \\ K_t &= \frac{\bar{\Sigma}_t H_t^T}{H_t \bar{\Sigma}_t H_t^T + Q} & &= \begin{bmatrix} a1 * icp_dx & 0 & 0 \\ 0 & a2 * icp_dy & 0 \\ 0 & 0 & a3 * icp_dh \end{bmatrix}^2 & a3 &= \sqrt{a1 \times a2} \\ \mu_t &= \bar{\mu}_t + K_t (z_t - h(\bar{\mu}_t)) \\ \Sigma_t &= (I - K_t H_t) \bar{\Sigma}_t \end{aligned}$$

3. 点群処理の高速化

KNN (KD-TREE) の応用

結果

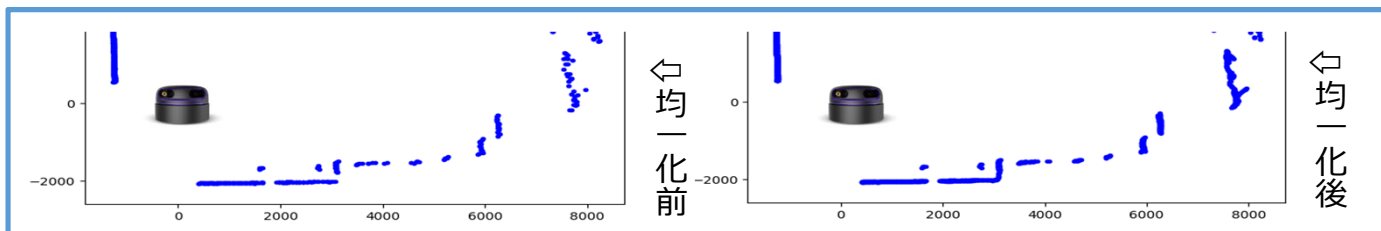


図6：均一化前後



図7：点群密度の改善と退化への対応の結果

	従来の方法		KNN		
	普通	簡易	KD-TREE	BALL-TREE	BRUTE-FORCE
マッチング回数/ スキャン	最大5回	1	最大5回		
計算時間(秒)/ 地図点数	7.30E-03	1.80E-03	6.00E-08	8.00E-08	9.00E-06
スキャン50 回の時	地図点数	8590			
	計算時間 (秒)	54.4	15.9	3.00E-03	5.00E-03

表1：点群処理の高速化結果