



Shibaura Institute of Technology
Advanced Driver Assistance Systems Lab



発表番号02

センサーフュージョンにおける仮想濃淡勾配によるス パース点群の補間手法に関する研究

芝浦工業大学

運転支援システム研究室

NB21108 沈 舜聡

指導教員 伊東 敏夫

Shibaura Institute of Technology

Advanced Driver Assistance Systems Lab

NB21108 Shuncong SHEN

Supervisor Toshio ITO



研究内容・提案手法

● 研究背景

- 自動運転車や産業用設備などの自動走行システムの需要が高まる
- 周囲の環境を把握するにはセンサの選定が非常に重要し、安全運転を保証
- LiDAR(レーザスキャナ類)は外界認識センサとし注目(高信頼性、低消費電力など)

Light Detection And Ranging (LiDAR)	
Model / Grade	Velodyne VLP-16/Industrial

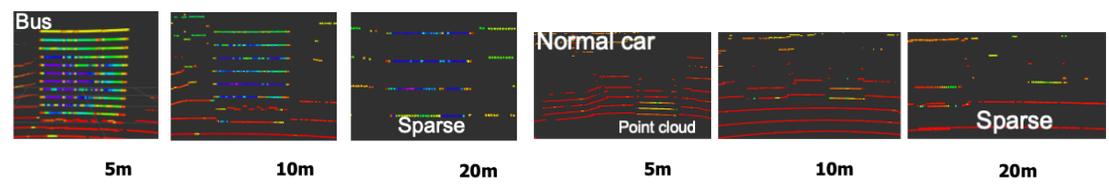


Focused: SWaP

- Size
- Weight
- Power

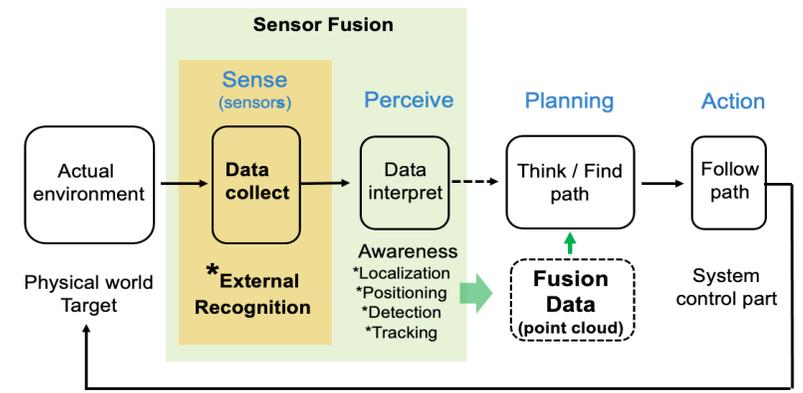
● 課題点

- LiDARが現状では高価、中小企業や市民が気軽に使用困難
- 低解像度LiDARには、遠距離で性能が低下する問題が発生



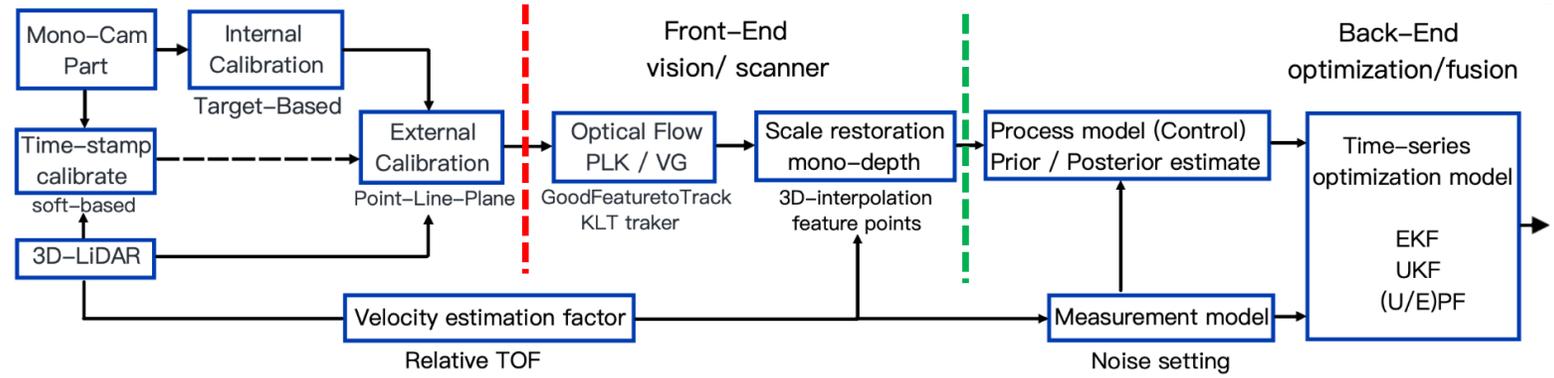
● 提案手法(センサーフュージョン)

- 単一のセンサで性能と信頼性が不十分
- 認識手法豊富に存在と低コストで導入、単眼カメラとLiDARをフュージョンにより、点群データの量と密度を増加



提案手法

● 提案ワークフロー



◎ 最適化モデル(Optimization Model)

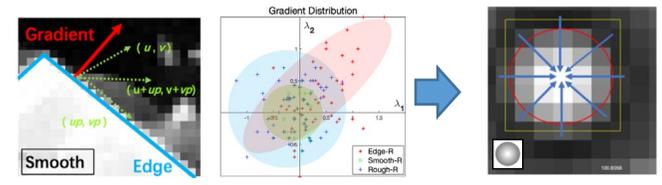
- フュージョン手法の精度とロバスト性を向上
- フュージョンモデルの適用範囲を拡大
- EKF、UKF、PFなどの時系列フィルタリングを後期最適化モデルに提案

Ⓐ 事前準備 (Pre-work) Ⓑ 補間特徴点群データ(3D-Interpolation feature points)

- 空間統一
カメラと LiDAR
座標キャリブレーション
(3D-line-plane target based)

- 時間統一
カメラと LiDAR
時間フレーム
(Software based)

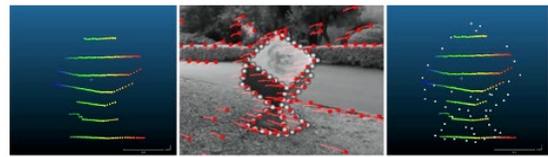
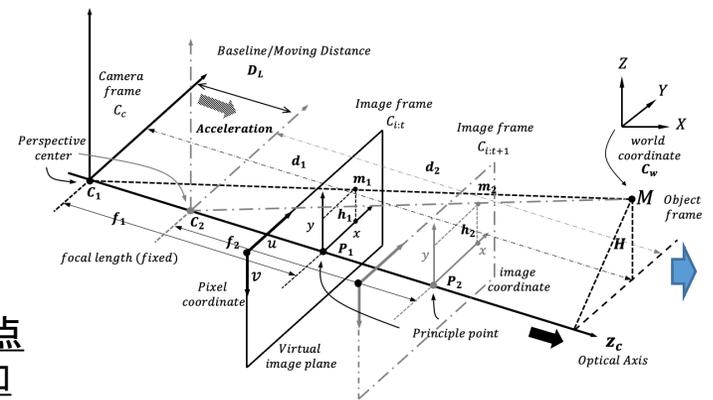
- 運動状態分析手法オプティカルフローを用いて対象物体画像の特徴点を抽出



画像の勾配成分を注目 仮想濃度勾配を導入 (Virtual Gradient, VG)



- ピンホールカメラの原理により、奥行情報を算出
- 逆投影変換を行い、空間的に対応する点に変換、奥行を追加



補間特徴点群作成とLiDARデータをフュージョン

ピンホールカメラ原理と運動幾何学モデル

実験結果と評価

• 仮装濃度勾配 (VG)

Table 1. Performance of the purposed VG method

Frame (distance)	w/o ours method (Ext feature point)	w ours method (Ext feature point)	Number of adding VG pt	Detecting (rate)	Increasing (rate)
Cube (5m)	5	35	37	94.61 (%)	600 (%)
k-car (10m)	4	18	22	81.82 (%)	350 (%)
Mini-car(20m)	5	17	18	94.45 (%)	240 (%)
Truck (30m)	4	26	27	96.20 (%)	550 (%)

- VGを導入されていないと比較
追加した仮想点の平均検出率は91.77%
検出の特徴点数は平均447.50%増加

• 3D補間特徴点距離精度とVG導入後の精度

Table 2. Comparison of 3D-interpolation range accuracy and VG extraction

Method Range accuracy (RMSE)	Cube		Mini-car		Normal-car		Truck	
	Stationary model		Kinematic model		Kinematic model		Kinematic model	
	OF	OF-VG	OF	OF-VG	OF	OF-VG	OF	OF-VG
5m	0.143	0.131	/	/	/	/	/	/
10m	0.396	0.401	0.905	0.822	0.883	0.861	0.71	0.69
20m	/	/	2.24	2.32	2.19	2.01	2.71	2.65
30m	/	/	/	/	/	/	4.62	3.87

- 特徴点から距離算出値の評価
(自車両との相対速度が存在する物体に、5セットのデータ、GT: LiDAR data)

二乗平均平方根誤差 (RMSE) を算出することにより、距離精度を評価
VGを導入後、特徴点の距離精度が平均4.9%に上昇

• 後期最適化の PF,EPF,UPF 精度と計算コスト

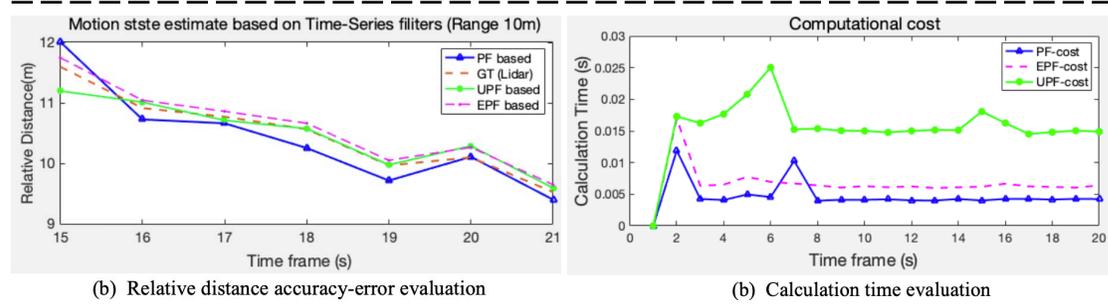


Table 3. Comparison of 3D-interpolation range accuracy and VG extraction

Method RMSE (ave Calculation time)	Testing Range (10m)		
	PF / Generic PF	EPF	UPF
Normal-car	0.192 (0.004s)	0.118 (0.006s)	0.086 (0.016s)
Truck	0.144 (0.004s)	0.103 (0.007s)	0.092 (0.015s)

- 時系列フィルタリングを加えると、距離の精度が更に向上し、UPFが最も精度が高く、Original OF と比較し、87.5 %向上
- 平均計算時間 (UPF) は 0.016s



まとめ・今後の予定

まとめ

- 低解像度LiDARに対し、コストと精度を両立させるセンサフュージョン手法を提案
- 仮想濃度勾配が従来のLKオプティカルフロー法の検出精度を向上
- 時系列フィルタを用ち、適切な計算時間コストでモデルの精度とロバスト性を更に向上

今後の予定

- より正確なLiDARノイズモデルの検討と作成
- 最適化モデルで効率化のため、確率的多重フィルタリング(Multi-Filtering)を検討
- 複数対象物体における提案手法の評価と改善