

令和元年度 卒業研究論文

MATLAB/Simulinkによる  
RADAR計測システムの開発

Development on RADAR measurement system  
using MATLAB/Simulink

一関工業高等専門学校  
電気情報工学科 秋田研究室  
佐藤 凌雅

2020 年 1 月 26 日

## 概要

本研究は、路面の段差検知システムの実現を目的としている。提案するシステムはRADARを用いて路面を常に監視し、車両前方に段差が存在する際には運転手に警告することが可能である。また、システム構築にはMATLAB/Simulinkを用いたモデルベース開発を採用し、ソフトウェア設計の効率向上を図った。なお、提案した手法の有効性をシミュレーションと実際の車両での実験を通して検証した。

キーワード： RADAR, モデルベース開発

## Abstract

This study aims to realize a road step detection system. The proposed system can always monitor the road surface with RADAR and warn the driver if there is a step in front of the vehicle. In addition, in order to improve the efficiency of software design, model-based development using MATLAB/Simulink was adopted for system construction. The effectiveness of the proposed method is verified through a simulation and experiment.

**Keyword:** RADAR, Model-Based Development

# 目次

第1章	序論	1
第2章	車載センサの種類	3
2.1	カメラ . . . . .	3
2.2	LiDAR . . . . .	4
2.3	RADAR . . . . .	4
2.4	総括 . . . . .	5
第3章	RADAR	7
3.1	測定原理 . . . . .	7
3.2	本研究で使用するRADAR . . . . .	7
3.3	RADARの有用性の検証 . . . . .	7
第4章	モデルベース開発	13
第5章	段差検知システムの開発	15
第6章	段差検知システムの検証	17
第7章	結論	19
参考文献		21

# 第1章

## 序論

本論文は次のような構成となっている。2章では現在主に使用されている車載センサについて説明し、3章でRADARの原理の説明とLiDARとの比較を行う。4章ではモデルベース開発について説明を行い、5章で実際に提案するシステムについて述べる。6章で検証結果について説明する。最後に、結論は7章に示す。



## 第2章

# 車載センサの種類

この章では自動車の運転支援システムや自動運転に活用されているセンサについて説明する。

### 2.1 カメラ

一般的に自動運転やADAS向けのカメラは車内にあるルームミラーの裏側などに配置されており、車両の進行方向を向いている。その場合、前方カメラはウインドガラスを挟んで前方の画像を撮影し、画像処理用プロセッサが撮影した画像・映像の解析をリアルタイムで行う。この過程を経て、車両の前方に車両や障害物や人がいるかを検知することができる。[1]

カメラは種々の対象物を検出・認識することができ、対象物に応じて複数の用途に利用することができる。夜間の運転時に、対向車のヘッドライトを検出することにより、自車のヘッドライトのハイ／ロービームの切り替えを自動で行う機能、速度制限の標識を認識して速度警告を行う機能、道路上の白線を認識し、その位置から自車のレーン逸脱を警報する機能、前方の車両や歩行者を検知して、衝突の危険がある際に警報を出し、緊急時には自動でブレーキを掛ける機能、等々、様々な用途に用いることができる。

他にも、このような運転支援の用途だけではなく、自動運転を行う際にも周囲の車両や歩行者、交通標識、道路上の白線などを検出・認識できる重要なセンサである。

なお、前方を2台のカメラ（ステレオカメラ）を用いると、2台のカメラの映像の視差から物体までの距離を推測することが可能になる。[2]

一方、カメラで画像・映像を撮影するということは、基本的には人の目で見るという仕組みと類似の原理であることから、夜間や逆光に加え、濃霧、豪雨、豪雪などの悪天候の場合は検出能力が低下することが課題の一つとされている。[1]

## 2.2 LiDAR

LiDAR は、赤外線レーザー光をパルス状に照射し、物体に反射されて帰ってくるまでの時間から距離を計測するセンサである。動作原理がレーダと類似しているため、別名レーザーレーダとも呼ばれる。細く絞ったレーザー光を可動ミラーによって方向を変えてスキャンすることで物体の方位も検出することができる。このようなタイプのセンサをスキャン LIDAR と呼ぶ。LIDAR は、ミリ波レーダに比べてさらに波長の短い電磁波である、赤外光を使っているため、検出の際の空間分解能が高いことが特長である。この特長を生かし車の進路の安全な場所の検出に使うことができる。ただし、赤外光を用いるため、豪雨、豪雪、霧などの悪天候時に検出性能が低下するという短所がある。[2]また、LiDARは高価で屋外で利用できる性能のものになると1個あたり数百万円もする。さらに、LiDARは測定時に物理的に回転する。耐久性の観点から量販車に実装することは現状のままでは少し厳しい。[3]

## 2.3 RADAR

ミリ波レーダは、ミリ波と呼ばれる非常に波長の短い電波を照射し、物体に反射されて帰ってくる電波を検出することにより、物体までの距離と方向を検出するセンサである。現状利用されているミリ波レーダは、前方検出用には 76GHz、後方や側方検出用には 24GHz が多く用いられている。Fig. 6 に前方検出用の 76GHz ミリ波レーダ（量産品）の構造を示す。ミリ波が透過する筐体カバー（レドーム）の中に、ミリ波を送受信するア

ンテナ，ミリ波の信号を処理する RF 回路，受信信号をデジタル化して演算処理

## 2.4 総括

以上で紹介した，カメラ，ミリ波レーダ，LIDAR の三種類のセンサは，いずれも長所と短所がある．カメラによる検出は，物体の識別が可能であり，車両や歩行者など自動車を安全に走行させるうえで重要な物体を，他の物体と区別して検出することができる．また，道路標識や路面上のレーンマークの認識も可能である．しかしながら，カメラの画像は人間の目で見える画像と同じ原理に基づくものであり，夜間や逆光など光源が不適切なシーンや，濃霧，豪雨，豪雪などの悪天候のシーンでは，人間と同じく検出能力が低下する．これに対しミリ波レーダは，自らの発する電波を利用した検出のため，光源や天候に左右されず良好な検出特性を維持できる．また対象物体までの距離を正確に計測できる特長もある．しかしながら，検出の際の空間分解能が他のセンサに比べて劣るため，物体の識別は困難であり，また段ボール箱や発泡スチロールなど，電波の反射率の低い物体の検出が難しいという課題がある．LIDAR は，赤外線レーザー光を用いるため，電波の反射率が低い物体も検出できる．特に段ボール箱，木材，発泡スチロールなど，路上散乱物として走行の妨げになる物体も検出可能である．またスキャン LIDAR では高い空間分解能で距離と方位を検出できるため，物体検出だけでなく，それらの間のフリースペースの検出も可能である．ただし，赤外光を用いるため，豪雨，豪雪，霧などの悪天候時に検出性能が低下するという短所がある．以上の状況を踏まえ，運転支援や自動運転の際には，上記のセンサのうち一種類だけを用いるのではなく，複Fig. 8 Function and mechanism of LIDARFig. 9 Free-space detection by processing LIDAR data19数のセンサを組み合わせることで検出の信頼性を高めることが望ましい．例えば前方の障害物を検知して，警報や非常ブレーキを掛ける運転支援の用途には，前方カメラとミリ波レーダとを組み合わせ，検出の信頼性を向上させ，昼夜・天候による検出性能の変動を抑制するとともに，誤検知を抑制する工夫を行っている．また，非常ブレーキの場合には，物体を検出した場合は車を停止させれば安全性を担保できるが，自動運転を実現する際には，前方に



安全に車が走行できるフリースペースを探し，車を停止させずにその領域を通して走行を継続させる必要がある．このため，自動運転の際には，フリースペース検知性能に優れたスキャン LIDAR を追加することが検討されている．

## 第3章

# RADAR

この章ではRADARの基本原理，研究に使用するRADARの性能，LiDARとの比較を行う．

### 3.1 測定原理

### 3.2 本研究で使用するRADAR

### 3.3 RADARの有用性の検証

RADARは照度の変化に対してロバストであると述べた．ここではRADARとLiDARの環境依存性について検証を行う．

#### 3.3.1 検証手法

##### センサ

比較対象としてRADARと同じ価格帯のLiDARを用意した．使用したLiDARの性能と外観を表3.1，図3.1に示す． [5]

表3.1 LiDARの性能

製品名	YDLIDAR X4
検出距離	120～11,000mm
走査視野	360°
角分解能	0.5°
走査周波数	6～12Hz
電源電圧	DC5V
消費電流	450mA



図3.1 測定に使用したLiDAR

なお、LiDARは仕様上、全方向（ヨー角360度）をスキャンするが、今回の実験では壁側の1本のレーザーだけ使用する。

#### 実験環境

壁との距離をセンサで24時間計測する。この際の実験環境を表3.2、実験の様子を図3.2に示す。

表3.2 実験環境

測定日時	2020/01/12 08:47～2020/01/12 08:47
測定場所	一関高専4号棟402号室
測定環境	無人，消灯，外からの外乱光あり
対象物までの距離	0.6m
測定間隔	10秒



図3.2 RADARとLiDARの比較実験の様子

### 3.3.2 測定結果

RADAR, LiDARから得られた観測データを図3.3に示す。また，センサの平均値，分散値を表3.3にまとめる。

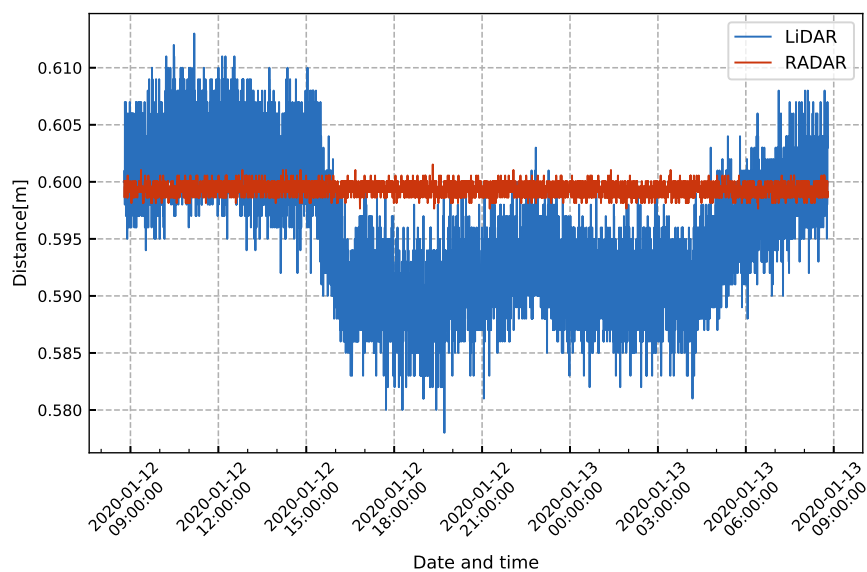


図3.3 LiDARとRADARの測定値の推移

表3.3 実験結果

	LiDAR	RADAR
平均	0.59538803	0.59935253
中央値	0.59500000	0.59958800
分散	0.00003424	0.00000024
標準偏差	0.00585180	0.00049350

この後の考察を行いやすくするため、図3.3のデータに対して移動平均フィルタを施した。フィルタ処理後のデータを図3.4に示す。

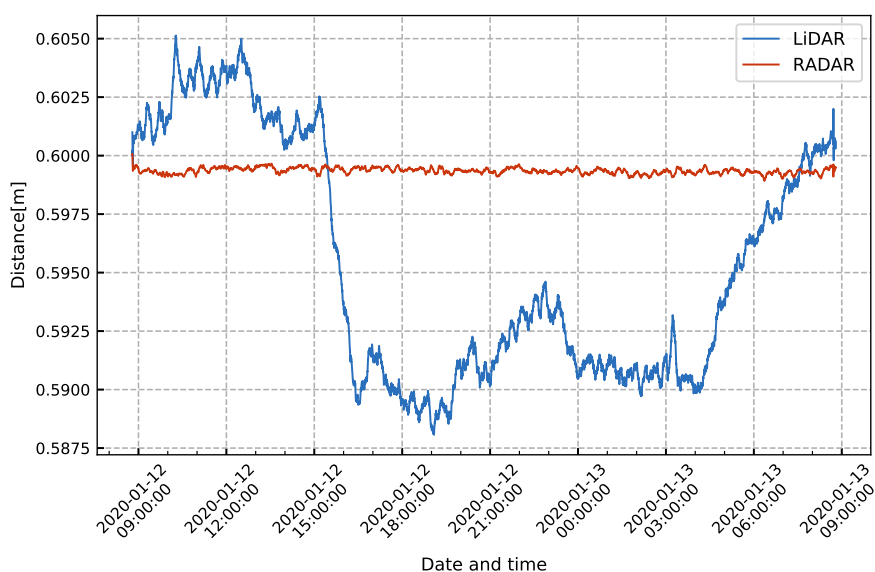


図3.4 LiDARとRADARの測定値の推移（移動平均フィルタ処理後）

### 3.3.3 結論

表3.3からLiDARと比較してRADARの方が値のばらつきが小さいことがわかった。しかし、LiDARとRADARでは測定原理が異なるため、単純にこのデータだけでRADARの方が優れているとは言い切れない。そこで、図3.4を見ると、LiDARは時間経過に対応して得られるデータが変動している。測定を行なった2020年1月12日の一関市の日没は16:33、1月13日の日の出は6:54であった。LiDARの測定値が大きく変動している時間と日没、日の出の時間はおおよそ一致していることから、この値の変動は外からの太陽光の影響を受けたものと考えられる。

一方でRADARは24時間を通してほぼ一定の値を取り続けていた。このことから、RADARはLiDARと比較して太陽光の影響を受けにくいと考えられる。以上より、RADARは他の車載センサと比較して照度変化に対しての優位性があると結論づける。



## 第4章

# モデルベース開発

この章では車載システム開発では一般的に用いられているモデルベース開発について説明する.





## 第5章

# 段差検知システムの開発

この章では，構築した段差検知システムについて説明を行う．



## 第6章

# 段差検知システムの検証

この章では，構築した段差検知システムについてのシミュレーション，実験の結果について述べる．



## 第7章

## 結論



## 参考文献

- [1] 自動運転LAB. 【最新版】自動運転の最重要コアセンサーまとめ LiDAR、ミリ波レーダ、カメラ. [https://jidounten-lab.com/y\\_2520](https://jidounten-lab.com/y_2520), (参照:2020-01-24)
- [2] 松ヶ谷和沖. 自動運転を支えるセンシング技術. Denso technical review. 2016, 21, p. 13-21.
- [3] MIT Technology Review. Self-Driving Cars' Spinning-Laser Problem. <https://www.technologyreview.com/s/603885/autonomous-cars-lidar-sensors/?set=603886>, (参照:2020-01-24)
- [4] CleanTechnica. Tesla & Google Disagree About LIDAR — Which Is Right?. <https://cleantechnica.com/2016/07/29/tesla-google-disagree-lidar-right/>, (参照:2020-01-24)
- [5] YDLIDAR. YDLIDAR X4 Datasheet. <http://www.ydlidar.com/Public/upload/files/2019-12-18/YDLIDAR%20X4%20Datasheet.pdf>, (参照:2020年-01月-18)