

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 27 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、結論を7章に示す。

自動車を走行させる際に生じる振動は運転者に負担となり、自動車を高速走行させる際に車内で感じる振動は運転者に負担となり、乗り心地の快適性を損ねる。これらの課題を解決する装置として、バネとダンパを用いるサスペンションが挙げられるが、特にアクティブサスペンションは画期的な性能を持つ。アクティブサスペンションとは、路面や走行状況によって発生する自動車の揺れを検知し、車内で感じる揺れを抑えるように電子制御する装置である。車体の姿勢を安定させるため、運転時の負担を軽減させるほか、乗り心地を快適にすることができる。本研究では、Quanser 社製のアクティブサスペンションの実験装置 [1, 2] を用いて最適制御を行い、最適制御の有効性の確認や、適用の際の留意点の抽出を行う。特に、実験装置のパラメータ同定を実施し、重み行列 Q と R の適切な選択を行うことを目標とする。

近年、車の安全性と利便性向上のための先進運転支援システムが注目を集めクルーズ・コントロールや衝突回避技術などに不可欠なセンシング技術が発展している。

そこで，本研究では利便性向上の面で，既存のアクティブサスペンション技術では吸収することのできない最初の衝撃を吸収するために事前に段差を検知しサスペンションを調整することで車の乗り心地を改善することができると考え，ミリ波レーダーを用いて路面凹凸を推定することを目的とした。

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。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。

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。動作原理が後述するRADARと類似しているため、別名レーザーRADAR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RADAR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少し厳しい。[3]

2.3 RADAR

ミリ波RADARは、ミリ波と呼ばれる周波数帯が30GHz～300GHzの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。非常に高い周波数の電波は直線性が強く、電波なのにレーザーのように扱うことができる。この周波数を波長にすると1～10mmとミリオーダーの長さになることから、「ミリ波」と呼ばれている。

ミリ波センサのミリ波は直線性が強いいため、雨や雪が降っている悪天候な状況でも、遠くまで検出することが可能となる。また、ミリ波は光ではなく電波なので、トンネルや対向車のライトが当たるなどのように明るさが急激に変化する条件でも、明るさに左右され

ず検出できる。[4]

2.4 総括

前述した、カメラ、ミリ波RADAR、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。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RADAR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、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。

表2.1に、各種センサーの機能・性能を相互比較した例を示す。[5]

表2.1 表3 各種センサーの機能・性能別相互比較（5段階評価:5がベスト）[5]

機能・性能	LiDAR	レーダー	可視カメラ
近傍の物体検知	2	4	2
測定距離	4	4	5
分解能	4	3	5
暗い場所での動作	5	5	1
明るい場所での動作	5	5	4
雪・霧・雨の際の動作	3	5	2
色彩/コントラスト	1	1	5
検出速度	4	5	2
センサーの寸法	1	5	5
価格	1	5	5

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。そのため、他のセンサと比較して近傍の物体検知と検出速度に優位性があり、かつ安価であるRADARが最適なセンサであると考ええる。

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は環境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． [6]

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。

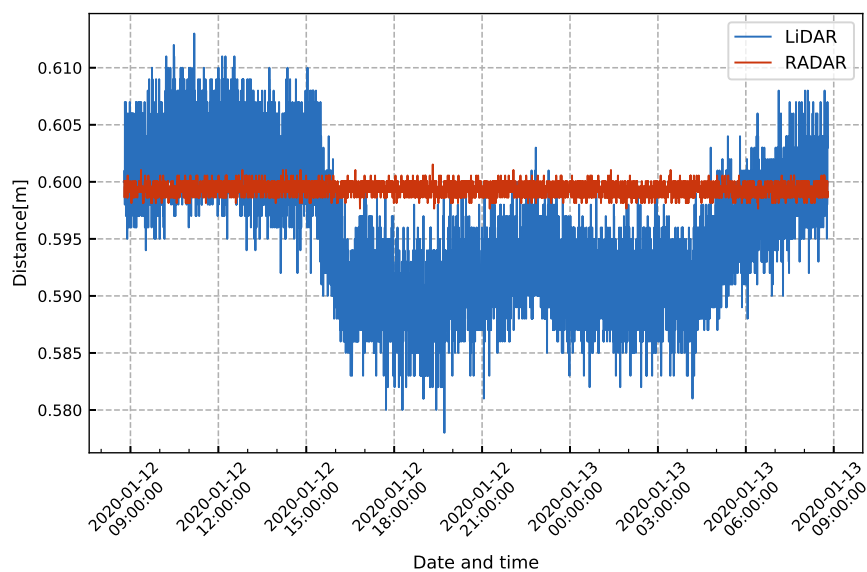


図3.3 LiDARとRADARの測定値の推移

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

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。

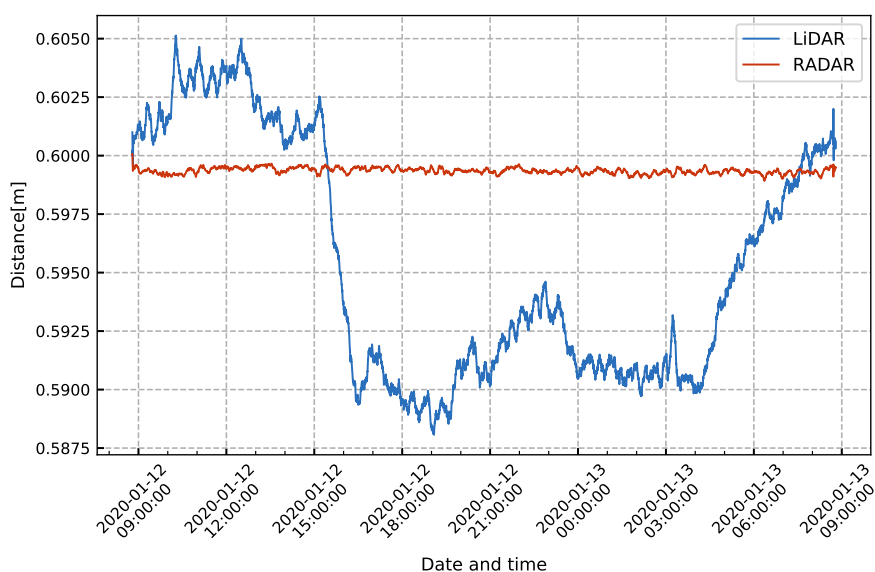


図3.4 LiDARとRADARの測定値の推移（移動平均フィルタ処理後）

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可能性がある。また、測定を行なった部屋では温度、湿度の管理を行なっていなかったため、光以外の環境的要因によって測定値にばらつきが出た可能性も考えられる。

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と比較して外乱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環境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://jidouten-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] ZMP.Autonomous Driving (自動運転) の制御に使われるセンサについて. https://www.zmp.co.jp/knowledge/ad_top/dev/sensor, (参照:2020-01-24)
- [5] 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)
- [6] 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)