

令和元年度 卒業研究論文

モデルベースによる
RADARセンシングシステムの構築
Construction of RADAR sensing system
by model-base

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 16 日

概要

本研究は、車両と歩行者との衝突を回避するための自動減速システムの実現を目的としている。提案システムは現在位置から歩行者の将来位置を予測し、衝突確率を検出することができる。さらに、駆動抵抗やモデリング誤差を補償することができるモデル予測制御を採用したコントローラも提案されている。提案した方法の有効性をシミュレーションと実験を通して検証した。

キーワード： 衝突被害軽減ブレーキ(AEBS), モデル予測制御(MPC), 駆動力オブザーバー(DFOB), カルマンフィルタ

Abstract

The purpose of this study is to realize an automatic deceleration system to avoid collision between vehicles and pedestrians. The proposed system can predict the pedestrian's future position from the current position and detect the collision probability. In addition, controllers using model predictive control that can compensate for driving resistance and modeling errors have been proposed. The effectiveness of the proposed method was verified through simulations and experiments.

Keyword: Autonomous Emergency Braking System (AEBS), Model Predictive Control (MPC), Driving Force Observer (DFOB), Kalman filter

目次

第1章	車載センシング技術	1
1.1	車体モデル	1
1.2	ホイールモデル	4
1.3	摩擦円	4
参考文献		7

第1章

車載センシング技術

1.1 車体モデル

車両と歩行者との衝突はまっすぐな道路上で起こることがほとんどであり，モデルを単純化するために直線運動のみを考慮した車両の車体モデルを図1に示す．

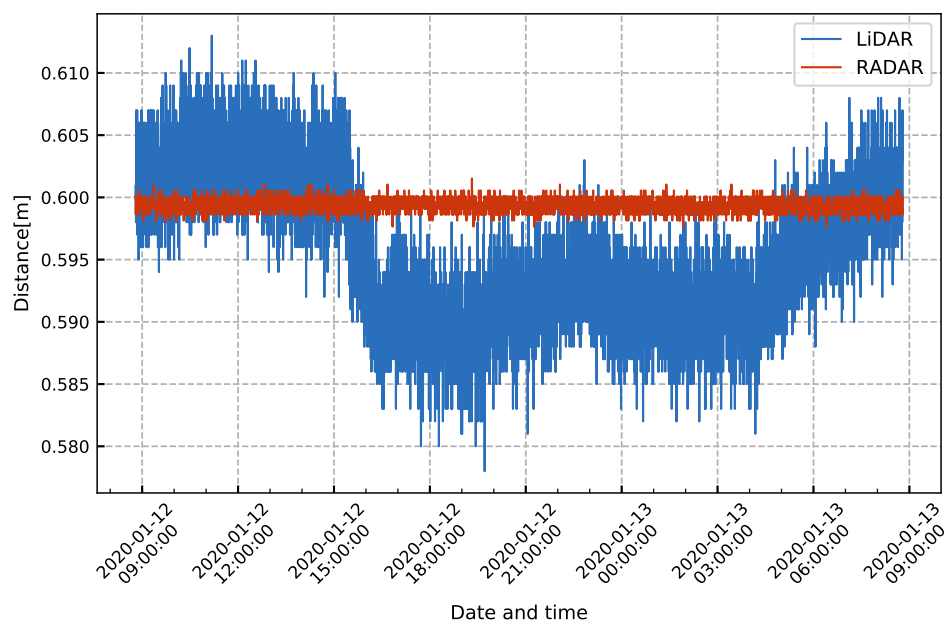


図1.1 LiDARとRADARの比較

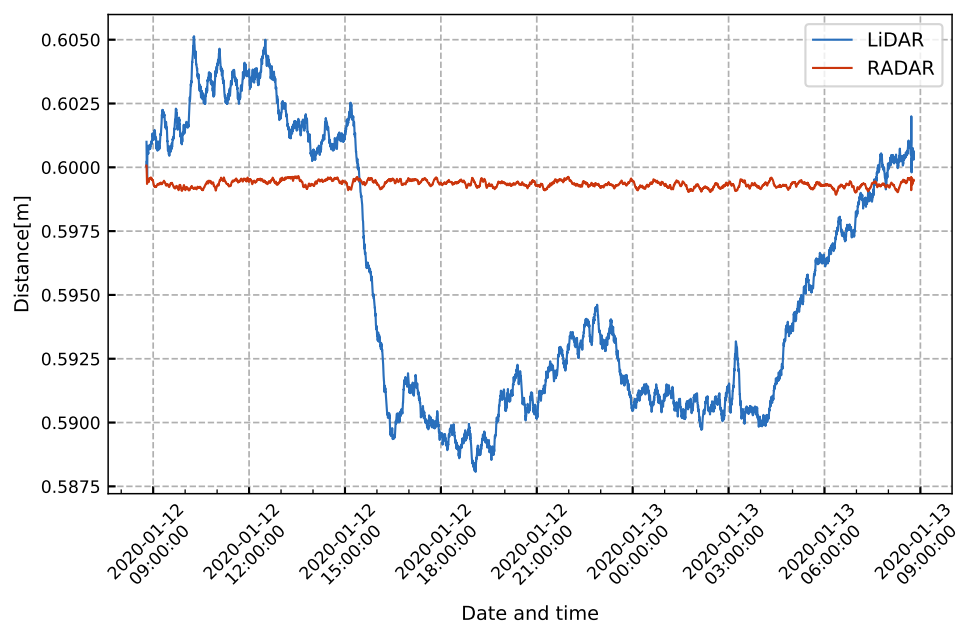


図1.2 フィルタ後

図1に示すように、車両の車体の運動学とダイナミクスは次のとおり。

$$\dot{x} = v \cos(\theta) \quad (1.1)$$

$$\dot{y} = v \sin(\theta) \quad (1.2)$$

$$M\dot{v} = nF_d + F_r \quad (1.3)$$

ここで x と y は車両の位置である。 v , θ , M , n , F_d , F_r は、それぞれ車速、車両角度、車両質量、制御輪数、駆動力、駆動抵抗である。 Σ はワールド座標系を表す。したがって、 Σ の x と y は、それぞれ緯度と経度の位置を示す。一般的に、抵抗力は移動方向に対して反対方向を向いている。ただし、駆動抵抗は正の値でも負の値でも構わない。この論文では、 F_r は F_d と同じ方向を向いている。

ちなみに、本論文の制御法にはモデル予測制御（MPC）を含んでおり、MPCは離散状態で定式化される。したがって、車体モデルの線形移動のみを制限した離散時間状態空間表現は、次のように表される。

$$\mathbf{x}[k+1] = \mathbf{A}\mathbf{x}[k] + \mathbf{B}(u[k] + F_r), \quad (1.4)$$

$$\mathbf{z} = \mathbf{C}\mathbf{x}[k] \quad (1.5)$$

なお

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_s \cos \theta \\ 0 & 1 & T_s \sin \theta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2M} T_s^2 \cos \theta & \frac{1}{2M} T_s^2 \sin \theta & \frac{T_s}{M} \end{bmatrix}^T$$

ここで T_s はサンプリング時間を表している。 $u[k]$ は各車輪の力の合計であり、システムの出力変数は状態変数に等しい。これは、 x , y , v に関する情報を取得できることを示している。日本では準天頂衛星システム（QZSS）などの測位技術の開発により、車両

の位置を高精度に計測できるため，論文はこれらの値が得られると仮定している．

1.2 ホイールモデル

図2に示すホイールモデルのダイナミクスは次のように説明される．

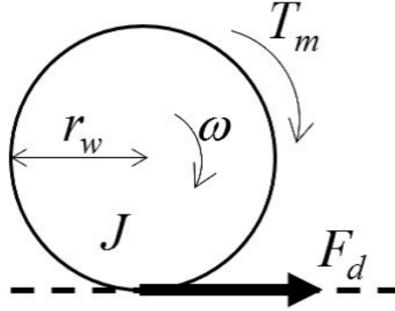


図1.3 車両のホイールモデル

$$J\dot{\omega} = T_m - r_w F_d \quad (1.6)$$

$$F_d = \mu(\lambda) \frac{Mg}{n} \quad (1.7)$$

$$\lambda = \frac{v - r_w \omega}{\max(v, r_w \omega)} \quad (1.8)$$

ここで， J ， T_m ， ω ， r_w ， λ および μ は，それぞれモーターの慣性，モーターまたはブレーキ装置によって生成されるトルク，車輪角速度，車輪半径，スリップ率，および摩擦係数を表している． μ はスリップ率 λ の関数であり， μ は法線力とタイヤ力の比を示していることに注意．

1.3 摩擦円

摩擦円理論によれば，縦力 F_x と横力 F_y を含むタイヤ力は，式（9）となる．

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq \mu_{\max} Mg \quad (1.9)$$

μ_{\max} は最大摩擦係数を示し， g は重力加速度である．式（9）は，縦力と横力の合力に

上限があることを示している。合力が式の右側を超える場合、タイヤがスリップし、ドライバーが車両を制御できなくなる。したがって、スリップ現象を回避するためにはタイヤの力を制御する必要がある。

参考文献

- [1] C. Harris and M. Stephens, "A combined corner and edge detector, " Proc. 4th Alvey Vision Conf., pp.147-151, Manchester, U.K., Aug. 1988.
- [2] S. M. Smith and J. M. Brady, "SUSAN—A new approach to low level image processing," Int. J. Comput. Vis., vol.23, no.1, pp.45-78, May 1997.