

画像処理による車両誘導技術の研究

佐々木 啓

1 はじめに

近年、自動車、建機、農機などの自動運転の実用化に向けた研究が盛んに行われている。自動車の自動運転に代表されるように、母機メーカーのみならず、IT企業など多くの業種が参入しており、高度な知能化によって従来は人に頼っていた機械操作を自動化する研究が進められている。当社が扱う各種製品でも、この自動化・知能化の流れに沿って、母機メーカーにシステム提案をしていく必要がある。また、比較的安価なカメラが自動運転に利用されることが増えており、カメラの映像から周囲の環境を認識する画像処理技術の重要性が高まっている。

そこで、まずは自動運転の要素技術である、周辺環境認識技術と車両誘導技術、そしてそれらをシステムとして構成する技術を習得するため、自動運転の要素を持ちつつも限定的な環境下で動作する自動車のオートパーキングシステムを研究の対象とした。また、画像処理技術を主軸に自動運転技術を習得するため、カメラを利用して白線のマーカーを認識する白線誘導方式を採用して研究を行った。本稿では画像処理による車両誘導技術について紹介する。

2 システム概要

2.1 白線誘導によるオートパーキングの仕組み

白線誘導によるオートパーキングの入庫・駐車・出庫の流れを図1に示す。車載したカメラで駐車場内に敷設した白線誘導マーカーを認識し、マーカーが示す指示内容に従って自律走行して入出庫を行う。白線誘導マーカーは図2に示すようなマーカーを定義している。オートパーキングの機能を構築するに当たって想定した利用方法は、駐車場入口で降車して車両に入庫を指示することで自動で駐車し、再び乗車する際には事前に車両へ出庫の指示を与えることで駐車場出口前に呼び出すというものである。

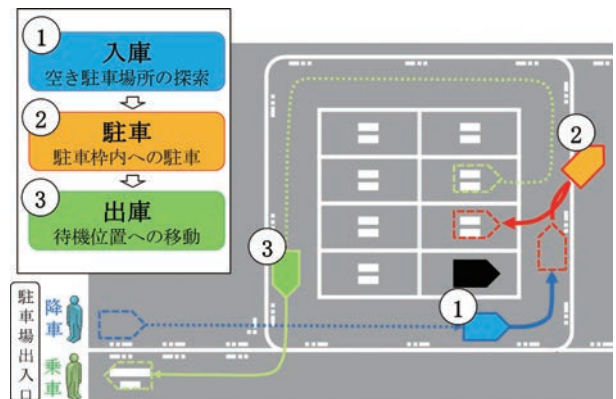


図1 オートパーキングの流れ

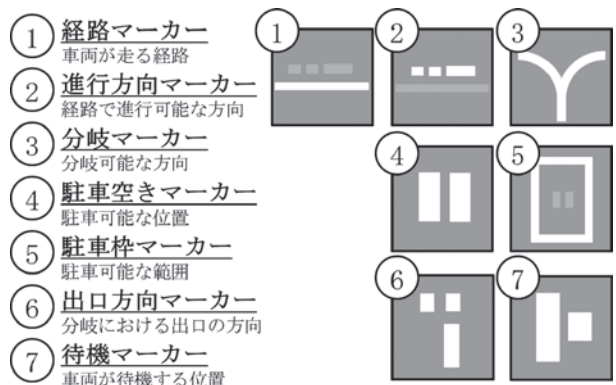


図2 マーカーの一例

2.2 ハードウェアの構成

ハードウェアの構成を図3に示す。ベース車両には研究用にZMP株式会社から市販されている電気自動車RoboCar®MV2自動運転パッケージを用いた。このベース車両はCAN信号によって車両のステアリング、アクセル、ブレーキを制御することができる。このベース車両に、車両の前後左右を撮影する単眼カメラ4台、映像から白線誘導マーカーを認識するための画像処理PCと、認識した結果を元に車両のステアリングなどの操作系を制御する車両制御PCを搭載した。

本研究では、カメラで撮影した白線誘導マーカーを認識するマーカー認識プログラムと、認識結果を

元に車両を誘導する車両制御プログラムを作成した。それぞれのPCにはオープンソースのOSと画像処理ライブラリを利用している。

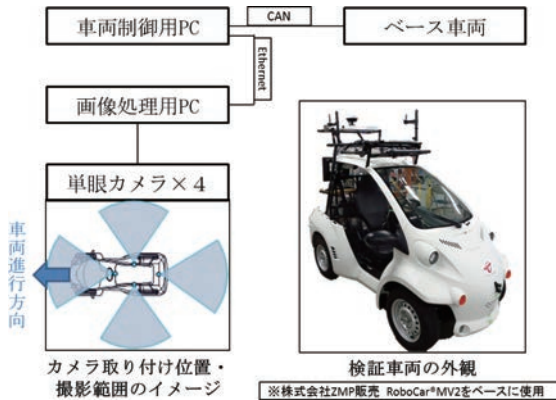


図3 ハードウェア構成

3 車両誘導の仕組み

車両の誘導は、一定周期で認識される各種白線誘導マーカーの位置・角度・種類から車両の目標軌道を生成する。この目標軌道に追従するためのステアリングやアクセルなどの指令値を計算し、CAN経由でベース車両側に送信して車両を制御している。

経路へ追従する際の車両制御の流れを図4に示す。まず前方のカメラで捉えた経路マーカーの車両に対する位置と角度を認識し、経路からの横方向の偏差を修正して経路と車両が水平になる目標軌道を生成する(図4中①)。この時、走行の始点と終点での車両の位置と角度をつなぐクロソイド曲線^{注1)}を計算して目標軌道を生成している。この目標軌道に追従して走行し、目標地点に到達時にマーカーの認識結果を確認する(図4中②)。その後も同様に一定周期でマーカーが認識されたタイミングで経路への追従を行う(図4中③、④)。

分岐マーカーを検出した場合には、分岐マーカーの位置と角度と分岐可能な方向の情報から、分岐可能な方向へ旋回する軌道を生成して分岐を行う。

駐車空きマーカーは左右方向に取り付けたカメラで認識し、認識した段階で駐車動作へ移行する。駐車動作では、駐車空きマーカーを後方のカメラで捉えられる位置まで移動し、その後後方のカメラで駐車空きマーカーの位置を再度確認して軌道を生成し、駐車空きマーカーの真上へと駐車する。

注1) 一定車速で走行中の車のハンドルを、一定の速さで切り込んでいく時に車が描く軌道と近似される曲線。

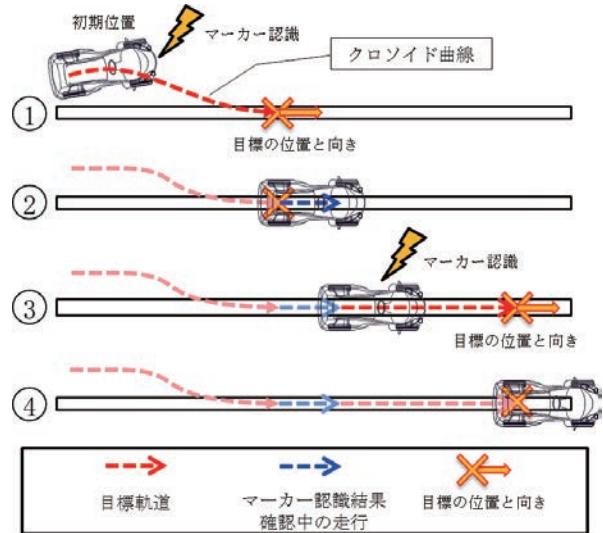


図4 経路への追従走行の流れ

4 画像処理の流れ

マーカー認識での画像処理の流れを図5に示す。画像処理は主に前処理、本処理、後処理の3つに分類される。カメラから取得した画像(図5中①)に対して、前処理では路面を真上から見た鳥瞰画像へ変換(図5中②)し、白線を抽出するためのフィルタ処理(図5中③)を行う。本処理では、抽出された白線の輪郭を検出(図5中④)し、形状・位置を元に白線誘導マーカーの認識(図5中⑤)を行う。後処理では、認識したマーカーの位置と角度の座標変換(図5中⑥)などを行う。

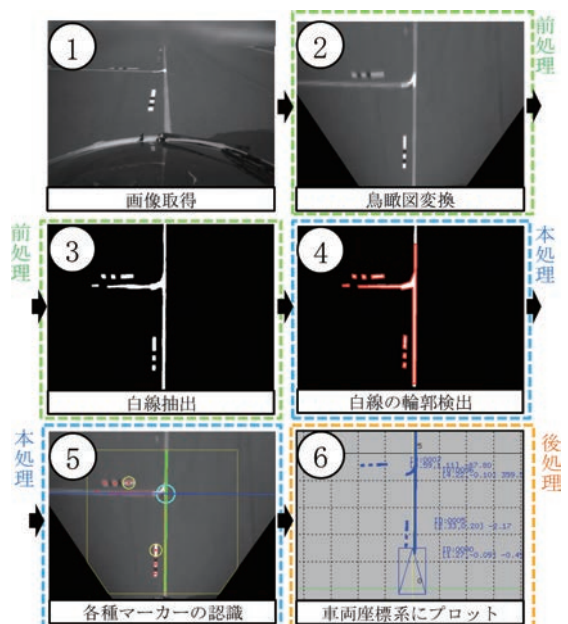


図5 マーカー認識での画像処理の流れ

5 画像処理の要素技術

画像処理での本処理は、輪郭検出と、本報ではグリッドテンプレートマッチングと呼称する手法を利用して各種マーカーを認識する。

5.1 輪郭検出によるマーカー認識

輪郭検出は、画像中の特定領域の形状・位置を検出する処理のことである。この処理で、白線の検出と各種白線誘導マーカーの種類の認識を行う。

検出した白線の輪郭検出の様子を図6に示す。まず、画像を白と黒の2色に変換する二値化処理によって白線を抽出する。次にこの白線抽出画像から白線の輪郭検出を行う。検出した輪郭のうち、四角形だけを白線誘導マーカーの候補として抽出する。この時、四角形に近い輪郭も四角形に近似している。

抽出した白線の輪郭の形状（輪郭長、各辺の長さなど）、それぞれの位置関係から、各種マーカーの種類を認識する。一例として、進行方向マーカー（経路マーカーに対して車両が進める方向を定義するマーカー）を認識する流れを図7に示す。進行方向マーカーは、大小3つの長方形が並んだ形をしている。この形状と配置と同じ条件の白線を画面中から探索し、条件が一致したならば、その白線を進行方向マーカーとして認識する。

経路マーカーについては、画像中の下端から伸びる細く長い白線を検出して認識する。

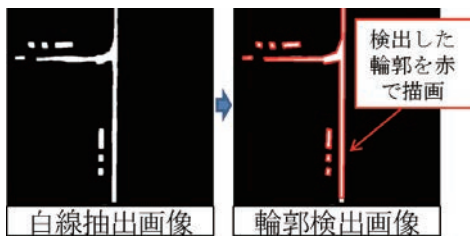


図6 画像中の白線の輪郭検出

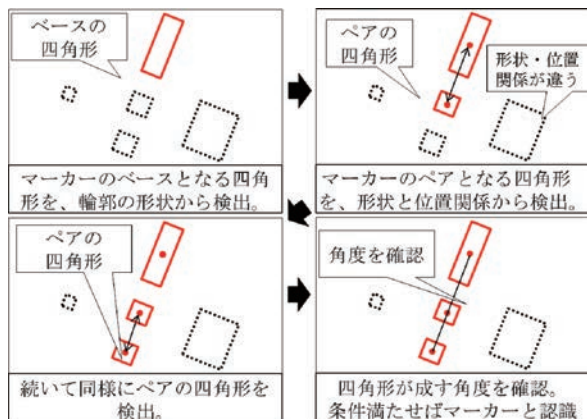


図7 輪郭からマーカーを認識する過程

5.2 グリッドテンプレートマッチングによる分岐マーカー認識

分岐マーカーは曲線部分を持つ独自の形状である。進入方向から曲線もしくは直線で滑らかにつながっている方向に進行することができる。この独特の形状の特徴を認識する必要がある。そこで、図8に示すような①～⑨の9つの複数の領域にマーカーを分割するグリッドセンサと呼称する仕組みを用いる。グリッドセンサは、分岐マーカーの中心を通る白線と、そこから分岐する曲線を捉えやすいように、中央は狭く、両端は広く領域を設定している。また、図8中にあるように領域内の白線の有無で事前に条件を設けて分岐マーカーの候補を絞ることで、パターンマッチングの誤認識率と処理負荷を低減させている。

このグリッドセンサで画面内を探索し、図9に示すような各領域に白線が有るかどうかのパターンとマッチングすることで、分岐マーカーの検出とその分岐の種類を認識する。

また、グリッドセンサによる画面内の分岐マーカーの探索は、前述の輪郭検出で認識した経路マーカーに沿って行うことで、効率的に探索を行い、同時に誤認識を低減している。

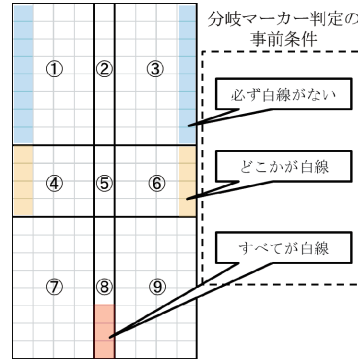


図8 グリッドセンサ

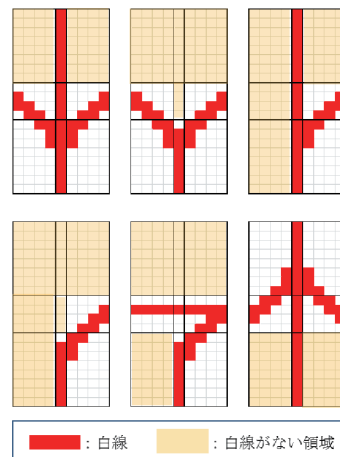


図9 分岐マーカーのパターン一例

6 実験結果

オートパーキングの動作を確認するため、当社テストコースにて模擬駐車場を敷設して実証評価を行った。敷設した模擬駐車場の外観の概略図を図10示す。また、模擬駐車場での実験の様子を図11に示す。

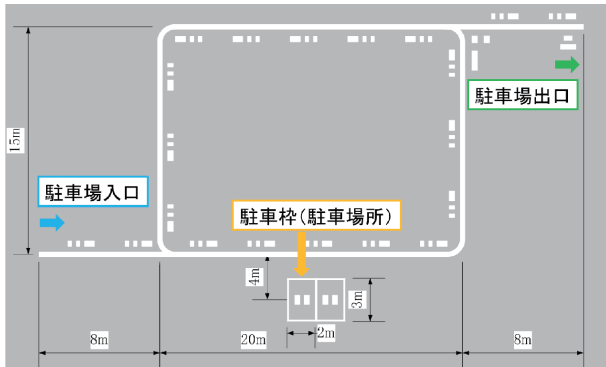


図10 模擬駐車場概略図



図11 模擬駐車場での実験の様子

入庫後に駐車場を一周探索したのちに駐車空きを見つけて駐車し、ユーザーの指示を受けて出口まで出庫する動作を確認した。この時、一度駐車枠の前

を通過した際には駐車空きマーカを隠し、一周後に再度駐車枠の前を通過する際にはマーカを出現させたことで、前述した動作を行わせた。走行速度は十分に安全を考慮した徐行速度を想定して約5 [km/h] に設定した。

評価の結果、配置した白線誘導マーカの指示に従って走行し、入庫・駐車・出庫が可能であることを確認した。

経路への追従精度は平均約43 [mm] で、駐車位置の精度は平均で左右方向に約34 [mm]、前後方向に約174 [mm] という結果になった。全体的に発生した誤差は、車体の走行中の振動が主な原因と分かった。また、駐車時の前後方向の誤差は、前進時と後退時で車両挙動が異なる物理的な特性を車両誘導制御に反映できていなかったことが原因と分かった。

7 おわりに

本研究では自動化・知能化に向けたシステム提案の足がかりとして、画像による周辺環境認識技術と車両誘導技術からなる白線誘導によるオートパーキングのシステムを構築した。認識精度や車両誘導の精度に課題が残るものの、模擬駐車場に対して実際に車両を用いて駐車が可能であることを確認できた。

今回習得した自動運転の要素技術は、車両のみならず建機や農機といった広い範囲で応用が期待できる。今後は習得した画像処理による周辺環境認識技術や車両誘導技術の知見を、当社の各種製品へ応用していく予定である。

著者



佐々木 啓

2012年入社。技術本部基盤技術研究所運動制御研究室。主に運転支援に関する画像処理技術の開発に従事。