

# 動的障害物を回避する知的自動駐車システム

## Dynamic Obstacle Avoidance Intelligent Parking System

白 東生  
Dongsheng Bai

安信 誠二  
Seiji Yasunobu

筑波大学 機能工学系

Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

**Abstract:** Recently, the number of driving license holders increases as the number of the car increases, too. However, enough experience and knowledge are necessary to drive the vehicle with nonholonomic character. The operation of parking and vehicle avoidance etc. is difficult for a beginner or a person not good at driving. Especially, as dynamic obstacle, the running vehicles are many in the environment of the parking lot. As a result, the possibility of colliding with dynamic obstacle has increased. To park safely, in this paper, an intelligent parking system that has the dynamic obstacle avoidance facility is proposed.

## 1 はじめに

近年、自動車台数の増加に伴い、非熟練運転者が増加している。自動車は非ホロノミックな特性を持つため、車両を運転するには十分な経験と知識が必要である。初心者や、運転が苦手な人にとって、車庫入れ・車両回避等の操作は困難である。そこで、車庫入れに応用する走行支援 [1] についての研究が提案されているが、動的障害物はまだ考慮していない。特に、駐車場においては、走行している車両などの動的障害物が多く、走行経路が複雑で、走行スペースが狭い所もあり、動的障害物と衝突する可能性が大きい。そのため、動的障害物を回避する機能を持つ自動車の知的自動駐車システムの開発が課題である。

本研究では、熟練運転者の運転知識や経験を組み込み、現在の操作の安全度を考慮し、それに応じて走行方策を変更し、動的障害物を回避する自動車の知的自動駐車システムについて提案する。

## 2 熟練者の運転知識

ここでは熟練者の動的障害物を回避する運転知識を解析する。

### 2.1 環境の監視

動的障害物を回避するために、熟練者は、周囲の環境、自車両の状態、特に動的障害物の速度、位置、動的障害物との距離などの様々な要素を監視する。

### 2.2 目標と走行方策の設定

車庫入れと動的障害物回避の二つの目的を達成するために、熟練者は車庫入れを行うための走行目標を設定すると共に、動的障害物と衝突するかどうかを考える。駐車途中で動的障害物と衝突する可能性があれば、熟練者は動的障害物を回避する走行方策を設定する。

### 2.3 将来状態の予測

熟練者は、自車両の現在の状態のみを基に操作を行っているのではない。動的障害物との距離が詰まってくるとブレーキを踏んで速度を落とすが、それは「現在の速度を維持すると、動的障害物に衝突するので速度を落とす。」という具合に、将来状態の予測を行いながら運転を行う。

## 3 予見ファジィ制御 [5]

システムの自動走行部で用いている予見ファジィ制御について述べる。この方式では、システム状態の観測値をもとに、制御則に仮定された候補値について、制御目的となる被評価量を予見・予測し、多目的評価のファジィ推論を行い、最適な制御指令を決定する。具体的には、対象システムの特性を把握した操作者の経験則から「もし (*If*) 制御入力  $\Delta u$  を  $C_i$  と変化した場合、評価指標  $x$  は  $A_i$  であり、評価指標  $y$  は  $B_i$  であるならば、(*then*) 制御入力  $\Delta u$  を  $C_i$  とする。」といった制御規則に基づき、もっとも望ましい状況に制御できる制御指令を選択していく。この予見ファジィ制御の制御則を一般的に示すと、

If ( $\Delta u$  is  $C_i \rightarrow x$  is  $A_i$  and  $y$  is  $B_i$ )  
 then  $\Delta u$  is  $C_i$  ( $i = 1, N$ )

となる。図1に予見ファジィ制御の図を示す。この方式は対象システムの現在状況に応じて、その時点で適切な制御指令を決定する処理を行う。操作器が曖昧な操作を行う場合でも、その操作に対応することが可能である。また、制御目的を常に考慮しながら制御指令を決定するため、人間にとって制御状況がわかりやすいシステムの構築が可能である。

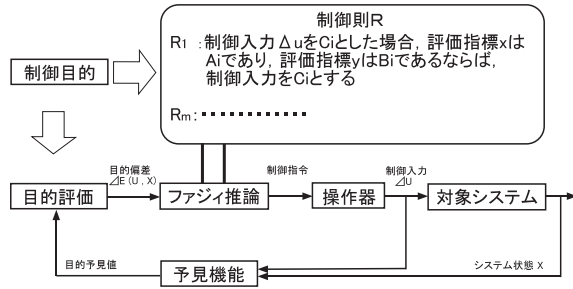


図1: 予見ファジィ制御

## 4 システムの構成

本研究で熟練運転者の運転知識を組み込んだ知的自動駐車システムは、図2に示すような状況監視部、目標設定部、走行方策生成部、自動走行部から構成する。

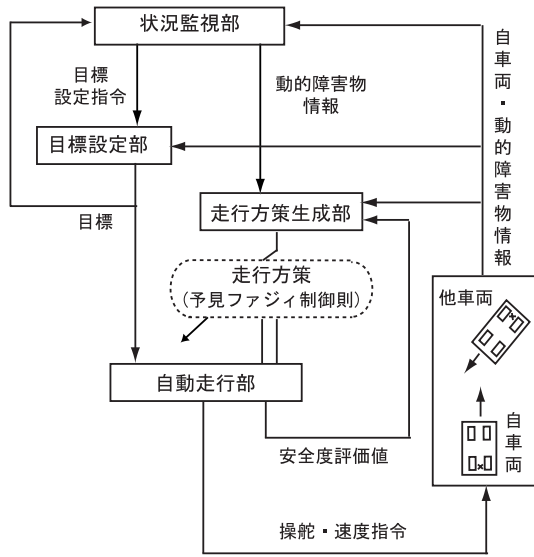


図2: 知的自動駐車システムの構成

### 4.1 状況監視部

状況監視部では、自車両の速度や位置、向き、目標到達、及び動的障害物の速度や位置、向き、動的障害

物との相対距離、相対速度、車庫壁面と動的障害物への接触等の監視を行い、その情報を出力する。

さらに、新たな目標が必要かどうかを判断する。必要であれば、目標設定指令を出力する。

### 4.2 目標設定部

目標設定部は、状況監視部から目標設定指令を受け、自動車の走行特性や最終目標との相対関係を考慮し、あらかじめ与えられたルールを用い、状態評価ファジィ推論により、目標を設定する。

目標設定の手順は以下のようになる。

- 現在状態と最終目標との差により戦略を決定する。
- 戦略に従って可動領域を考慮した戦略目標を設定する。
- 戦略目標と現在状態との差により大まかな走行経路を決定する。
- 走行経路と動的障害物、車庫壁面情報に基づいて自動車の走行特性を考慮した途中目標を算出する。

#### 4.2.1 戦略目標の設定

戦略目標とは、大局的な目標であり、現在状態を基に自動車の走行特性と可動領域を考慮し、各戦略の理想的な達成状態である。

#### 4.2.2 途中目標の算出

戦略目標と現在状態の相対関係を評価するために、戦略目標の位置を原点とし、戦略目標の向きを  $y$  軸とするような座標系を用い、現在状態と戦略目標との  $x$  軸方向の差  $\delta x$  と  $y$  軸方向の差  $\delta y$ 、向きの差  $\delta e$  を求める。最終目標に操作角  $\phi=0$  で到達可能な場所を途中目標とし、そこから最終目標に到達するには直進のみで良いと考える。この時、 $y$  座標は考えなくても良いので、 $\delta x$  を横軸、 $\delta e$  を縦軸に取る  $\delta x$ - $\delta e$  平面を考える。決定される大まかな経路は、この平面上で  $\delta e$  軸に対して対称である。戦略目標へ到達する経路は、 $\delta x$ 、 $\delta y$ 、 $\delta e$  入力とする状態推定ファジィ推論を用いて決定する。この経路をたどって戦略目標へ到達すると仮定し、自動車の軌跡が円を描くという大まかな自動車の走行特性を利用し、動的障害物との関係を考慮し、途中目標を算出する。

### 4.3 走行方策生成部

走行方策生成部は、目標への走行途中の環境状況により、自動走行部から伝えられた操作指令の「安全度」評価値を用い、動的障害物回避の必要性を判断し、走行方策を生成する。本研究では、走行方策は予見ファジィ制御則の集合である。

本研究では、3通りの走行方策を設定した。

#### 4.3.1 方策1(やや安全状況運転)

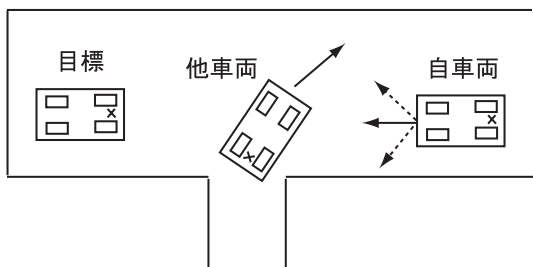


図 3: 方策 1

状況監視部から伝えた動的障害物情報により、動的障害物回避の必要性があり、操作指令の安全度評価値が大きい状態で、自車両が前進で動的障害物を回避しつつ正確に目標に到達することを目的とする 13 種類の操作候補からなる制御則を設定した。例えば、図 3 の環境で、自車両は前進で他車両を回避しながら、正確に目標に到達する。

#### 4.3.2 方策2(危険状況運転)

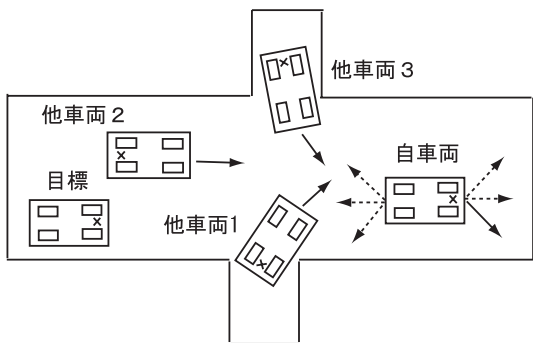


図 4: 方策 2

状況監視部から伝えた動的障害物情報により、動的障害物回避の必要性があり、操作指令の安全度評価値が極めて小さくなったと判断した場合に動的障害物回避に主眼を置いた走行方策である。この方策には、各方向に向かう 13 種類の操作候補からなる制御則を設定した。例えば、図 4 の環境で、自車両は左後の方向に後退で他車両を回避する。それから、自車両が一時停止して安全になってから前進で目標に到達する。

#### 4.3.3 方策3(安全状況運転)

状況監視部から伝えた動的障害物情報により、動的障害物回避の必要性がない場合には、自車両が自動駐車を行う方策である。この方策には、自動駐車を行う 10 種類の操作候補からなる制御則を設定した。

### 4.4 自動走行部

自動走行部では、予見ファジィ制御によって、「今この操作を行えば～に到達するだろう、ならばこの操作を行う」といった知識に基づき、車両の現在状態から、各操作候補で操作した将来の状態を予見する。

予見後の自車両状態と途中目標との距離偏差 ( $dp$ )、向きの偏差 ( $d\theta$ )、車庫壁面と予見後の車体の前または後、左、右との距離偏差 ( $dbump$ 、 $dleft$ 、 $dright$ )、及び自車両の予見状態と予見後の動的障害物との相対距離 ( $dl$ )、相対速度 ( $dv$ )、相対速度の向き ( $dv\theta$ ) を算出する。さらに、相対距離 ( $dl$ ) と相対速度の向き ( $dv\theta$ ) を入力とする状態ファジィ推論により操作候補の安全量を算出する。

次に、以上の予見結果を被評価値とし、この被評価値を”Good”や”VeryGood”といったメンバシップ関数を持つファジィ集合により評価する。操作候補評価値が最も高い操作候補を操作指令とし、出力する。同時に、この操作指令の安全度評価値を走行方策生成部に伝える。

ここで、評価項目はそれぞれの走行方策によって異なる。方策 1 に対して、操作予見値は目標達成度 (目標との位置偏差、向き偏差)、車庫壁面との距離 (車庫壁面と予見後の車体の前または後、左、右との距離偏差)、動的障害物との安全度の 6 つの評価項目で評価される。方策 2 に対して、操作予見値は目標達成度 (目標との位置偏差)、車庫壁面との距離 (車庫壁面と予見後の車体の前または後、左、右との距離偏差)、動的障害物との安全度の 5 つの評価項目で評価される。方策 3 に対して、操作予見値は目標達成度 (目標との位置偏差、向き偏差)、車庫壁面との距離 (車庫壁面と予見後の車体の前または後、左、右との距離偏差) の 5 つの評価項目で評価される。

## 5 シミュレーション

### 5.1 知的自動駐車シミュレーション

本研究では、まず知的自動駐車制御だけのモデルを MATLAB (MathWorks 社) で作成し、コンピューターでシミュレーションを行った。

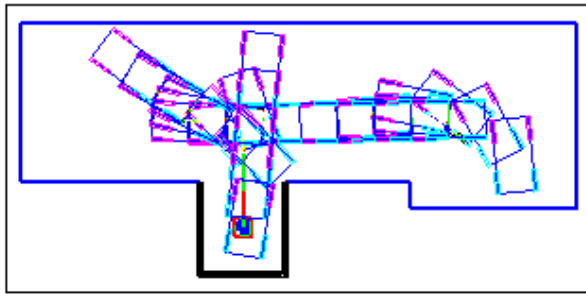


図 5: 知的自動駐車シミュレーションの結果

前提条件：

- 車庫の形状は既知である。
- 車両は低速で走行する。
- 動的障害物は存在しない。

図 5 にシミュレーションの結果を示す。この知的自動駐車システムを用い、自動車の自動駐車機能を実現した。シミュレーションの結果から、この知的自動駐車システムの有効性について確認した。

## 5.2 動的障害物を回避する知的自動駐車シミュレーション

以上の知的自動駐車システムに基づいて、動的障害物回避の機能を追加し、動的障害物を回避する知的自動駐車モデルを MATLAB で作成し、コンピュータでシミュレーションを行った。

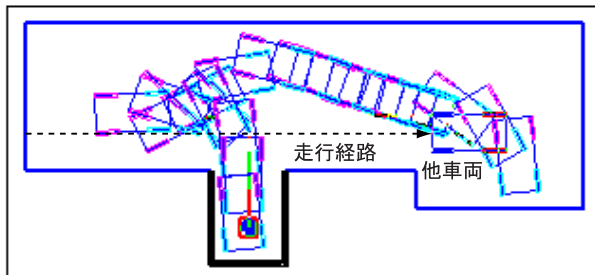


図 6: 動的障害物を回避する自車両の知的自動駐車軌跡

前提条件：

- 車庫の形状は既知である。
- 車両は低速で走行する。
- 動的障害物としての他車両は一台である。
- 他車両は左から右まで直線走行、速度一定である。

図 6 にシミュレーションの結果を示す。自車両が動的障害物情報と現在の操作指令の「安全度」評価値により、方策 1 を用いて前進で動的障害物を回避した。動的障害物回避の必要性がない場合に、自車両が走行方策を変更し、方策 3 を用いて自動駐車を実現した。シミュレーションの結果から、この環境での動的障害物を回避する知的自動駐車システムの有効性を確認した。

## 6 おわりに

本論文では、熟練運転者の運転知識や経験を組み込み、現在の操作の安全度を考慮し、それに応じて走行方策を変更し、動的障害物を回避できる自動車の知的自動駐車システムについて提案した。さらに、知的自動駐車制御及び動的障害物を回避する知的自動駐車制御についてのシミュレーションを行い、シミュレーションの結果により提案するシステムの有効性を確認した。

## 参考文献

- [1] 武藤 裕美, 安信 誠二:福祉車両の走行支援情報提供システムの提案,17th Fuzzy System Symposium,pp.245-248,2001
- [2] 江口 陽春, 武藤 裕美, 安信 誠二:福祉車両の走行支援システムにおける障害物回避機能の構築, 第 16 回ファジィ・ワークショップ,pp.1-6, 2001
- [3] 藤井 俊弘, 安信 誠二:自律走行システムにおける予見ファジィ制御を用いた動的障害物の回避, 産業計測制御研究会資料,pp.55-60,1998
- [4] 久保田 直行, 森岡 利人, 小島 史男, 福田 敏男: 動的環境下における移動ロボットのファジィ制御, 日本ファジィ学会誌, Vol.12, No.1, pp.55-63, 2000
- [5] 安信 誠二:ファジィ工学, 昭晃堂, 1991