

ソフト制御による電動四輪車の自動運転システムの開発

-動的障害物の回避-

Intelligent Soft Driving System for Four-wheeled Vehicle

-Elusion of Dynamic Obstacles-

井上 真樹

Masaki INOUE

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 There are electric four-wheeled vehicles to assist senior persons. Because of the vehicles' dynamical characteristic such as impossible to move abeam, it is difficult for these persons who has little experience and has little knowledge to drive. Also to judge the future state of dynamical obstacles and to decide how to elude them safely are more difficult. We installed the predictive fuzzy controller (evaluates the future states which several kinds of operation candidates were done and chooses the best one) that modeled humans' algorithms in the system. Human predicts the future states of dynamic obstacles and chooses an operation(wait, steer, go back, etc) to elude safely. To elude dynamic obstacles flexibly, we added expert's knowledge for safe driving to this controller. In this paper, we propose the intelligent soft driving system by the controller that can elude dynamic obstacles safely, and we confirm the effectiveness by a simulation experiment.

1 はじめに

高齢者等の移動を補助する目的で、電動四輪車(図1)が市販されているが、その運転には切りかえしなどの知識・技術が必要である。しかし、その利用に免許等の取得が不要であるため、車両の動特性を十分に理解できていない利用者が数多く存在する[1]。そこで、知識・技術が不十分な利用者にも、四輪車を利用できるよう操作支援システム[2]等が研究されている。特に、近所への買い物などで利用する場合、他の交通参加者に配慮した運転を行う必要がある。文献[3]によると、多くの高齢ドライバーは、動的障害物が存在する交差点の右左折や車線変更などを苦手としていることが分かっている。その理由は、自車両の運転操作だけではなく他車両や歩行者などの動的障害物の挙動に注意を払わなければならない事、身体的衰えによって機敏な操作ができない事が原因であると考えられる。そのため、これらの電動四輪車の自動運転化・運転操作支援には、動的障害物への対応が欠かせない。

これまでに、我々は人間の運転知識をコンピュータに組み込むことで、人間の意志を受け入れ協調する自動運転システム[4]を開発してきた。本稿では、このシステムをベースに動的障害物に柔軟に対処する機能を付加したソフト制御による電動四輪車の自動運転システムを提案する。



図1: 電動四輪車と動的障害物(歩行者)の例

2 人間の運転知識

本研究では、前輪操舵の四輪車を扱う。この四輪車はハンドルによる操舵とアクセル・ブレーキによる速度指令により運転する。このため真横に移動できない等の動特性を持ち、運転には熟練と経験(切りかえしなど)が必要である。また、その非線形性から自動制御することが難しい。

我々は、人間と一致した運転知識により、人間が容易に理解できる動作によって、安心して利用可能な自動運転を実現するため、人間の運転アルゴリズムを分析した。その結果、人間は「車両と道路の状況を監視」しながら、「車両の動特性を考慮し目的地までに通過すべきポイント

設定」し、「車両・障害物の将来の状態を予見しながら上手い運転」をしている。さらに動的障害物が存在する場合は、周囲の状況や動的障害物の動作予測結果から、安全に回避できるような操作を行っている。

以下では、人間の運転知識を3層に分ける。

状況監視

人間は、周囲の状況や自車両の現在状態、設定した目的地に到達しているか向かっているかどうかを監視する。

目標設定

人間は、車の持つ真横に移動できない等の動特性を考慮しながら、現在の位置から目的地に達するために通るべきポイント(目標)を設定する。また、目標に到達するために、前進するか後進するか判断する。

運転操作

人間は、実際に舵角操作を行う前に、その舵角操作を実行したとしたら自動車の将来状態がどうなるか予見し、安全に目標までうまく到達できるような操作を選択する。例えば、人は「ハンドルを少し切る」、「ハンドルを切らずに進む」などの操舵候補に対して、「だいたい目標に到達できる」、「うまく目標に到達できる」という曖昧な評価をしている。また、自車両と動的障害物の将来状態を予見して、「一旦停止(やり過ごす)」、「減速(やり過ごす)」、「現在の速度を保持して操舵(操舵回避)」、「バック(後退回避)」といった安全に目標に達成できるような候補を選択している。動的障害物が停止した場合には「右に大きく操舵」から「右に小さく操舵」に、動的障害物が加速した場合には「直進、減速」から「一旦停止」といったように、現在の状態や予見した将来の状態にあわせて安全で目標に到達できそうな操作を行っている。

3 システム構成

人間の持つ安全な運転操作を行うための知識をコントローラに導入するため、前章のアルゴリズムを3階層に分割した階層型ファジィコントローラを設計し、図2に示すシステムを構築した。動的障害物の状態は、制御周期毎に座標値 $(x_{obs}, y_{obs}, \theta_{obs})$ が与えられ、その形態が車両の場合は座標値から舵角 ϕ_{obs} を計算する。

3.1 状況監視部

状況監視部では、目標設定部で設定された目標に向かって進みつつあるか、到達したかどうかを監視している。目標に到達していなければ現在の目標を維持し、到達していれば次の目標設定部に目標設定指令を送る。同時に、静的障害物・動的障害物との接触を監視している。

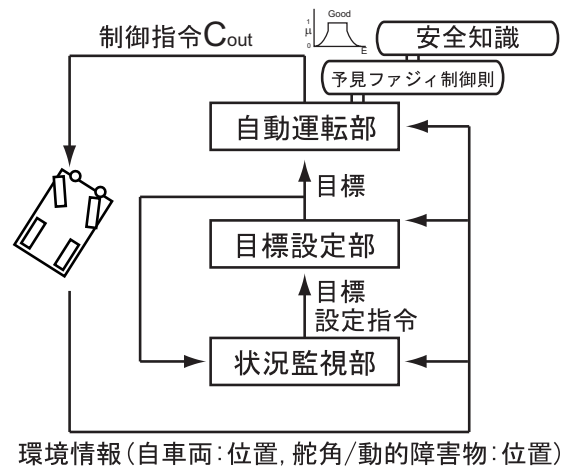


図2: システム構成

3.2 目標設定部

人間は最終目標に到達するまでに、車両の動特性を考慮していくつかの目標を設定している。目標設定部では、目標設定指令を受信した時に、車両の現在位置と最終目標との位置関係から目標を設定する。これらの目標設定アルゴリズムについては、文献[5]で提案されている。

3.3 自動運転部

自動運転部では、制御周期 $100[msec]$ おきに、予見ファジィ制御を用いて n 個の操作候補 $C_i (i = 0, \dots, n)$ で、ある時間だけ操作を行ったと仮定したときの将来状態を多目的ファジィ評価することで、安全で目標達成に適した操作指令 C_{out} を選択出力する。

3.3.1 将来状態の予見

図4に示すように、操作候補 C_i で予見刻み幅 Δt だけ操作を実行したときの自車両の将来状態と、動的障害物の情報(位置、速度、舵角)を基に動的障害物の将来状態を予見し、これを予見時間 t_a まで実行する。現在状態から目標までの絶対距離を速度で割ることによって求めた到達予想時間を t_a として用いる。

3.3.2 安全量

絶えず安全な状態でいられるよう、人間は自車両と動的障害物の将来状態を予見し、安全に目的を達成可能な操作を選択している。そこで、コントローラに人間の安全に対する知識を導入するため、本稿では操作候補 C_i で t_a の運転を仮定したとき、その t_a 時間内における自車両と動的障害物との接触の可能性を安全量 $Safe_i$ 、また Δt 毎の自車両と動的障害物との接触の可能性を安全度 y_i と定

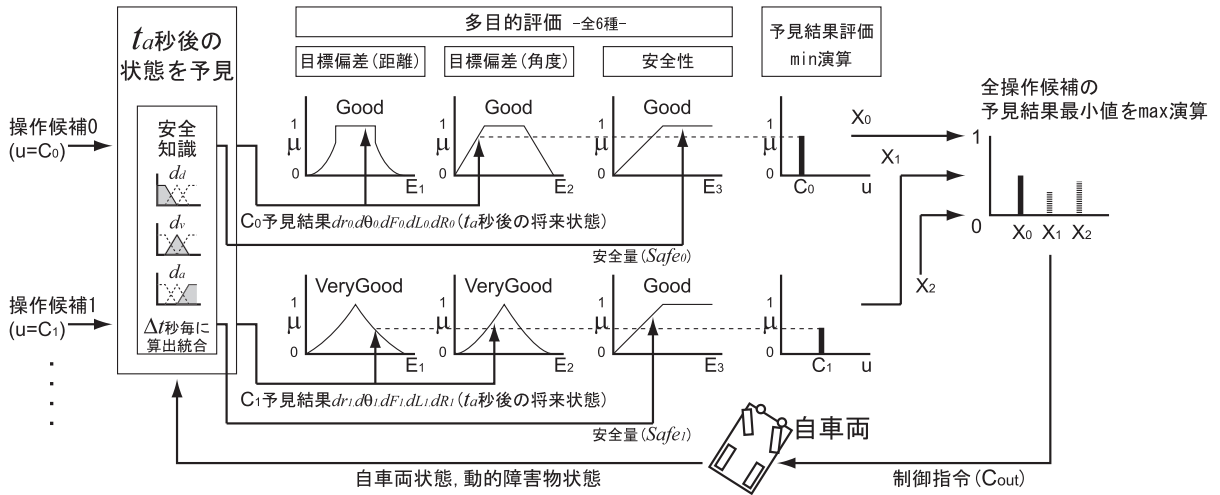


図 3: 予見ファジィコントローラ

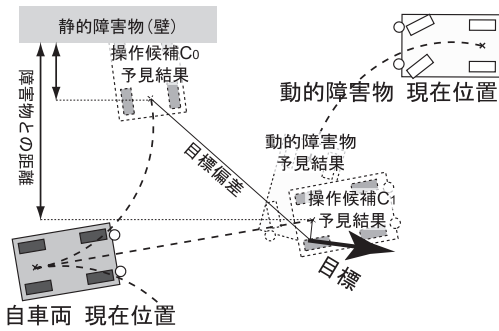


図 4: 予見の例

義する。絶えず安全な状態であるかどうかを判断するため、安全量 $Safe_i$ は、安全度 y_t を t_a の時間分だけ統合することで表現される。人間にとって近未来の安全度は遠未来の安全度に比べて重要な意味を持つことを考慮し、以下の式 (1) に示す安全量算出式においては、時間 $t(\Delta t \times$ 現在の予見ステップ回数) の逆数を掛けることで、近未来の安全度を重要視している。

$$Safe_i = \sum_{t=1}^{t_a} \left(y_t \times \frac{t_a}{t} \right) \quad (1)$$

$$y_t = \frac{\sum_{j=0}^{26} \omega_j D_j}{\sum_{j=0}^{26} \omega_j} \quad (2)$$

$$\omega_j = \mu_{d_j}(d_d) \times \mu_{v_j}(d_v) \times \mu_{a_j}(d_a) \quad (3)$$

人間は、動的障害物との関係が「距離が Small, 速度が Big, 速度の向きが Small(接近)」のとき「非常に危険」といったような曖昧な評価を行っている。表 1 は、「距離が Small」といった人間の曖昧さを定量化した図 5 のようなファジィ集合をもつルール群である。安全度 y_t は、 Δt 毎

(最長 t_a) に、操作候補 $C_i(i = 0, \dots, n)$ を実行したときの自車両の将来状態と、動的障害物の情報 (位置, 速度, 舵角) より算出したその将来状態から、表 1 に示す全 27 種のルールに対する自車両と動的障害物の関係 (相対距離 d_d , 相対速度 d_v , 相対速度方向 d_a) の適合度 ω_j を式 (3) によって求め、式 (2) のようにそれらと安全度 D との積の合計値とする。式 (1) に示すように安全量 $Safe_i$ は、予見時間 t_a 内における、時間的重みを付加した安全度の合計値である。

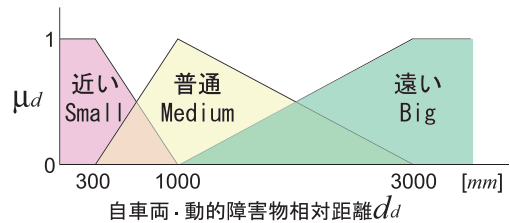


図 5: 相対距離評価メンバーシップ関数 μ_d

表 1: 安全知識

j	$\mu_d(d_d)$	$\mu_v(d_v)$	$\mu_a(d_a)$	安全度 D
0	Big	Big	Big	+ 15
1	Big	Big	Medium	+ 10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20	Small	Big	Small	- 30
21	Small	Medium	Big	- 10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
26	Small	Small	Small	- 15

3.3.3 多目的評価

予見した t_a 後の自車両の将来状態から d_{ri} (目標と将来状態との絶対距離), $d\theta_i$ (目標と将来状態との角度偏差), d_{Fi} (車体前部と静的障害物までの距離), d_{Li} (車体右側面と静的障害物までの距離), d_{Ri} (車体左側面と静的障害物までの距離), を求める. これらの値と安全量の計 6 項目を, 図 3 のように多目的ファジィ評価し, 安全も考慮した総合評価が高い操作候補を制御指令 C_{out} とする.

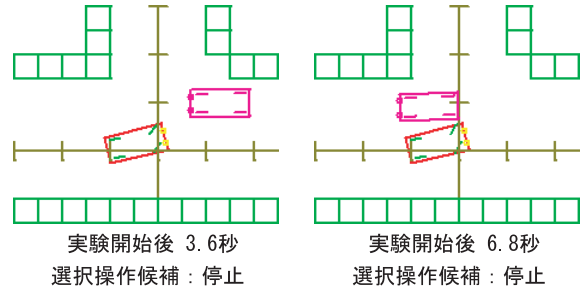


図 8: 回避中の位置関係

4 シミュレーション実験

図 6 に示す環境でシミュレーション実験を行った. 動的障害物は, システムと同形態の四輪車で人間が運転していると仮定し「ほぼ一定速度, ほぼ直進」で前進する. コントローラには, 目的地座標値 $(0, 2, 1.57)$, 静的障害物(壁)の形状, 100[msec] 毎に動的障害物の座標値を与える.

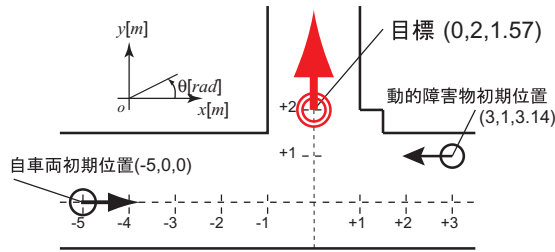


図 6: 実験環境

4.1 実験結果

シミュレーション実験の結果, システムは図 7 に示す軌跡で動的障害物を回避し目標に到達できた.

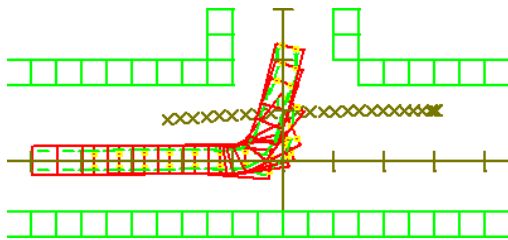


図 7: 走行軌跡

4.2 考察

人間は右折を行う場合, 対向車の進路を塞がない程度まで前進して停止し, やり過ぎてから右折する. 図 8 に示すように, 提案システムは接近する動的障害物の将来状態を予見して, 実験開始から 3.6 ~ 6.8 秒後の間停止することでこれをやり過ぎている. このように, 提案システムは人間の運転知識を用いて人間と同様の自動運転を実行するため, 利用者はその挙動を容易に理解し安心してシステムを利用可能である.

5 おわりに

本稿では, 予見ファジィ制御を用いて人間の運転知識をコンピュータに組み込み, ソフト制御による電動四輪車の自動運転システムに動的障害物の将来状態を予見して安全に回避する機能を追加し, シミュレーション実験によってその動作を確認した. 今後は実機を用いた実験を行い, 本システムの有効性を確認する予定である.

参考文献

- [1] 警察庁: 電動車いすの安全利用に関するマニュアル, <http://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku12/tebiki.htm>
- [2] 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, 第 17 回 ファジィシステム シンポジウム 講演論文集, pp.245-248(2001)
- [3] 高木 修, 蓮花 一己: 交通行動の社会心理学 運転する人間のこころと行動, 北大路書房 (2000)
- [4] S.Yasunobu, M.Inoue: Intelligent Soft Driving System Cooperating with Human, International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA2003-ID-001911, pp.1-4(2003)
- [5] S.Yasunobu, N.Minamiyama: A Proposal of Intelligent Vehicle Control System by Predictive Fuzzy Control with Hierarchical Temporary Target Setting, The Proceeding of FUZZ-IEEE 1996, pp.873-878(1996)

連絡先:

〒 305-8573

茨城県つくば市天王台 1-1-1

筑波大学機能工学系 知的制御システム研究室

井上 真樹

電話: 029-853-6186

E-mail: m_inoue@edu.esys.tsukuba.ac.jp