

動的障害物回避に注目した電動四輪車の知的自動運転システム

Intellectual Auto-Driving System of Electric Four-Wheeled Vehicle that Pays Attention to Dynamic Obstacle Evasion

中川 真仁

Masahito NAKAGAWA

安信 誠二

Seiji YASUNOBU

筑波大学大学院 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

Abstract Recently, the number of accidents for an electric four-wheeled vehicle increases. User's driving skill and knowledge shortage are enumerated as the cause. Especially, it is difficult to judge other traffic participants' movement and to decide the content of the evasive action. Up to the present, we had developed an automatic driving system that can correspond also to a dynamic obstacle by building the driving algorithm based on the predictive fuzzy control into the controller, and adding the driving knowledge to human safety. In this paper, the pavement is assumed as an actual life environment, and the behavior of the automatic driving system was confirmed by the simulation.

1 はじめに

高齢者等の移動を補助する目的で、転倒の心配がなく、利用に運転免許が不要である電動四輪車が市販されている。しかし、その利用者の増加に伴って事故件数が増加している [1]。事故原因の一つとしては、運転知識・技術の不足が挙げられる。特に廊下や歩道を走行する際、歩行者や他の電動四輪車などの動的障害物が存在するため、動的障害物を柔軟に回避しながら安全に運転するという高い運転技術・身体能力が要求されるが、不十分な利用者が多く存在する。多くの高齢者ドライバーは、回避操作の開始までの反応時間や操舵速度が一般ドライバーに比べて低下し、回避を行うためにより長い時間が必要であり、身体的衰えによって機敏な操作が困難であることなどが考えられる [2]。そのため、電動四輪車の自動運転化には、動的障害物への対応が欠かせない。

これまで、運転技術・知識の不十分な利用者にも、安心して利用できるために、電動四輪車を用いて、人間の運転知識をコントローラに組み込んだ自動運転システム [3][4] が研究されてきた (図 1)。これらのシステムは、与えられた目標に対し柔軟に対応しながら自動運転を行う。しかし、これらのシステムは静的な環境におけるものであり、歩行者や他の電動車椅子などの動的障害物への対応は難しい。

そこで我々は、人間の安全に対する知識をコントローラに追加することにより、動的障害物を回避する電動四輪車の自動運転システム [5] を開発してきた。ここでは、このシステムをベースに、実際の生活環境として歩道を想定し、歩道における電動四輪車の自動運転システムを

構築することを目的とする。本論文では、歩道における自動運転システムの動作の状況をシミュレーション実験によって確認する。



図 1: 電動四輪車の知的自動運転システム (ピーシャン・マシナリー社製「Shoprider」に機器を搭載)

2 人間の運転知識

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ら自車両の将来状態がどうなるかを予見し、安全にうまく目標まで到達できるような操作を選択していると考えられる。例えば、「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」、「うまく到達できる」という曖昧な評価を行う。また、自車両を動的障害物の将来状態を予見して、「動的障害物との距離」、「動的障害物との相対速度」、「動的障害物の向き」から、その動的障害物に対する安全性を判断している。この安全性を先に述べた目標到達についての評価に加えることにより、動的障害物を安

全に回避し、うまく目標に到達できそうな操作を行っていると考えることができる。

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、「状況監視部」、「目標設定部」、「自動運転部」からなる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。

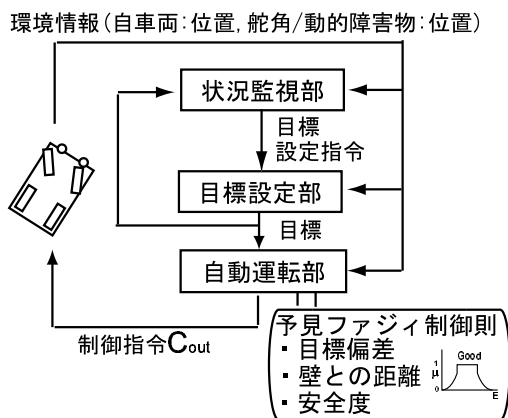


図2: システム構成

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到達したかどうか監視している。目標に到達したとき、または障害物をとの接触などの可能性で途中目標への到達が困難と判断したときには、目標設定部に途中目標設定指令を送る。

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と考えられる。目標設定部では、目標設定指令を受信した際、車両の現在位置を最終目標との位置関係から途中目標を設定する [6]。

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。この多目的評価で評価する項目は、「目標偏差 (距離, 角度)」、「静的障害物 (壁) との距離」、「安全度」である。「安全度」とは、自車両と動

的障害物との距離・相対速度ベクトルから、動的障害物に対する安全性を定量化した値である。

3.3.1 将来状態の予見

図3に示すように、操作候補 C_i で1ステップ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, 速さ, 向き) を基に動的障害物の将来状態を予見し、これを K ステップ実行する。1ステップは Δt 秒間とし、全予見ステップ時間は、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られた到達予想時間 t_a とする。そして、全予見ステップ数は K は、到達予想時間 t_a を予見刻み幅 Δt で割ることで算出する。

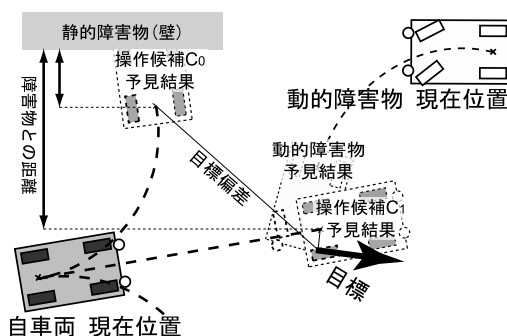


図3: 予見の例

3.3.2 安全度

人間は自車両と動的障害物の将来状態を予見し、安全に目標に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、操作候補 C_i で t_a 時間内の運転を仮定したとき、 $k (k = 0, \dots, K)$ ステップ目の自車両と動的障害物との非接触の可能性を安全度 y_k 、また全予見ステップ中で最小の安全度をその操作候補 C_i の安全度 $SafeG_i$ と定義する。

$$\omega_j = \mu_{d_j}(d_d) \times \mu_{v_j}(d_v) \times \mu_{a_j}(d_a) \quad (1)$$

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

$$SafeG_i = \min(y_1, \dots, y_k, \dots) \quad (3)$$

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4のようなファジィ集合をもつルール群である。各ステップ毎の

安全度 y_k は, 操作候補 C_i 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, 向き) より算出したその将来状態から, 表 1 に示す全 27 種の評価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 $j(j=0, \dots, 26)$ 番目の適合度 ω_j を式 (1) によって求め, 式 (2) のようにそれらと安全度 D_j との積の合計値とする. 式 (3) に示すように操作候補 C_i の安全度 $SafeG_i$ は, 全予見ステップにおける安全度 y_k の最小値である.

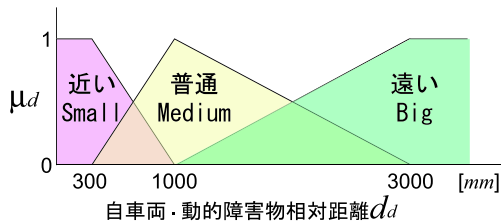


図 4: 相対距離評価メンバーシップ関数 μ_d

表 1: 安全知識

| j | $\mu_{dj}(d_d)$ | $\mu_{vj}(d_v)$ | $\mu_{aj}(d_a)$ | 安全度 D_j |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 0 | Big | Big | Big | 55 |
| 1 | Big | Big | Medium | 40 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 20 | Small | Big | Small | 0 |
| 21 | Small | Medium | Big | 40 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 26 | Small | Small | Small | 25 |

3.3.3 多目的評価

予見した自車両の将来状態から dr_i (目標と将来状態との距離偏差), $d\theta_i$ (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. これらの値と安全度の計 6 項目を, 図 5 のように多目的ファジィ評価し, 安全性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.

4 シミュレーション実験

シミュレーション環境を歩道と見立て, 図 6 のように設定した. 動的障害物について, a) そのまま前進してくる場合と, b) 途中で左折する場合の 2 通りのシミュレーションを行った. 動的障害物は, システムとほぼ同形態の

四輪車とし, 「ほぼ一定速度」で走行する. コントローラには, 目的地座標値 $(2.0, 1.2, 0)$, 静的障害物の形状, とともに 100[msec] 毎に動的障害物の座標値を与える.

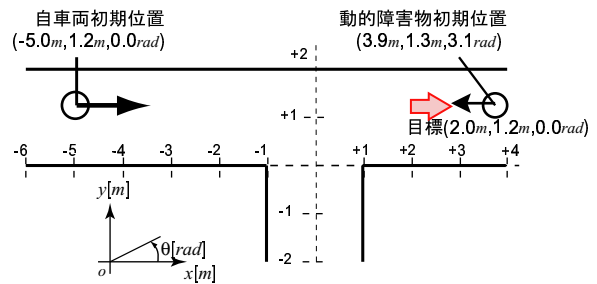


図 6: 実験環境

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, 図 8 に示す軌跡で動的障害物を回避し, 目標に到達できた.

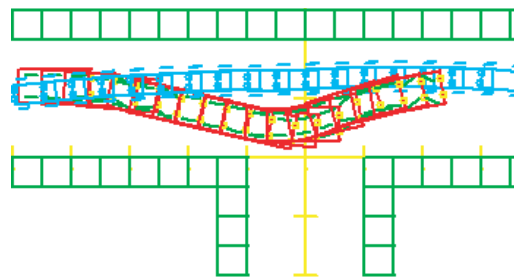


図 7: a) 走行軌跡 (動的障害物が前進の時)

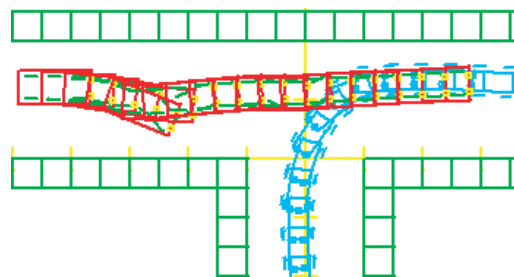


図 8: b) 走行軌跡 (動的障害物が左折の時)

4.2 考察

人間は, 自車両と動的障害物の将来状態を予見し, その動的障害物に対する安全性を考慮した操作を選択することにより, 安全に回避を行うことができる.

a) 動的障害物が前進してくる場合, このシステムは, 安全でうまく目標に到達できる操作として, 壁に接触しない程度の右舵操作を選択することにより, 事前に接触を回

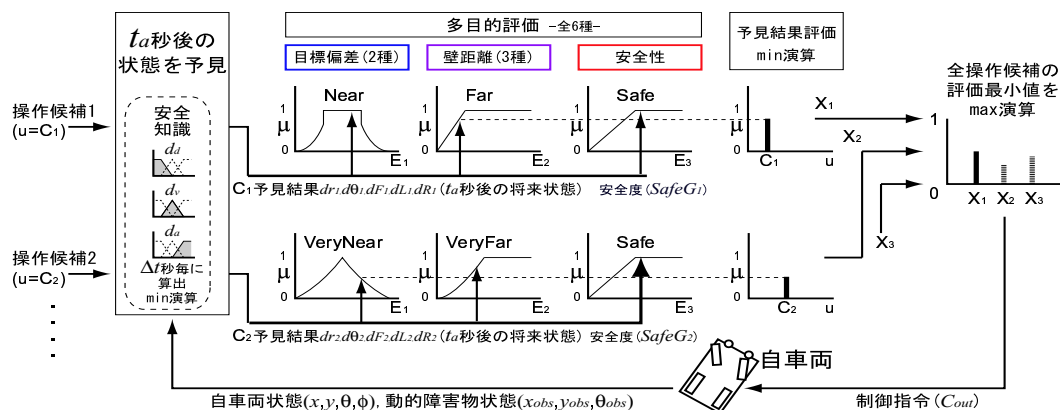


図 5: 予見ファジィコントローラ

避している。

b) 動的障害物が途中で左折を行う場合、このシステムは、図9に示すように、実験開始から5.0秒後までは動的障害物が前進してくる場合と同様に、右操舵を選択しているが、動的障害物が途中で左折したため、7.0秒後に左操舵を選択することにより、接触を回避している。

このように、歩道に見立てたシミュレーション環境において、動的障害物を配慮し、柔軟に回避を行うことができた。

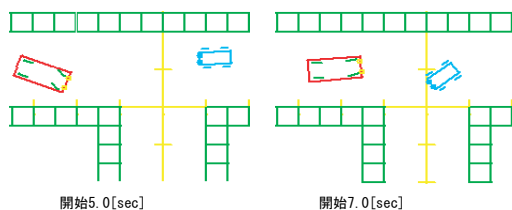


図 9: 「b) 動的障害物が途中で左折の時」における回避中の位置関係

5 おわりに

本論文では、実際の生活環境として歩道を想定し、歩道において動的障害物を配慮した電動四輪車の自動運転システムの動作をシミュレーション実験によって確認した。今後は実機を用いた実験を行う予定である。

参考文献

- [1] 警察庁: 電動車椅子に係る交通事故情勢について, <http://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku19/jyousei.pdf>
- [2] 宇野 宏, 藤田 和男, 通常走行における高齢ドライバの運転特性に関する研究-その 1: 市街地の実車走

行による運轉行動の調査-, 日本自動車研究所 自動車研究 Vol24-1, pp.33-36, 2002.

- [3] Seiji Yasunobu, Masaki Inoue, Intelligent Driving System for an Electric Four-Wheeled Cart, Proceedings of SICE Annual Conference 2002 in Osaka, pp.2947-2949, 2002.
- [4] Seiji Yasunobu, Ryota Sasaki, An Auto-Driving System by Interactive Driving Knowledge Acquisition, Proceedings of SICE Annual Conference 2003 in Fukui, pp.2053-2056, 2003.
- [5] Masaki Inoue, Seiji Yasunobu, Intelligent Soft Driving System for a Four-Wheeled Electric Vehicle Eluding Dynamic Obstacles, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.8 No.4, pp.350-355, 2004.
- [6] S.Yasunobu, N.Minamiyama, A Proposal of Intelligent Vehicle 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

中川 真仁

電話: 029-853-6186

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