

時空ファジィ推論を用いた動的障害物の回避

Evasion of the dynamic obstacle using space-time fuzzy inference

○ 渡邊 嵩孔,

安信 誠二

○ Takayoshi WATANABE,

Seiji YASUNOBU

筑波大学 工学システム学類 知的制御システム研究室

University of Tsukuba Intelligent control system lab

Abstract: The traffic accidents have been increasing, and the half of them have occurred at the crossing. The reason of many accidents in a crossing is because there are many dynamic obstacles. An expert driver drives well in consideration of temporal change in such environment. In this paper, the purpose is that incorporated into the computer the knowledge of the change of state of space and time that an expert considers, and evade the dynamic obstacle to arrive at the goal. In order to achieve this purpose, it carries out by inferring in time-space using simplified time change fuzzy set. It was confirmed that by simulating towards the goal to avoid the dynamic obstacle, and is incorporated into the computer the knowledge of the change of state of space and time that expert consider.

1 はじめに

日本の社会において現在、自動車は個人所有の移動手段として必要不可欠なものとなっている。しかし、交通事故は自動車保有率の上昇と呼応して増加傾向を示している。交通事故の半数は交差点で起きており、その中の9割以上自動車が関与している [1]。交差点での事故が多い理由として、周囲の状況が時間と共に変化する対向車や歩行者が多いためであると考えられる。交差点での運転は、この対向車や歩行者の動きを即時に認識し、目的地へ向かうのか安全な場所に向かうかを判断し、ハンドル操作角度、速度を決定する。特に、路上運転に慣れていない運転未熟者や、高齢者の事故が多い。

一方で、運転熟練者は、対向車や歩行者などの動的障害物との相対距離が時々刻々変化する環境の中でうまく運転を行っている。この動的環境では、時間と空間を考慮した時間変化を含む知識を利用して操作を決定している。

そこで本論文では、運転熟練者が動的障害物を回避し、目的地に向かう際に考える時間と空間の状態変化を考慮した知識をコンピュータに組み込みことを目的とする。

2 動的障害物を回避する際の考え方

本章では、運転熟練者が動的障害物を回避し目的地まで向かう際にどのように運転を行っているかについて以下の4つの節に分けて考察する。

2.1 状態の監視

運転熟練者は、自車両が現在どのような車両状態にあるのかを常に監視している。自車両の監視だけでなく動的障害物が現在どのような状態にあるのかも監視している。また、設定した現在の通過目標を通過したかどうか監視しており、到達していれば次の通過目標を考える。

2.2 状態の予測

運転熟練者は、2.1節で述べた状態の監視だけでなく、所定時間後の将来状態とその状態に至るまでの時間変化を考慮して運転している。例えば、動的障害物が遠いからゆっくり近づいてくるや、遠いから急に近づいてくるなどの時間変化の違いを把握している。

2.3 目標の設定

運転熟練者は、動的障害物を回避し、目的地へ向かう場合、目的地へ向かう目標と、目的地へ行けない場合、安全な場所である退避目標の二つの目標を考える。

2.4 運転操作の決定

運転熟練者は、目的地へ向かう操作と退避目標に向かう操作を行った時に将来どのような状態になるのかを予測し、「自車両と動的障害物の相対距離の時間変化」に対する主観と「できるだけ目的地に近い」という2つの主観をどの程度満足するか評価し、評価値の高い操作を決定している。

3 時空ファジィ推論

前章で述べた自車両と動的障害物の相対距離の時間変化に対する主観を定式化・定量化し、コンピュータに組み込むために時間と空間のファジィ集合を用いた時空ファジィ推論を行う。

3.1 状態推移ファジィ集合

状態推移ファジィ集合とは、ファジィ集合に時間軸を加えたファジィ集合であり、ファジィ集合が時間とともにどのように変化するかを示す。この状態推移ファジィ集合を用いることで運転熟練者が考える時間と空間を考慮した時間変化を含む主観をコンピュータで取り扱うことができる [2]。しかし、状態推移ファジィ集合を用いて主観を記述することは難しく、情報量が多いため、多くの計算時間がかかってしまう問題点がある。

3.2 簡易状態推移ファジィ集合

第 3.1 節で述べた問題点を解決するために簡易状態推移ファジィ集合が提案されている。この簡易状態推移ファジィ集合は、0 秒の状態のファジィ集合、P 秒の状態のファジィ集合、それぞれの状態の推移を示す四つのファジィ集合から構成され、時空間で簡単に処理することができる。簡易状態推移ファジィ集合 \tilde{X}'_{fn} は以下の式 (1) で定義できる [3]。

$$\tilde{X}'_{fn}(x, p) = \int_{R \times (0, P)} \{ [\mu_{x_0}(x) \wedge \mu_{p_0}(p)] \oplus [\mu_{x_P}(x) \wedge \mu_{p_P}(p)] \} / (x, p) \quad (1)$$

$$x \in R, p \in (0, P)$$

簡易状態推移ファジィ集合の例として「自車両と動的障害物の距離が近いから急に遠い」を挙げる。この主観をコンピュータに組み込むために図 1 に示す四つのファジィ集合を用いる。図 1 の (a) は「0 秒時の距離が近い」というメンバーシップ関数、(b) は「P 秒時の距離が遠い」というメンバーシップ関数を示す。ここでは、最大予測時間 P を 6 とする。また、(c) は、(a)、(b) の状態の推移を表したメンバーシップ関数であり、1 秒から 2 秒位に急に変化することを表している。この 4 つのファジィ集合と式 (1) を用いることで簡易状態推移ファジィ集合を表現することができる (図 2)。この図は評価値が高い部分を赤く表示している。 R は状態量の全体の集合、 P は最大予測時間、 \oplus は限界和演算を表し、上限を 1 として加算する。距離を x 、近いを *near*、遠いを *far*、1 秒から 2 秒位に急に変化することを *suddenly 1.5* とすると、距離が近いから急に遠いは、

以下に定式化できる。

x is near suddenly 1.5 far

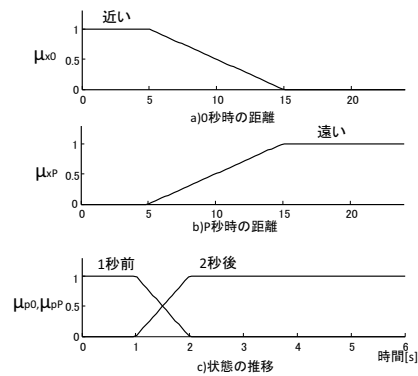


図 1: 「距離が近いから急に遠い」を表す 4 つのファジィ集合

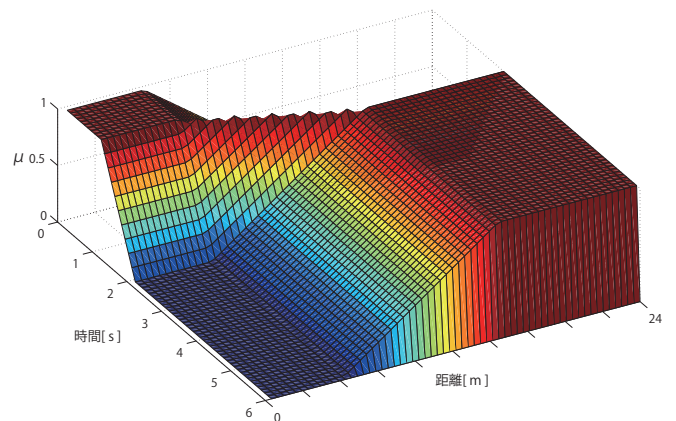


図 2: 「距離が近いから急に遠い」を表す簡易状態推移ファジィ集合

4 システムの構成

図 3 に示す動的障害物を回避し、目的地に向かう自動運転システムを構築した (図 4)。

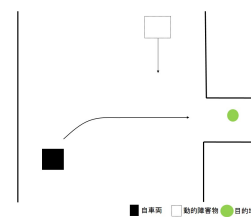


図 3: 想定する環境

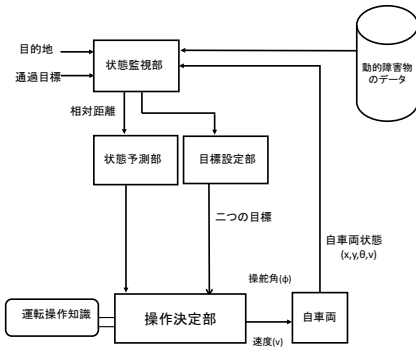


図 4: システム構成図

4.1 状態監視部

状態監視部では、現在の自転車のデータ (位置, 操舵角, 速度) と動的障害物のデータ (位置, 速度) から自転車と動的障害物との相対距離を求め状態予測部へ出力する。また、目的地に到達したか、通過目標に通過したかのかを判断する。通過目標点を通過した場合、目標設定部へ目標設定指示を出力する。

4.2 状態予測部

状態予測部では、状態監視部から出力された自転車と動的障害物の相対距離とそれぞれの速度を用いて所定時間ごとの相対距離を最大予測時間まで求める。また、自転車と目的地までの距離を最大予測時間先まで予測する。

4.3 目標設定部

状況監視部から出力された指示より、目的地へ向かう通過地点 (TT_1)、退避目標 (TT_2) を設定する。

4.3.1 通過地点

通過地点を ST とすると ST は、 x 座標、 y 座標、車両の向き、車両の速度の 4 つの要素を持つ。

$$ST = [STx, STy, STt, STv]$$

4.3.2 目的地へ向かう通過地点・退避目標

目的地へ向かう通過地点、退避目標を TT_1 、 TT_2 とすると、これらは通過地点の四つの要素に目的への優位度 E を加えて設定する E を 0 は 0 から 1.0 の値とする。 TT_1 は以下のように設定する。

$$TT_1 = [TTx_1, TTy_1, TTt_1, TTv_1, E_1]$$

TT_1 は、次の通過地点 ST_{new} となる。これは目的地到達に対して設定するため、目的への優位度 E は $E_1=1.0$ とした。

次に、 TT_2 は、以下のように設定する。

$$TT_2 = [TTx_2, TTy_2, TTt_2, TTv_2, E_2]$$

この TT_2 は、 TT_1 へ行くことができない場合に向かうことができる安全な場所として設定する。この目標は一つ前の通過地点 ST_{old} とし、 TT_1 よりも優位度が低

いため、 $E_2 < E_1$ となるように優位度 E_2 を設定する。ここでは、 $E_2=0.1$ とした。

4.4 操作決定部

操作の決定は、 TT_1 に向かう操作案、 TT_2 に向かう操作案の中から操作を決定する。 TT_1 、 TT_2 に向かう操作を行った際の将来状態を 1 秒ごとに最大 6 秒先まで操舵角を決定し予見する。状態予測部から出力された自転車と動的障害物の時間と相対距離の関係を用いた「簡易状態推移ファジィ集合の帰属度」、将来の「自転車と目的地との距離」、「優位度」をファジィ多目的評価し、ファジィ制御則全てに対して行い評価値を求める。それらの中で評価値の高い操作を決定する。操作決定部は以下のファジィ制御則を用いた。

r_1 : GO TT_1 If x is near slow $_3$ far and y is Near
 r_2 : GO TT_1 If x is far slow $_3$ near and y is Near
 r_3 : GO TT_1 If x is far always far and y is Near
 r_4 : GO TT_1 If x is near suddenly $_{1.5}$ far and y is Near

r_5 : GO TT_2 If x is near slow $_3$ far and y is Near
 r_6 : GO TT_2 If x is far slow $_3$ near and y is Near
 r_7 : GO TT_2 If x is far always far and y is Near
 r_8 : GO TT_2 If x is near suddenly $_{1.5}$ far and y is Near

5 シミュレーション

5.1 環境と条件

シミュレーションで想定する環境を図 5 に示す。初期状態を (x, y, θ) とすると、自転車の初期状態を $(-2, -7, \frac{\pi}{2})$ 、動的障害物の初期状態を $(2, 20, -\frac{\pi}{2})$ と設定し、自転車の速度を 1.0 [m/s]、動的障害物の速度を 3.0 [m/s] とした。また、図 5 の丸は、通過地点を表し、 $(-2, -6, \frac{\pi}{2}, 1)$ 、 $(4, 1, 0, 1)$ 、 $(9, 1, 0, 1)$ の三つを設定した。

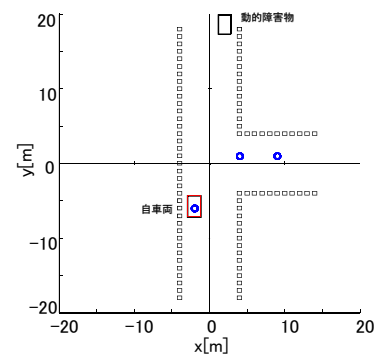


図 5: 想定する環境

5.2 結果と考察

0~3s(図 6) では、4.4 章で述べた制御則 r_3 と r_7 が評価値 0 以上となり、制御則 r_3 が評価値が高い。つま

り、システムは動的障害物との距離が遠いからずっと遠いと評価し、 TT_1 に向かう操作を決定している。

3~5.7s(図7)では、制御則 r_7 が評価値0以上となり、システムは退避目標 TT_2 に向かう操作を決定している。

その後の5.7~7s(図8)では、制御則 $r_1, r_3, r_4, r_5, r_7, r_8$ が評価値0以上となり、制御則 r_1 が評価値が高い。つまり、システムは動的障害物との距離が近いからゆっくり遠いと評価し、 TT_1 に向かう操作を決定している。

7~19s(図15)では、制御則 r_1, r_4, r_5, r_8 が評価値0以上となり、制御則 r_4 が評価値が高い、つまり、システムは動的障害物との距離が近いから急に遠いと評価し、 TT_1 に向かう操作を決定している。

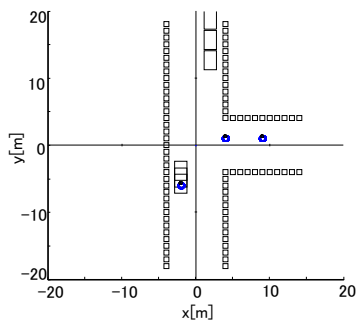


図 6: 0~3[s] の自車両と動的障害物の軌跡

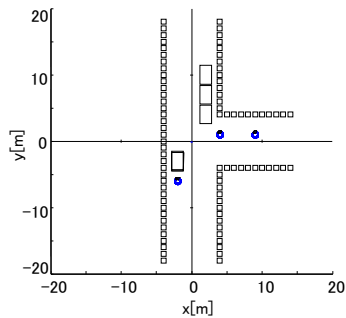


図 7: 3~5.7[s] の自車両と動的障害物の軌跡

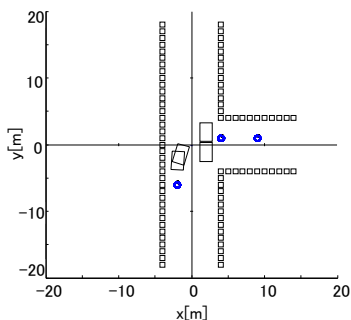


図 8: 5.7~7[s] の自車両と動的障害物の軌跡

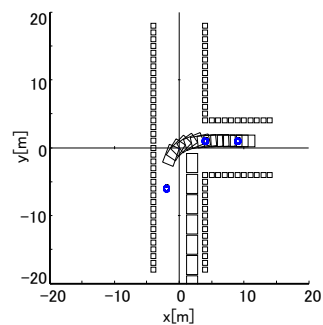


図 9: 7~19[s] の自車両と動的障害物の軌跡

この結果より、運転熟練者が動的障害物を回避し、目的地に向かう際に考える時間と空間の状態変化を考慮した知識をコンピュータに組み込んでいることがわかる。

6 おわりに

本論文では、運転熟練者が動的障害物を回避する際の時間と空間の状態変化の知識をコンピュータに組み込んだ。動的障害物が存在している環境で目的地へ向かうシミュレーションを行った。この結果から時間と空間の状態変化の知識をコンピュータに組み込むことができていることを確認した。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24500272 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] ITARDA 公益財団 交通事故総合分析センター
イルンダ・インフォメーション No.95 2012 JULY
- [2] Seiji YASUNOBU, Mitsuru KOKUHUDA,
"Intelligent Operation Support Method based on Time Change Fuzzy Sets", IFSA2009
- [3] Xiang Liu, Takeshi Shibuya, Seiji Yasunobu,
"Space-time Support System using Simplified Time-Change Fuzzy Set", IFSA2013

連絡先

〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
筑波大学大学院 システム情報工学研究科
知的制御システム研究室 渡邊嵩孔
E-mail: watanabe@fz.iit.tsukuba.ac.jp