

簡易状態推移ファジィ集合を用いた時空ファジィ推論とその応用

Space-time Fuzzy Inference and Applications using Simple Time Change Fuzzy Sets

○ 劉 翔, 澁谷 長史, 安信 誠二
○ Xiang Liu, Takeshi Shibuya, Seiji Yasunobu

筑波大学 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

Abstract: In this research, “ Simple time change fuzzy sets ” is proposed to incorporate the feeling of mankind concerning the time change to the computer under dynamic environment. The simple time change fuzzy sets are constituted by four auxiliary sets to deal with the feeling of mankind about the time change in the computer. It is applied to the lane change support system to let the computer determine the proper operation as an human expert.

1 はじめに

動的環境下で人間の生活行動を支援する際に時間変化を考慮しねばならない。例えば、コンピューターを支援者として市街地の道路上でドライバーの車線変更を支援する時、周囲の車の状態が時間とともにどのように変化するかコンピューターで正しく把握する必要がある。

これまで熟練者の知識に基づいた支援方式は提案された。具体的には状態推移ファジィ集合 [1] を用いて、状態量の時間変化に関する人間の知識をコンピューターに組み込むことは提案された。しかし、実際には人間の知識を記述することが困難といった問題を抱えている。

実際に応用するために状態推移ファジィ集合の改善を進めている [2] 本研究は状態推移ファジィ集合を参考にし、簡易状態推移ファジィ集合を提案する。シミュレーションにより、この集合を用いることで、人間の時間変化に関する感覚をコンピューターで正しく把握できることを確認する。これを車線変更支援システムに適用し、動的環境でリアルタイムで運転者に適切な支援情報を出せることを検証する。

2 時間変化を考慮したファジィ推論

2.1 ファジィ集合

ファジィ集合とは、L.A.Zadeh (ザデー) [3] によって提唱され、ある事実にとどのくらいあてはまるかという度合をあらわすことができる集合である。ファジィ集合 \tilde{X} の定義式は式 (1) に示す。

$$\tilde{X}(x) = \int \mu_{\tilde{X}}(x)/(x), x \in R \quad (1)$$

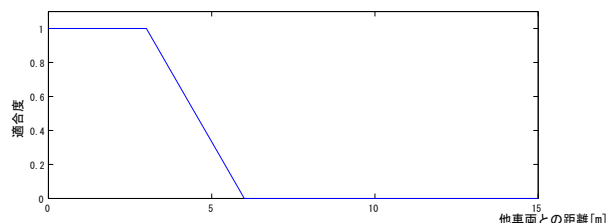


図 1: ファジィ集合の例 (他車両との距離が近い)

ザデーが定義したファジィ集合の例を図 1 に示す。これは人間が「他車両との距離が近い」という感覚を表すファジィ集合である。

適切な支援を出すためには、支援者としてのコンピューターに熟練者のように思考させることが重要である。ファジィ集合は人間の知識や思考を定量的に扱うことができるので、ファジィ集合を用いることで、熟練者の知識をコンピューターに組込むことが可能になる。

2.2 状態推移ファジィ集合

これまでには状態推移ファジィ集合を用いて、熟練者がもつ「もうすぐ近くなる」等の知識を支援者としてのコンピューターに記述していた。状態推移ファジィ集合とは人間が時間変化に関して持っている主観を定量化し、コンピューターにより取り扱うために、図 1 のようなザデーが定義したファジィ集合に時間軸を加えて、時間領域を拡張したファジィ集合である。

対象の状態量 $x(t)$ における状態推移ファジィ集合 \tilde{X}_{fn} の定義式は式 (2) に示す。状態量の全体集合を R とする。 $\mu_{\tilde{X}_{fn}}(x, p)$ は状態量 x と予測する将来時間 p

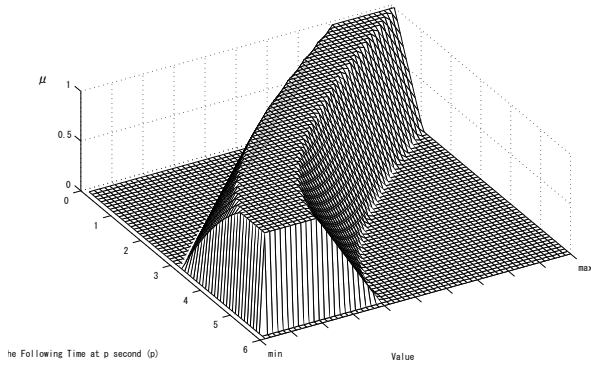


図 2: 状態推移ファジィ集合の例

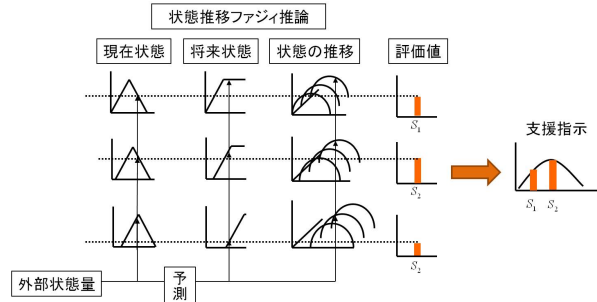


図 3: 状態推移ファジィ推論

に対するメンバーシップ値, P は最大予測時間である.

$$\tilde{X}_{fn}(x, p) = \int_{R \times (0, P)} \mu_{\tilde{X}_{fn}}(x, p) / (x, p), \quad (2)$$

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

人間が「他車両との距離が時間とともに遠いから近くに变化する」という感覚をコンピュータに組込むために、図 2 に示すような状態推移ファジィ集合を用いる。これは式 (2) に示した状態推移ファジィ集合の例である。具体的に言うと、式 (2) の中で $\mu_{\tilde{X}_{fn}}(x, p)$ は式 (3) に示す。 x は対象の状態量, p は将来時間である。そこで式 (3) を用いてメンバーシップ値 $\mu_{\tilde{X}_{fn}}(x, p)$ は状態量 x と予測する時間 p をもとに算出される。

$$\mu_{\tilde{X}_{fn}}(x, p) = \min(1, \max(0, \min\{\frac{x}{3} + 1 - 4 \times (1 - \sin \frac{p\pi}{12}), -\frac{x}{3} + 2 + 4 \times (1 - \sin \frac{p\pi}{12})\})) \quad (3)$$

状態推移ファジィ推論によるファジィ制御指令の決定の過程を図 3 に示す。

2.3 簡易状態推移ファジィ集合

本研究では、従来の状態推移ファジィ集合を簡易化し、簡易状態推移ファジィ集合を提案する。簡易状態推移ファジィ集合とは人間が時間変化に関する感覚を

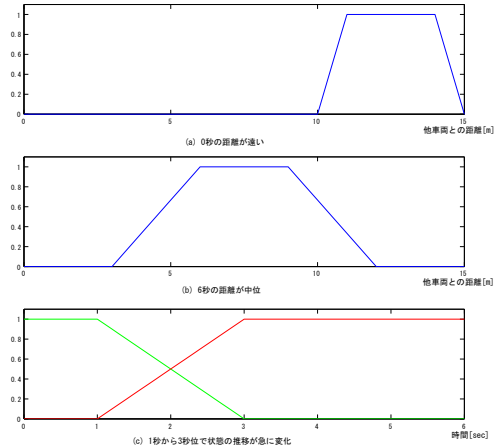


図 4: 簡易状態推移ファジィ集合の補助集合例

コンピュータで取り扱うために四つの補助集合を用い、構成されたものである。四つの補助集合は 0 秒の状態と P 秒の状態と状態の推移から構成される。状態量の全体集合を同様に R とすれば、対象の状態量 $x(t)$ において、簡易状態推移ファジィ集合 \tilde{X}'_{fn} は式 (4) のように定義できる。

$$\tilde{X}'_{fn}(x, p) = \int_{R \times (0, P)} \{[\mu_{x_0}(x) \wedge \mu_{p_0}(p)] \circ [\mu_{x_P}(x) \wedge \mu_{p_P}(p)]\} / (x, p), \quad (4)$$

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

ここで、 μ_{x_0} は状態量 x が 0 秒のメンバーシップ関数に対するメンバーシップ値、 μ_{x_P} は状態量 x が P 秒のメンバーシップ関数に対するメンバーシップ値である。そして μ_{p_0} は予測する時間 p が状態推移の中での 0 秒の状態に対するメンバーシップ値、 μ_{p_P} は予測する時間 p が状態推移の中での P 秒の状態に対するメンバーシップ値である。

簡易状態推移ファジィ集合の例としては、「他車両との距離が遠いから急に中位になる」という言葉をコンピュータで取り扱うために、図 4 のような簡易状態推移ファジィ集合の四つの補助集合を用いている。この例の中では最大予測時間 P を 6 とする。

図 4(a) のメンバーシップ関数を用いて「0 秒の距離が遠い」という言葉を表す補助集合を定義する。このメンバーシップ関数は π 型関数を用いて式 (5) のように表せる。ファジィ集合のメンバーシップ関数の記述については、安信 [4] は右上から左下へ下降する関数が S の字を左右に引き伸ばした形状に似ているので、 S 関数と定義した。左上から右下へ下降する関数を Z 関数と定義した。そしてこれらを重ね合わせた凸型の関数

を π 関数と定義した．各関数のパラメータの内， as と az は最大満足（適合度 = 1.0）空間を表し， bs と bz はメンバシップ値が 1.0 から 0.5 に低下する空間の長さを表す．

$$\mu_{x_0}(x) = \pi(x, as, az, bs, bz) = \pi(x, 11, 14, 0.5, 0.5) \quad (5)$$

「 as, az, bs, bz 」はメンバシップ関数を生成するのに用いられている 4 個のパラメータである．

図 4(b) の最大予測時間 P のメンバシップ関数を用い、「6 秒の距離が中位」という言葉を表す補助集合を定義する．このメンバシップ関数は式 (6) のように表せる．

$$\mu_{x_6}(x) = \pi(x, as, az, bs, bz) = \pi(x, 6, 9, 1.5, 1.5) \quad (6)$$

式 (6) にも π 型メンバシップ関数を用いている．「 as, az, bs, bz 」は 4 個のパラメータである．

図 4(c) のメンバシップ関数は「状態の推移が 0 秒から 6 秒の状態へ急に变化する」を表している．このメンバシップ関数は式 (7) のように表せる．

式 (7) には Z 型メンバシップ関数を用いて，0 秒の状態を表す補助集合を定義する．「 az, bz 」は 2 個のパラメータである．そして式 (8) に S 型メンバシップ関数を用いて，6 秒の補助集合を定義する．「 as, bs 」は 2 個のパラメータである．したがって，合計で 12 個のパラメータだけでコンピュータで図 4 のような簡易状態推移ファジィ集合を定義できる．

$$\mu_{p_0}(p) = Z(p, az, bz) = Z(p, 1, 1) \quad (7)$$

$$\mu_{p_6}(p) = S(p, as, bs) = S(p, 3, 1) \quad (8)$$

上記の四つの補助集合を用いて，式 (4) のもとに図 5 の簡易状態推移ファジィ集合のメンバシップ関数になる．

2.4 簡易状態推移ファジィ集合に対する適合度

時間関数の形で与えられた入力値を研究対象として簡易状態推移ファジィ集合に対する適合度を求める手順については，まずサンプリング時間ごとに入力された物理量がある時点で簡易状態推移ファジィ集合に対する適合度は算出され，次に最大予測する時間まで先の処理を繰り返し，最後は算出されたすべての適合度の算術平均値を最終の適合度とする．

次は具体的な例を挙げる．予測された他車両との距離が遠いから急に中位なるという変化動向を表す入力値は図 6(a) に示す．比較するために，前節で述べたような距離の変化動向を表す簡易状態推移ファジィ集合

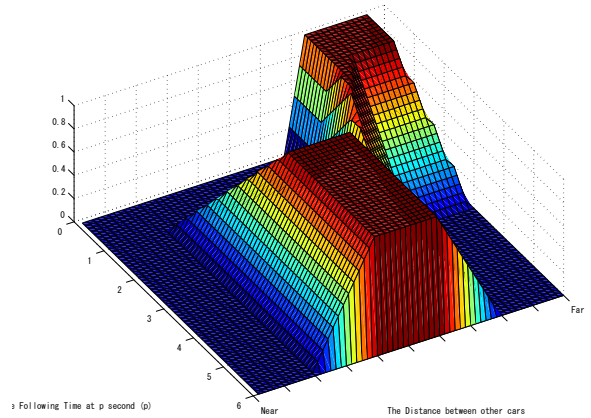


図 5: 簡易状態推移ファジィ集合のメンバシップ関数例

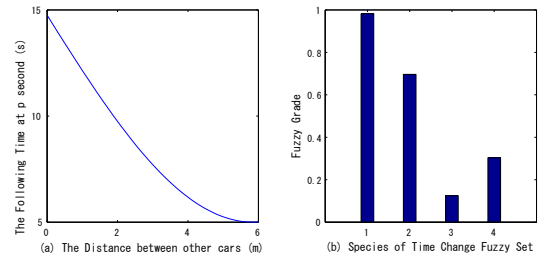


図 6: 適合度の比較

を 4 セットのパラメータでさらに四つ作成しておく．作成されたそれぞれの簡易状態推移ファジィ集合の番号と意味とパラメータ値は

- 1: 他車両との距離が遠いから急に中位になる
 $\pi(x, 11, 15, 1, 1) \pi(x, 5, 9, 1, 1) Z(p, 1, 1) S(p, 3, 1)$
- 2: 他車両との距離が遠いから徐々に中位になる
 $\pi(x, 11, 15, 1, 1) \pi(x, 5, 9, 1, 1) Z(p, 3, 1) S(p, 5, 1)$
- 3: 他車両との距離が中位から急に遠くなる
 $\pi(x, 5, 9, 1, 1) \pi(x, 11, 15, 1, 1) Z(p, 1, 1) S(p, 3, 1)$
- 4: 他車両との距離が中位から徐々に遠くなる
 $\pi(x, 5, 9, 1, 1) \pi(x, 11, 15, 1, 1) Z(p, 3, 1) S(p, 5, 1)$

前述の入力値はこの四つの簡易状態推移ファジィ集合に対する適合度をそれぞれ求め，シミュレーションの結果は図 6(b) に示す．図 6 により，提案した簡易状態推移ファジィ集合を用いることで，人間の時間変化に関する感覚をコンピュータで正しく把握できることを確認した．

3 車線変更支援システムへの適用

3.1 車線変更について

道路上で自動車を運転するとき，どうしても避けて通れないのが車線変更である．特に車線数が多くて組

み合っている道では、ほかの車両との相対位置と相対速度が時々刻々変化している．そこで運転士が安全でスムーズな車線変更を行うために、走行支援システムが必要である．そのような動的環境下において人間を支援者として考えると、支援者は現在の状態のみでなく将来の状態を予測して、これを考慮した上で操作指示を判断している．

3.2 支援の概要

支援を行う際には車両操作を考えなければならない．本研究で車線変更における車両操作は「現車線を走る」、「右車線に移る」、「左車線に移る」の操作から構成される．適切な支援情報を出すために、最も重要なのは運転知識である．そこで車線変更時に熟練運転者はどのように考えるかについて調べなければならない．熟練運転者は車線変更するとき、まず変更したい車線に、移れそうなスペースがあるかどうか確認する．次に自分の車と隣の車の位置関係を把握し、スムーズな車線変更を行う．本論文ではこのような運転熟練者をもとに、車線変更時の運転知識を決定する．移りたい車線に走行中の車に対して、以下のようなファジールールを定める．

Rule1: 前方車両がずっと遠くて、後方車両がずっと遠いならば、右車線に移る

Rule2: 前方車両がずっと遠くて、後方車両が急に近くなるならば、現車線を走る

Rule3: 前方車両がだんだん近くなって、後方車両が一気に近くなるならば、現車線を走る

3.3 システム構成

本知的操作支援システムの構成を図7に示す．本支援システムは状態監視部、状態予測部及び支援決定部から構成される．状態監視部では他車両との相対位置、相対速度及び自車両速度を周囲の状態量として扱っている．状態予測部では取得した現在状態量から、物理法則のモデルをもとに将来の状態量の予測を行う．支援決定部では、簡易状態推移ファジィ集合を用い、組込んだ熟練者の運転知識により、将来状態を考慮したうえで車線変更の可否を判断し、操作者に指示を提示する．

4 実機実験

提案する支援システムをもとに簡易ドライビングシミュレータを用いて実験を行った．2車線道路の左車線にある自車両が右車線に車線変更をする場合を想定

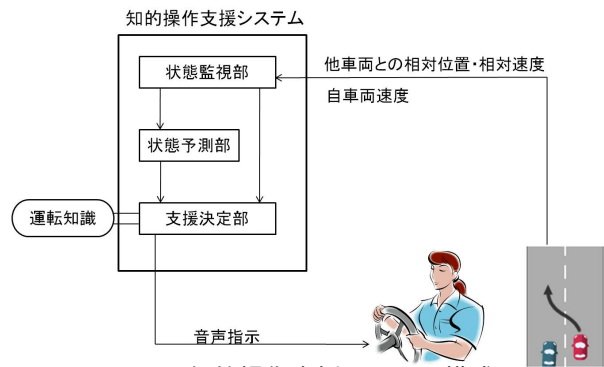


図7: 知的操作支援システム構成

した．左車線には自車両以外に車両がなく、右車線には他車両を5台用意した．初期状態は、自車両が初期位置0m、初期速度60km/hとし、他車両は初期位置と初期速度を適宜与え、リアルタイムでの有効性を検証した．

5 おわりに

本稿では簡易状態推移ファジィ集合を提案した．簡易状態推移ファジィ集合により人間のもつ「もうすぐ近くなる」のような時間変化を含む言葉をコンピューターで簡単に扱えるようになった．この集合は動的環境下でリアルタイムで処理できることを検証した．提案した簡易状態推移ファジィ集合を車線変更支援システムに適用し、操作者が支援システムから受けた情報をもとに適切な操作を行った．

参考文献

- [1] S. Yasunobu and M. Kokuhuda: Intelligent Operation Support Method based on Time Change Fuzzy Sets, IFSA2009, 657/662 (2009)
- [2] 劉翔, 澁谷長史, 安信誠二: 時間変化を考慮した状態推移ファジィ集合による推論について, SSI2011, 19/22 (2011)
- [3] L.A. Zadeh : Fuzzy Sets, Information and Control. Vol.8, 338/353 (1965)
- [4] 安信誠二: 「ファジィ工学」, 昭晃堂 (1991)

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
知能機能システム専攻知的制御システム研究室
劉翔
E-mail: liu@fz.iit.tsukuba.ac.jp
029-853-6186