

# 距離型ファジィ推論法と その医療・福祉ロボットへの応用

王 碩玉\*

(受領日：2013年5月20日)

高知工科大学システム工学群  
〒 782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185

\*E-mail: wang.shuoyu@kochi-tech.ac.jp

**要約：**本論文では、距離型ファジィ推論法とその医療福祉ロボットの知能化への応用について解説する。まず、ファジィ集合間の距離情報に基づいて、距離型ファジィ推論法のアルゴリズムと特徴を説明する。次に、これまで開発した医療福祉ロボットの実例として、案内ロボットと歩行支援ロボットの構造を紹介する。さらに、距離型ファジィ推論法を用いて、案内ロボットと歩行支援ロボットの知能化結果について述べる。最後に医療福祉ロボットの高齢社会への貢献可能性について展望する。

## 1. 緒言

医療福祉ロボットは、人を相手にするため、安全性の確保及び知能を備えることが求められる。ロボットは、知能の一つである推論機能を持てば、複雑や未経験な状況に置かれても、自律的行動が可能になる。本稿では、言語の立場から、距離型ファジィ推論法を説明し、医療・福祉ロボットの知能化への応用について述べる。

人類は、長い進化の歴史において、「生」を求め、「楽」を追いかけていた結果、言語を創造し操る能力を獲得した。言語と思考の不可分性から考えると、言語を抜きにしては、人間の知能メカニズム解明、知能的行為の機械による実現、及び人間を理解するのが、ほぼ不可能であろう。しかし、言語の本質は、決して発音や文字や文法ではなく、時間的・空間的な連続性をもつ無限な世界を、有限個の単語で表現することにあると考える。言語によるコミュニケーションの成立は、言語で表現する概念の内包(intension)と外延(extension)における、特に内包の不確かさがあるからである。概念の内包における多様な不確かさの中に、無くてはならない形容詞などのような属性のあいまいさ(fuzziness)がある。あいまいさをより精密に定量化する研究において

は、1965年にLotfi A.Zadeh氏(Prof., UC Berkeley)によって提案されたファジィ集合論<sup>1)</sup>が、数え切れないほどの応用事例があり、理論的にも多くの研究者の努力により体系化されたため、21世紀のキー・テクノロジーの一つになると予測されている<sup>2)</sup>。

ファジィ集合論の基本思想は、「Yes」か「No」には断らず、連続なメンバーシップ関数により与えるグレードと呼ばれる閉区間 $[0,1]$ 中の実数を用いて、各要素があいまいな概念に属する度合をより精密に表す。したがって、ファジィ集合論は要素間の位相関係を議論する多値論理の一種である。ファジィ推論は、ファジィ集合論に基づいて、つまりメンバーシップ関数で定量化される曖昧な概念間の類似度あるいは違いの度合により、結論を推論する理論である。したがって、ファジィ推論は、人間の語っている自然言語で表現する既有知識を利用して、新たな知識を導出する過程でもある。

代表的なファジィ推論法としては、Mamdaniのファジィ推論法<sup>3)</sup>、関数型ファジィ推論法<sup>4)</sup>、簡略型ファジィ推論法<sup>5)</sup>、Product-Sum法<sup>6)</sup>、距離型ファジィ推論法<sup>7)</sup>、距離型図形推論<sup>8)</sup>などがある。本稿では、距離型ファジィ推論法のアルゴリズムと特徴を解説し、その歩行支援ロボットと案内ロボットの知能化への応用について報告する。

## 2. 距離型ファジィ推論法

### 2.1 推論アルゴリズム

本章ではファジィ集合間の距離を利用した距離型ファジィ推論法<sup>7)</sup>のアルゴリズムを説明する。実数全体の集合を $R$ で表わす。 $R$ を全体集合(台集合)とし、 $R$ における有界なファジィ集合の全体を $F(R)$ とする。ただし、 $R$ に添え字を付けないとき、 $F(R)$ は区別なしに一般的な概念を表わすが、異なる概念を区別に表わすとき、 $R$ の右下に添え字を付けて区別する。例えば、 $R$ は年齢のとき、 $F(R_A)$ で若いや中年や高齢などのファジィ集合の全体を表わす。または $R$ が車の速度のとき、 $F(R_V)$ で速いや遅いなどのファジィ集合の全体を表わす。すなわち、 $R$ の添え字は台集合の物理的意味を表わす。

以下では、一般性を失うことなく、(1)式に示す1段多重の言語知識を用いて、基本的な推論アルゴリズムを説明する。多段多重知識や真理値の考慮も同様にできるが、詳細は他の文献をご参照されたい。

$$\begin{aligned} R^i: x_1 = A^1, \dots, x_j = A^j, \dots, x_m = A^m &\Rightarrow y = B^i \\ \text{事実: } x_1 = A^1, \dots, x_j = A^j, \dots, x_m = A^m &\quad (1) \end{aligned}$$

---


$$\text{結論: } \quad \quad \quad y = B$$

ここでは、 $i=1,2,\dots,n$ ,  $j=1,2,\dots,m$ 。  $A^j$ ,  $B^i, A^j, B$ はそれぞれ前件部、後件部、与えられた事実および推論結果を表わし、 $A^j, A^j \in F(R_{A^j})$ 、 $B^i \in F(R_B)$ とする。 $\mu_{A^j}(x), \mu_{A^j}(x), \mu_{B^i}(x)$ でそれぞれのメンバーシップ関数を表す。 $M_{A^j}$ は $\mu_{A^j}(x)$ の最大値、 $M_{A^j}$ は $\mu_{A^j}(x)$ の最大値、 $A^j_{M\alpha}, A^j_{M\alpha}$ は各自の最大値で正規化したファジィ集合の $\alpha$ レベル集合を表す。 $\inf$ と $\sup$ は $\alpha$ レベル集合の上限と下限を表す。

距離型ファジィ推論法の推論アルゴリズムは3つのステップから構成される。

**STEP 1:** 広義リーマン積分(2)式を用いて、 $A^j$ と $A^j$ との距離 $d(A^j, A^j)$ を計算しておき、(3)式で $d_1 \sim d_n$ を計算する。(2)式も(3)式も距離の公理を満たしている。ただし、もし、 $\alpha$ レベル集合は有界ではなければ、Lebesgue積分を用いて計算する。 $d_1 \sim d_n$ は、事実と各々の知識(ルール)の前件部との違いを意味する。

$$\begin{aligned} d_{ij}(A^j, A^j) &= \left[ \int_0^1 |\inf A^j_{M\alpha} - \inf A^j_{M\alpha}|^p d\alpha \right]^{1/p} \\ &\quad + \left[ \int_0^1 |\sup A^j_{M\alpha} - \sup A^j_{M\alpha}|^p d\alpha \right]^{1/p} \\ &\quad + \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \left| \left( \frac{1}{M_{A^j}} - 1 \right) \mu_{A^j}(x) - \left( \frac{1}{M_{A^j}} - 1 \right) \mu_{A^j}(x) \right|^p dx \right]^{1/p} \quad (2) \end{aligned}$$

$$d_i = \sum_{j=1}^m d_{ij}(A^j, A^j) \quad (3)$$

ただし、 $i=1,2,\dots,n$ 。  $1 \leq p < \infty$  を満たす定数、 $|\cdot|$ は絶対値を表わす。

**STEP 2:** (4)式で、推論結果 $B$ の $\alpha$ レベル集合を計算する。

$$B_\alpha = [\inf(B_\alpha), \sup(B_\alpha)] \quad (4)$$

$$\inf(B_\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \inf(B^i_\alpha) \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j \right]}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j} \quad (4a)$$

$$\sup(B_\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \sup(B^i_\alpha) \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j \right]}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j} \quad (4b)$$

**STEP 3:** 合成定理(分解定理とも呼ばれる)により、(5)式で推論結果 $B$ を求める。

$$B = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha \cdot B_\alpha \quad (5)$$

### 2.2 距離型ファジィ推論法の特徴

次に、距離型ファジィ推論法の特徴について述べる。証明は省略するが、実際の知的システム構成の際に各特長の重要性について説明する。

**[定理 1]** 距離型ファジィ推論法による推論結果 $B$ は有界である。具体的には、 $\forall \alpha$  に対して、 $B_{\alpha \min} = \min\{\inf B^1_\alpha, \dots, \inf B^n_\alpha\}$ ,  $B_{\alpha \max} = \max\{\sup B^1_\alpha, \dots, \sup B^n_\alpha\}$

とおけば、(6)式が成立する。

$$B_\alpha \subseteq [B_{\alpha \min}, B_{\alpha \max}] \quad (6)$$

この定理は推論結果が発散しないことを保証し、実際のシステムでは安心して使用できる。

**[定理 2]**  $\exists q \in \{1, 2, \dots, n\}$ 、 $\forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$  に対して  $A^j = A^{qj}$  であれば、推論結果について  $B = B^q$  が成立する。すなわち本推論法は分離規則を満たしている。

分離規則 (Modus Ponens) は、論理学の立場から、推論法に対して求められる最も基本性質である。分離規則は成立する推論アルゴリズムでは、知識と推論結果の間に矛盾を生じることなく、学習による知識の獲得が容易に行える。

**[定理 3]** 推論結果  $B$  は、正規で且つ凸なファジィ集合である。

推論結果は、正規で且つ凸なファジィ集合であれば、実数の拡張であるファジィ数の定義を満たすことになるため、数学的に厳密に議論できるようになる。特に多段知識を用いて推論を行う場合は、いわゆる曖昧さの爆発問題を避けることができる。また、実際にメカニカルシステムを制御する場合では必要とされる非ファジィ化は、煩雑な計算を要らなく、数個のパラメータのみで簡単に計算できる。

**[定理 4]** 推論結果について、 $\exists q \in \{1, 2, \dots, n\}$ 、 $B = B^q$  である場合、もし  $\forall \alpha \in [0, 1]$  に対して次の二つの等式を同時に満たす定数  $d_1, \dots, d_{q-1}, d_{q+1}, \dots, d_n$  が存在しなければ、事実について  $A^k = A^{qk}$  ということと言える。

$$\sum_{i=1, i \neq q}^n \left[ (\inf B_\alpha^i - \inf B_\alpha^q) \prod_{j=1, j \neq i, q}^n d_j \right] \neq 0 \quad (7a)$$

$$\sum_{i=1, i \neq q}^n \left[ (\sup B_\alpha^i - \sup B_\alpha^q) \prod_{j=1, j \neq i, q}^n d_j \right] \neq 0 \quad (7b)$$

この特徴は、医学や故障診断などのような逆システムを構成する際に非常に重要である。つまり、推論結果はあるルールの後件部に等しければ、この条件さえ満たしていれば、入力された事実は、そのルールの前件部に等しいことが言える。つまり、結果から原因を逆推定できる。

**[定理 5]**  $B$  は距離がそれぞれ  $d_1, d_2, \dots, d_q, \dots, d_n$  である時の推論結果、 $B'$  は距離がそれぞれ  $d_1, d_2, \dots, d'_q, \dots, d_n$  である時の推論結果である。

$\forall k \in \{1, 2, \dots, n\} - \{q\}$  に対して  $d_k \neq 0$  として、もし  $d_q < d'_q$  であれば、 $d(B, B^q) < d(B', B^q)$  が成立する。ただし、 $B^q$  は  $d_q = 0$  のときの推論結果である。

この定理は、与えられた事実があるルールの前件部に近づけば近づくほど、推論結果がそのルールの後件部に近づくということを意味している。定理 2 と定理 5 を合わせて推論の漸近特性を表わしている。推論アルゴリズムに漸近特性を持っていれば、推論の大凡な方向性を把握することができ、システムのトラブルや想定外の実態をチェックする手法として利用可能である。

本稿では、 $n$  個の知識を同時に使用する前提で議論を進めてきたが、知識半径の概念を導入すれば、知識の使用法も変えることができる。知識半径は、正の整数であり、適切に導入すれば、計算量を減らせるだけではなく、より人間らしい推論ができる。つまり、事実より遠く離れている知識を工学的近似の意味で無視して、事実に近い前件部の知識のみで推論を行う。我々人間も、環境に応じて、あるいは議論の話題内容に応じて、脳の中にある知識を使い分けていることが常識的に判っている。当然ながら、使用の知識が違えば、推論結果も変わってくる。知識半径選択の詳細なガイドラインは他の論文で与えている。ただし、異なる知識半径を使用しても、本推論アルゴリズムの 5 つの特徴に変わりはない。

### 3. 医療・福祉ロボットへの応用

#### 3.1 案内ロボット

案内ロボットの開発において、人間と同様な案内を実現するために、人間の案内行動に着目する。人間の案内は周囲状況や被案内者との距離、表情、身体状況など多数の情報を考慮しているため、非常に高度な知的行動である。案内ロボットが人間と同様の案内動作を実現するためには、人間の案内知識を有効に活用することが必要である。人間の高度な案内行動は言語により表現される定性的知識であるため、有効な活用方法としては、言語変数を用いたプロダクションルールにより定式化、さらにファジィ集合により言語変数を定量化して、前件部と事実との共通集合が存在しない場合にも適用できる距離型ファジィ推論法に基づいて、案内ロボットの軌道を制御する手法を提案している<sup>10)</sup>。提案手法を用いた実験により、案内ロボットにおいて被案内者との相対距離を保ちながら目的地まで案内できることを確認している。



写真 1. Guide Robot

写真 1 に示すように、案内ロボットの概観は円柱状の形状で、直径約 350mm、高さ約 800mm である。本ロボットは準全方向移動機能を持っており、任意の姿勢ですべての方向に向かって人を案内することができる。また、本案内ロボットの胴体には、タッチセンサーが 6 個、赤外線センサーが 12 個、超音波センサーが 9 個搭載されており、主に前方の障害物検知と後方から追従する被案内者との相対距離検出に使用する。被案内者の音声はロボット上部に取り付けられたマイクロフォンから入力される。ロボットの音声アナウンスはロボット中部に搭載されたスピーカーから出力される。

図 1 に本研究で案内ロボットによる案内サービスの概要を示す。以下、病院や保健センターでの健康診断において人間を案内する場合を一例にとり、必要な基本概念である軌道計画について説明する。

まず、案内ロボットは無線 LAN を介して、胸部 X 線検査、胃内視鏡検査、心電図検査、採血、身体

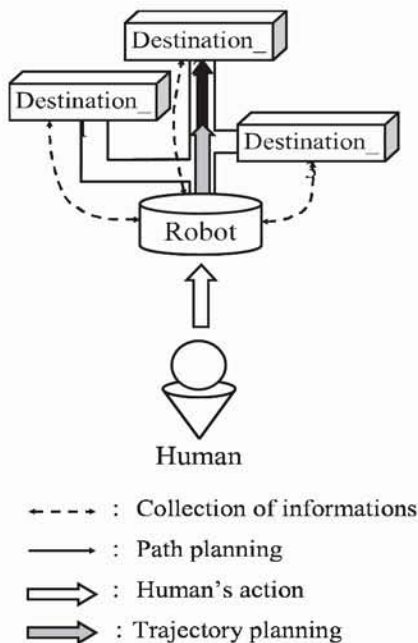


図 1. 案内ロボットによる案内サービス

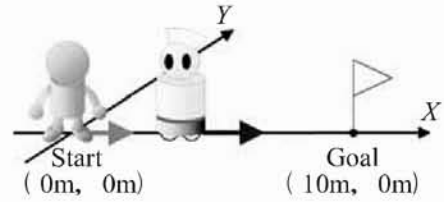


図 2. 案内実験の条件

計測などの検査サービスを行っている個々の目的地から混雑状況や診察時間、目的地までの距離などの情報を収集する。個々の目的地から収集したこれらの情報より、案内ロボットは何らかのアルゴリズムに基づいて、現時点で最適な目的地とその目的地までの経路を導出する。目的地までの経路を求めるこの過程を経路計画と呼ぶ。ここで最適とは、ある評価関数の最小値または最大値を意味しており、例えば目的地での最小待ち時間や最短経路を指す。

次に、目的地までの経路が計画されたら、経路に沿って人を案内するが、実際の案内を行うために経路を移動する速度を決める必要がある。ここで、経路計画によって与えられた経路上における各点での走行速度を導出する過程を軌道計画と呼ぶ。荷物運搬など産業用ロボットの軌道計画を行う場合には、経路の形状と制御系特性を考慮すれば、高速度化・高精度化を実現することが可能である。しかし、案内ロボットは産業用ロボットと違って高速度・高精度が目的ではないため、その軌道計画を行うときは、センサを用いて被案内者との距離や表情や身体状況などの被案内者に関する情報を検出し、その人間の行動や意思を理解した上で、経路を移動する速度を導出することが必要である。すなわち、案内ロボットの軌道計画はリアルタイムで行う必要がある。

以上のように、人間は最適な目的地までロボットに案内され、検診を受ける。案内された目的地での検診が終了すれば、経路計画法により次に移動すべき最適な目的地と経路が計画され、リアルタイムで被案内者に関する情報を検出し、軌道計画を行いながら人間を案内する。結果として、この経路計画と軌道計画を繰り返すことで、案内ロボットによる健康診断を目的とする案内サービスが行われる。ここでは、経路計画については言及せず、つまり経路がすでに決められたものとして、案内行動において最も重要な要素の一つとして案内ロボットと人間との距離を考慮した軌道計画による案内について説明する。案内の効果を定量的に示すために、図 2 に



写真2. 案内実験の様子

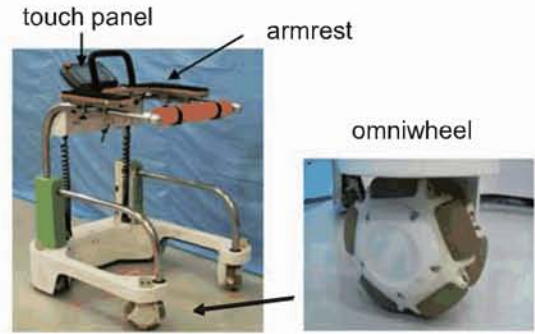


写真3. 全方向移動型歩行機

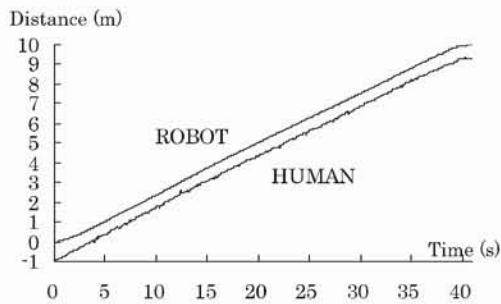


図3. 相対距離を70cmとする案内実験結果

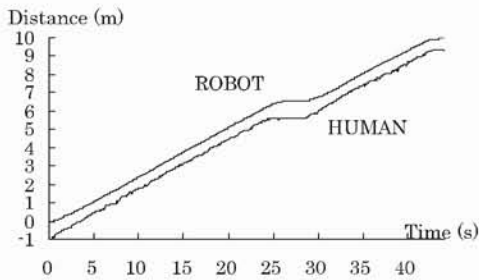


図4. 途中で一旦停止状態がある案内実験結果

示すようにある地点から10m先のゴールまで人を案内する実験を行った。ただし、実環境の多様な要因の影響を避けるため、写真2に示すように、障害物の無い廊下で実験した。

人間の案内知識の定量化により得た案内ロボットの目標軌道と、被案内者の歩行結果を図3に示す。ただし、案内ロボットと被案内者との距離を70cmとする。また、被案内者は途中では何らかの原因で一時停止した場合、案内ロボットが被案内者を待っている実験の様子を図4に示す。これらの結果により、被案内者との相対距離を保ちながら目的地まで案内できることを確認した。

最近、より人間らしい案内を実現するために、被案内者の特性、意思、好みを考慮して、被案内者毎に適切な相対距離を自動に設定する機能を付け加

えた。また、音声会話を設けることにより、被案内者と自然言語を媒介として積極的にコミュニケーションを行い、被案内者の特性や意思が理解できるようになり、さらに盲人案内機能も実現でき、有益な実験結果を得ている。

### 3.2 歩行支援ロボットへの応用

歩行運動は、健康を支え自立生活の基本である。社会の高齢・少子化につれて、加齢や事故などによる歩行障害者が増え、一方、理学療法士の絶対人数不足問題が非常に深刻である。したがって、歩行機能のリハビリロボットや歩行支援ロボットの開発が求められている。歩行運動は、立位前方方向運動だけではなく、左右方向運動、斜め方向運動、旋回、回転等から複雑な動作群である。よって、著者の研究グループは、写真3に示すような全方向移動型歩行機を開発し<sup>11)</sup>、有用性が臨床試験により確認されている<sup>12)</sup>。本歩行訓練機は、全方向運動機能を持っており、日常生活において必要とされる複雑な歩行動作群を実現できるので、機能的には歩行支援機として使用も可能である。一方、歩行支援機は被支援者の方向意図を適切に理解することが必須である。ここで、被支援者の方向意図を理解し、自動的に歩行動作を支援できる歩行支援機を歩行支援ロボットと呼ぶことにする。

方向意図解法<sup>13)</sup>としては、被支援者の肘を支えるアームレストの中に荷重センサーを埋込み、アームレストにかかる荷重の計測で、方向意図を認識すると考え、図5に示すように、アームレストの中にある四か所に荷重センサーを内蔵した。本方向認識法は、次の利点がある。

- ① ジョイスティックやタッチパネルなどの方向指示装置の操作は特に意識する必要がなくなり、歩行の安全性が高まる。
- ② 現在盛んに研究されているブレインマシンインターフェースと比べて、脳波など生体信号測

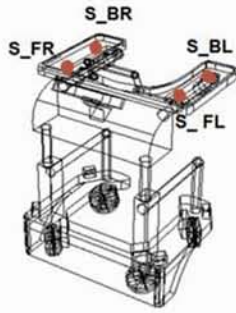


図 5. 荷重センサーの取り付け

定デバイスは使用せずコストが低減される。

- ③ 歩行訓練機のアームレストに荷重センサーを組み込むことで、一機が二機能すなわち歩行訓練と歩行支援を同時に実現するので、老人ホームや施設などではマルチ・ユーザに効率よく利用されることが可能となる。

方向意図認識のための知識抽出について述べる。前腕荷重の特性と方向意図との関連性について計測実験を行った。実験では、被験者は 20 歳代の健康者男性 8 人で、行こうとする方向は次の 8 方向とした。①右 (0°)、②右前 (45°)、③前 (90°)、④左前 (135°)、⑤左 (180°)、⑥左後 (225°)、⑦後 (270°)、⑧右後 (315°)。毎回測定時間は 10 秒とした。測定実験では、192 回 (8 人×8 方向×3 回) の測定を行った。被験者毎に各方向意図における荷重のデータを取り出す。方向意図別に統計した各センサーにおける 8 人の被験者の荷重データの平均値 mean と標準偏差 SD を表 1 に示す。w\_fr、w\_fl、w\_br、w\_bl は、それぞれ荷重センサー S\_FR、S\_FL、S\_BR、S\_BL から測定した力学情報の値で単位は 0.025kgf である。便宜上、以下センサー出力の単位表記を省略する。

表 1 により、個人により方向意図を伝える荷重は異なり、統計的に荷重と方向意図において複雑ではあるが強い関連性があることが示された。これらの複雑な関連性を知識としてファジィルールを用いて統計的に定量化する。ここでは表 1 の統計結果に基づいて、下記のようなファジィルールを用いて言語知識を抽出する。

$$R^i : \text{if } w_{fr} = A^i_{fr}, \quad w_{fl} = A^i_{fl} \\ w_{br} = A^i_{br}, \quad w_{bl} = A^i_{bl} \\ \text{then } y = d^i \\ i = 1, 2, \dots, 8$$

ただし、 $i$  は表 1 にある番号①～⑧と対応し、 $d^i$  は  $i$  番目の方向意図である。前件部のファジィ集合

表 1. 腕荷重と方向意図の相関性

方向意図	腕荷重							
	w_fr		w_fl		w_br		w_bl	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
①R	216.5	58.1	17.1	15.3	454.1	165.5	81.9	45.7
②FR	290.3	66.1	23.9	18.2	121.7	110.6	34.8	20.4
③F	255.7	57.8	249.5	55	51.1	44.5	69.4	44.4
④FL	17.6	13.9	321.3	93.65	41.5	41.2	128.3	83.2
⑤L	4.7	4.65	199.9	55.4	81	49.9	465.1	117
⑥BL	3.4	3.2	74.1	30.7	82.6	32.9	607.9	174.8
⑦B	3	2.7	16.9	9.7	454.9	117.7	440.5	83.8
⑧BR	66.9	30.8	3.2	2.7	575.4	179.4	109.8	36.9

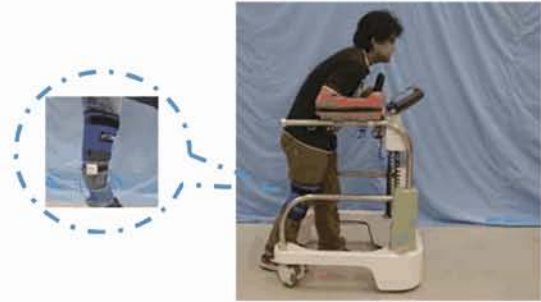


写真 4. 右足拘束疑似障害者実験の様子

$A$  は三角型ファジィ集合であり、 $A$  のメンバーシップ関数の頂点の座標は平均値 (mean, 1)、底辺の両端の座標は (mean - SD, 0) と (mean + SD, 0) とする。つまり、このファジィ言語ルールベースは、各センサーの出力と方向意図との統計的な関係から得られる知識である。

写真 4 に示す疑似障害者による四方形経路の走行実験を行った。実験では、被験者の片脚 (右足) の膝関節を拘束し、関節可動域を減少させ膝の湾曲を困難にした。このように個人の特性に適用するために、知識の更新や新たな知識の獲得など所謂学習機能を加える必要がある。ここでは、距離型ファジィ推論法の独自の学習アルゴリズム<sup>9)</sup>を用いて、個人特性を獲得する。学習前と学習後の経路追従実験の結果をそれぞれ図 6 と図 7 に示す。被験者の右膝は、湾曲が困難であったため、右肘の荷重は軽くなった。前方と左方に移動した時、余り影響されなかったが、右肘の荷重の重要である後方と右方に移動したときに、学習前には経路から外れたが、学習後には精度よく経路に沿って走行できた。また、学習前の実験で、経路のずれが生じた際、被験者は歩行支援ロボットの方向を修正しようとして意識的に荷重を調整したので、荷重と推論結果にばらつきが大きかった。図 6 と図 7 の結果より、学習法の個人特性への対応の効果が確認できる。よって、アームレストに荷重センサーを装着し、前腕荷重と方向意図との関連性を統計的解析し、距離型ファジィ推

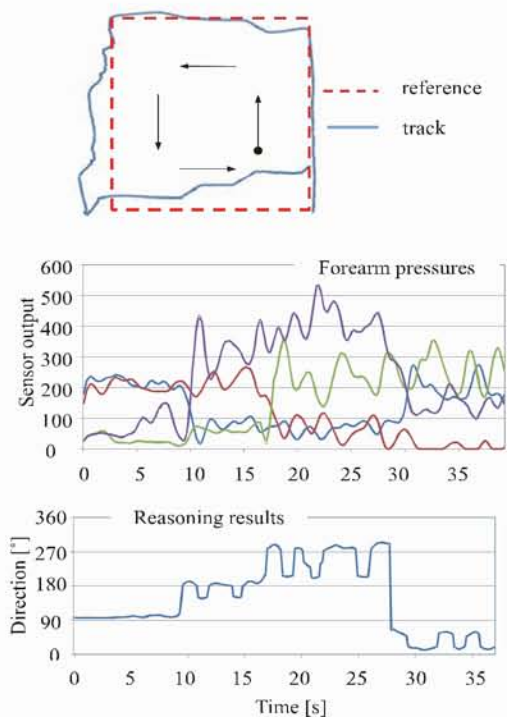


図 6. 方向意図の認識結果 (疑似障害者, 学習前)

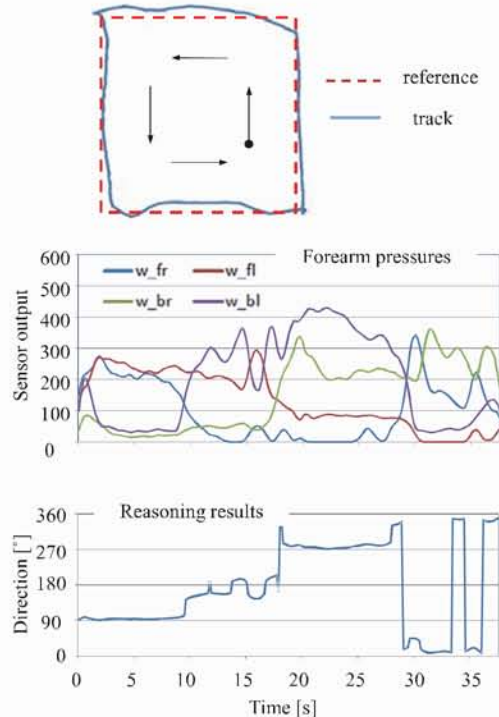


図 7. 方向意図の認識結果 (疑似障害者, 学習後)

論法を用いた方向意図同定法の開発に成功した。

#### 4. 結言

高速・高精度を追求する産業用ロボットと違って、人を相手とする、医療・福祉ロボットの究極的な研究課題は、安全性の確保と高度な知能化である。本稿では、言語知識による知能化の立場から、距離型ファジィ推論法を説明し、その案内ロボットと歩行支援ロボットの知能化への応用について述べた。ここでは、基本的な推論アルゴリズム<sup>7)</sup>を一つだけ紹介したが、距離型ファジィ推論法の理論体系は、内容が豊富であり<sup>8,9,14,15)</sup>、数理的に整備されており、国内・国外における他の研究グループに注目されている<sup>16,17,18,19,20)</sup>。フリーウェアとして開発した「ヒューマン推論エンジン」は、学会で紹介されており (<http://www.j-soft.org/tool/software/>)、広く発信している。知能化された案内ロボットを含む、他のロボットの動画は、研究室のホームページ (<http://www.lab.kochi-tech.ac.jp/robotics/>) より公開している。中には特に歩行訓練・歩行支援ロボットは、海外でもレビューされている<sup>21)</sup>。また、最近新型生活支援ロボットの開発も始めている<sup>22,23,24)</sup>。

一方、力をキーワードとするロボティクスから見ても、情報を中心概念とする人工知能分野から見て

も、また自動化・無人化を目的とする制御工学から考察しても、健康増進・医療・福祉ロボットの理論体系は未完成であり、学問としてはまだ成り立っていない<sup>25)</sup>。従って、研究としては肥沃な土地であり、これから多くの研究成果が期待できると考えている。

#### 謝辞

これまでの学生諸君及び特任講師姜銀来の努力は無ければ、本稿の内容は成り遂げられない。また、長年にわたり、工学・医学・企業の共同研究者との議論中で得たものが沢山あり、合わせて感謝致します。研究開発にあたって、外部資金として以下の研究助成をいただきました。この場を借りて感謝の意を表致します。最後にこの貴重な機会を与えていただいた本学紀要の編集員会の皆様に感謝致します。

- ① 科研費： 17500156、21300212、24300203
- ② キヤノン財団： 産業基盤の創生
- ③ カシオ科学振興財団： 自然科学 (H17.21)
- ④ JST： RSP事業、シーズ発掘試験
- ⑤ IPA： 未踏ソフトウェア創造事業

#### 文献

- 1) Lotfi A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and*

- Control*, Vol.8, pp.338-353,1965.
- 2) 中島尚正：工学は何を目指すのかー東京大学工学部は考えるー，東京大学出版会(2000)
  - 3) E.H.Mamdani, “Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant,” *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers-London*, Vol. 121, No. 12, pp. 1585-1588 , 1974.
  - 4) T.Takagi and M.Sugeno, “Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control,” *IEEE Transation on SMC*, Vol.15, No.1, pp.116-132, 1985.
  - 5) 前田幹夫, 村上周太：自己調整ファジィコントローラ，計測自動制御学会論文集, Vol.24, No.2, pp.191-197, 1988.
  - 6) 水本雅晴：ファジィ制御の改善法（IV）（代数積-加算-重心法による場合），第6回「ファジィシステムシンポジウム」講演論文集，pp.9-13 (1990)
  - 7) 王碩玉，土谷武士，水本雅晴：距離型ファジィ推論法，バイオメデカルファジィシステム学会論文集， Vol.1, No. 1, pp.61-78 (1999)
  - 8) 王碩玉，水本雅晴，土谷武士：距離型図形推論法，日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.17, No.1, pp.122-133 (2005)
  - 9) Shuoyu Wang, Takeshi Tsuchiya, and Masaharu Mizumoto, “A Learning Algorithm for the Distance-Type Fuzzy Reasoning Method,” *Journal of Biomedical Fuzzy Systems Association*, Vol. 6, No. 1 , pp. 61-68,2000.
  - 10) Yoshinobu Mizobuchi, Shuoyu Wang, Koichi Kawata and Masaki Yamamoto, “Trajectory Planning Method of Guide Robots for Achieving the Guidance,” *IEEE Int.Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO'2005)*, pp.705-708, 2005.
  - 11) 王碩玉，河田耕一，石田健司，山本博司，木村哲彦：全方向移動型歩行訓練機，第17回ライフサポート学会学術講演会論文集(2001)
  - 12) 石田健司，王碩玉，永野正展，岸孝司：全方向移動型歩行訓練機を用いた運動訓練の有用性，運動・物理療法, Vol.19, No.4, pp.246-250 (2008)
  - 13) Yinlai Jiang, Shuoyu Wang, Kenji Ishida, Takeshi Ando and Masakatsu G. Fujie, “Control of an Omnidirectional Walking Support Walker by Forearm Pressures,” *Proceedings of The 33rd Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '11)*, pp.7466-7469, 2011.
  - 14) 王碩玉，水本雅晴，土谷武士：真理値を考慮した距離型ファジィ推論法，バイオメデカルファジィシステム学会論文集， Vol.2, No. 1, pp.29-46 (2000)
  - 15) 王碩玉，水本雅晴，土谷武士：距離型多重多段ファジィ推論法，バイオメデカルファジィシステム学会論文集， Vol.3, No. 1, pp.37-58 (2001)
  - 16) 柴田定康：BMFSA19年の歴史を作った人々，バイオメデカルファジィシステム学会年次大会論文集，pp.53-56 (2004)
  - 17) 塚本弥八郎著：ファジィ情報論，大学教育出版社，pp.63-66 (2004)
  - 18) 小島洋一郎，木村太，三上剛，北間正崇：超音波とソフトコンピューティングによる混合味溶液の識別，電気学会論文集 (E), Vol.124, No.11, pp.407-414 (2004)
  - 19) 有本亮，和田憲造，藤井文武：人間のあいまいな表現を学習する音声制御ロボット，日本機械学会論文集 (C)， Vol.77, No.775, pp.1029-1040 (2011)
  - 20) Fengqiu Liu and Xiaoping Xue, “Design of Natural Classification Kernels Using Prior Knowledge”, *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, Vol.20, No.1, pp.135-152, 2012.
  - 21) Maria M. Martins , Cristina P. Santos , Anselmo Frizzera-Neto, Ramón Ceres, “Assistive Mobility Devices Focusing on Smart Walkers: Classification and Review”, *Robotics and Autonomous Systems*, No.60, pp.548-562, 2012.
  - 22) 王碩玉，石田健司，藤江正克：単体多機能型自立生活支援ロボット，生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会ー WWLS (*Welfare, Wellbeing, Life Support*) 2010ー， pp. 536-537(2010)
  - 23) Shuoyu Wang, Yuto Watanabe and Rempeng Tan, “Adaptive Controller for Motion Control of Seat-style Omnidirectional Mobile Walker,” *ICIC Express Letters*, Vol.6, No.12, pp.3183-3188, 2012.
  - 24) Yina Wang, Shuoyu Wang, Rempeng Tan, Yinlai



Jiang and Kazuhiro Hamaguchi, Digital Acceleration Controller Based on Recursive Least Squares (RLS) Identification for an Excretion Care Support Robot, *Proceedings of the 2012 IEEE Int.Conf. on Mechatronics and Automation (ICMA '12)*, pp.1639-1644, 2012.

- 25) 王碩玉:健康増進・医療・福祉ロボット(解説), 知能と情報, Vol.19, No.4, pp.360-369 (2007)

# Distance Type Fuzzy Reasoning and its Application to Medical Welfare Robots

**Shuoyu Wang**\*

(Received: May 20th, 2013)

School of Systems Engineering, Kochi University of Technology  
185 Tosayamadacho-Miyanokuchi, Kami, Kochi, 782-8502, JAPAN

\* E-mail: wang.shuoyu@kochi-tech.ac.jp

**Abstract:** This paper introduces the distance type fuzzy reasoning method and its application to the intelligent technologies for medical welfare robots. First, the algorithm and properties of the fuzzy reasoning based on the distance between fuzzy sets are explained. Second, a guide robot and a walking support robot are introduced as the examples of medical welfare robots. Furthermore, the intelligent technologies, which have been applied to the guide robot and the walking support robot, using the distance type fuzzy reasoning method are described. Finally, the contribution of medical welfare robots to the aged society is surveyed.