

# ファジィ支援情報を用いた歩行者誘導システムの提案

○ 伍井智彦 澁谷長史 安信誠二 (筑波大学)

## A proposal of pedestrian guidance system using fuzzy instruction

\* T. Itsui and T. Shibuya and S. Yasunobu (University of Tsukuba)

**Abstract-** With the aging of society, the number of elderly people who have difficulty walking is increasing. Therefore, pedestrian guidance system is researched, in order to assist walking of elderly such. However, current systems do not take into account the user's intention. We propose pedestrian guidance system based on a caregiver's knowledge. We used the intelligent control machine that built the human knowledge into the control machine as a supporting system. The purpose of the proposal system is to allow some degree of freedom of a walking. In addition, this system is used for the fuzzy instruction. In order to improve communication between walker and support system.

**Key Word:** Induction pedestrian, Support to elderly, Fuzzy control, Four-wheel vehicle

## 1 序論

高齢社会の到来と共に、日常生活や社会参加に不可欠な「安全な歩行」を行うことに困難を感じる人の数が非常に多くなっている。現在でも高齢者に対しては介助者が歩行の付き添いをしたり、介助犬を貸与するなどして、高齢者に対する支援が行われている。しかし、介助者や介助犬の供給量は、その需要量に対して大幅に下回り、十分な支援が行われていないというのが現状である。そこで、「障害物回避先導ロボット」や「盲導犬ロボット」などの歩行者誘導システムを導入し、高齢者の移動・歩行を支援しようとする試みが実行に移されている [1] [2] [3]。

本研究で構築する歩行者誘導システムは、人間の介助者の代わりにロボットが歩行誘導を行うシステムである。もともと盲導犬ロボット等は視覚障害者を支援対象としたシステムであり、ロボットが被支援者を先導し、ロボットのすぐ後ろを被支援者が追従するといった使用環境を想定している。ロボットが常に最適な経路を算出し、被支援者をリードするため、特に支援対象が全盲者である場合は有効な手段である。しかし、支援対象が単純に認知や判断力に衰えがある高齢者である場合、従来型のシステムでは歩行における主体性がロボット側に存在し、被支援者の自由な歩行が妨げられ、被支援者にとっては使いにくいシステムとなるという課題がある [4]。

そこで我々は、高齢者を支援対象に含めることを考え、被支援者の自由な歩行をある程度許容する歩行者誘導システムの実現を目的として研究を行った。本研究で提案する支援システムは、被支援者が通り得る経路を複数予見し、評価を行う。そして、評価結果を被支援者に提示することで、被支援者に対してどの進路

がどのくらい適切なのかを示し、評価結果の高い安全な方向へ誘導を行う。また、どの方向に進むか、という進路選択の決定権は被支援者側に与えることで、歩行における自由さを確保する。ただし、被支援者が評価結果の低い方向へ進もうとする場合には、注意警告を出し適切な方向へ進路を修正することを促す。

本論文では、上述したシステムを構築し、シミュレーション実験を行うことでシステムの有効性について検証する。

## 2 歩行者に対する支援

### 2.1 歩行者支援の背景

内閣府が公表している平成 24 年度版高齢社会白書 [6] によると、平成 23 年 10 月 1 日の時点で、65 歳以上の高齢者の人口は、過去最高の 2975 人となった。総人口に占める割合（高齢化率）も前年の 23.0% から 0.3% 増加し、23.3% を記録した。全人口に対する高齢者の割合は、今後も増加の見通しが立っている。2013 年には 4 人に 1 人が、2035 年には 3 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者となると推定されている。

一方で、高齢者の外出時のトラブルが相次いで発生している。特に、横断歩道を通行する際の信号無視による交通事故の発生が多い。それ以外にも、自転車との接触事故や、段差等の障害物での躓きなど、事故は絶えない。このことから、高齢者や障害者の歩行を助け、日常生活や社会参加を促す支援が必要である。

現在、これらの認知や判断、運動能力の低下した高齢者に関する事故を未然に防ぐために、介助者や介助犬による高齢者支援が行われている。しかし、核家族化・少子高齢化の進行と共に、介助を受けられる人の割合は減少傾向にある。そこで、高齢者や障害者の移

動を助ける手段として、歩行者支援システムの導入が期待され、研究開発が盛んに行われている。

## 2.2 歩行者支援の種類

歩行者支援システムには、用途や機能に応じて様々なものがあるが、大きく分けて、歩行者誘導システム・歩行補助システム・歩行者 ITS の3つに分類できるといえる。

本研究では認知・判断能力の低下した高齢者の安全な歩行を支援するという観点から、歩行者誘導システムについて研究を行った。

## 2.3 本研究の取り組み

盲導犬ロボットなどの従来型の歩行者誘導システムの支援対象は視覚障害者に限定される。盲導犬ロボットは被支援者の前方、または真横に付き、周囲の状況を把握し、最適な経路を生成する。そして、生成した経路をロボットが先導し、被支援者はそれに追従するという形をとる。このことから、歩行における行動の主体性はロボット側に存在していると言え、視覚障害者を支援する手段としては有効なものであると考えられる。しかし、このシステムを高齢者に対して使用する場合、高齢者側の自由な歩行が制限され、逆に利用者にとって使いにくいシステムになってしまいますと考えられる。

一方で、高齢者の歩行に対して支援を行う場合、支援を行うのは高齢者の家族や施設職員等の介助者である。介助者は高齢者に対して、「この道は狭いから注意して歩こう」「この道は広めだからこっちを歩いて大丈夫」などの、曖昧ではあるが、高齢者の意思を考慮した支援を行っている。そこで本研究では、あたかも人間の介助者が傍に居て支援を提供するようなシステムの実現を目指し、被支援者（高齢者）の自由な歩行をある程度許容する歩行者誘導システムを提案する。提案システムは、介助者（人間）による曖昧ではあるが適切な支援を実現するために、支援情報をファジィ量で算出した。このファジィ化した支援情報を提示することで、人間が行うような柔軟な支援を行う。

## 3 ファジィ支援情報を用いた歩行者誘導システム

### 3.1 歩行者誘導システムの使用環境

人間の介助者が支援を行う場合(図1)を基にし、支援システムを構築する。人間の代わりに支援を行う存在として、四輪駆動型の誘導ロボットを用いる。この誘導ロボットに取っ手を取り付け、手押し車(シルバー

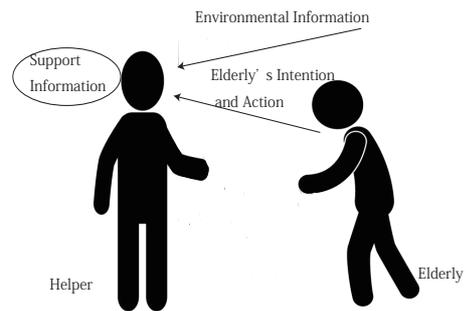


図 1: Support by Human



図 2: Supported by the Proposed System

カー)のように用いることを想定している(図2)。

### 3.2 ファジィ支援情報を用いた支援

ファジィ支援情報とこれを用いた歩行者誘導方法について説明する。ファジィ支援情報とは $(\phi_{0.5}, \phi_{0.25}, \phi_0, \phi_{-0.25}, \phi_{-0.5})$ という四輪型誘導ロボットの操作候補を要素として持つファジィ集合である。ここで、 $\phi_{0.5}$ とは誘導ロボットの操舵角が左方向に $0.5[\text{rad}]$ となっている事を表し、誘導ロボットは左に旋回を行う。逆に、 $\phi_{-0.5}$ は誘導ロボットが右旋回を行うことを表し、 $\phi_0$ の場合、誘導ロボットは直進する。また $(\phi_{0.5}, \phi_{0.25}, \phi_0, \phi_{-0.25}, \phi_{-0.5})$ はそれぞれについてメンバシップ値 $\mu$ を持つ。ここで扱われるメンバシップ値とは、操作候補が“良い操作”という集合に属している度合いであり、その操作候補がその場その場

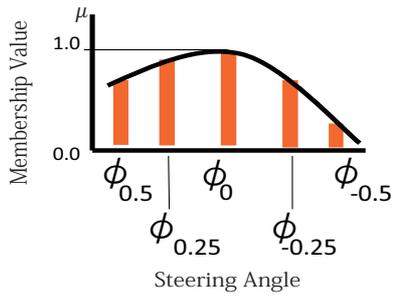


図 3: Fuzzy Instruction

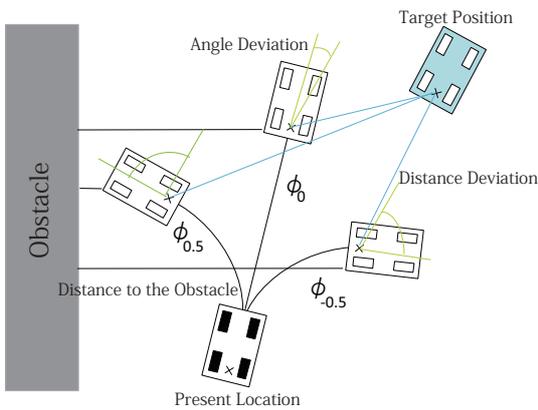


図 4: Calculation of Support Information

どの程度適切であるかを 0.0~1.0 の数値で表現するものである。

具体的に図 3 を用いて説明する。このファジィ支援情報において、 $\phi_{0.5}$  のメンバシップ値は約 0.6 であるので、 $\phi_{0.5}$  は”良い操作”に 0.6 の度合いで適合しており、まあまあ良い操作である、という事を示す。逆に、 $\phi_{-0.5}$  のメンバシップ値は約 0.3 であるので、あまり良くない操作である。という事を示す。

また、ファジィ支援情報は、誘導ロボットの現在位置に対して「壁との距離」「目標位置に対する角度偏差、距離偏差」という項目によって決定される (図 4)。

### 3.3 支援情報の提示方法

ファジィ支援情報を歩行者に提示する方法として、画像や音声、触力覚で提示し、ナビゲーションを行う方法が考えられる。本研究ではまず、画像による支援情報の提示を考え、システムを構成した。ディスプレイに提示する内容としては、図 3 のようなファジィ支援情報そのものを表示するとともに、現在進路に対する評価、危険時における誘導情報を表示した。



図 5: Change in Facial Expression

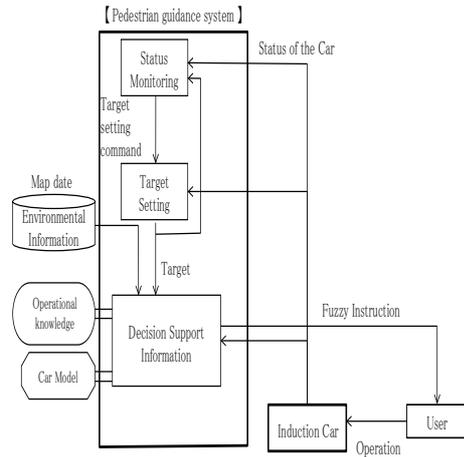


図 6: System Configuration

現在進路に対する評価は図 5 のような顔の表情で表現した。図中、左の笑顔の表情は現在進路のメンバシップ値が 0.7 以上 1.0 以下の時に表示され、現在の進路が適切である事を示す。図中、中央の微笑みの表情はメンバシップ値が 0.4 以上 0.7 未満の時に表示され、現在の進路が現時点ではまあまあ適切であるが後々進路変更が必要である、という事を示す。図中、右の悲しげな表情はメンバシップ値が 0.0 以上 0.4 未満の時に表示され、現在の進路は適切ではなくすぐに進路を変更する必要がある、ということを示す。危険時における誘導情報は、現在の進路に対するメンバシップ値が 0.0 以上 0.4 未満の時に表示される。最もメンバシップ値の高い方向に進路を修正してもらうために、その方向に矢印マークを表示し、誘導を行う。

### 3.4 システム構成

本システムはシステム構成図 (図 6) が示すように、状況監視部、目標設定部、支援情報決定部の 3 つのセクションによって構成される。

#### 3.4.1 状況監視部

状況監視部は誘導ロボットが目標位置に到達したかどうかの監視を行う。誘導ロボットが目標位置に到達した場合、目標設定部に新しい目標を再設定させる指

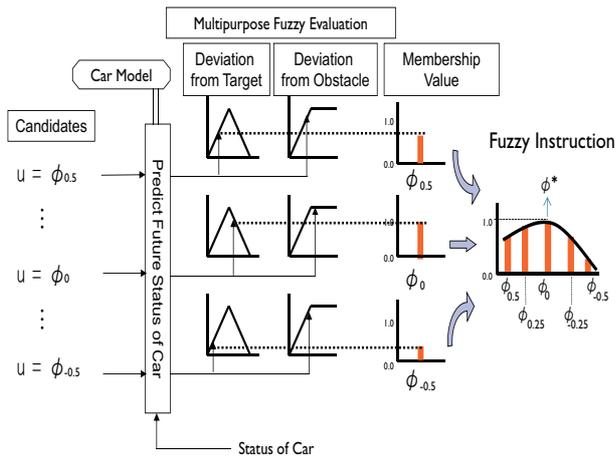


図 7: Generation of Fuzzy Instruction

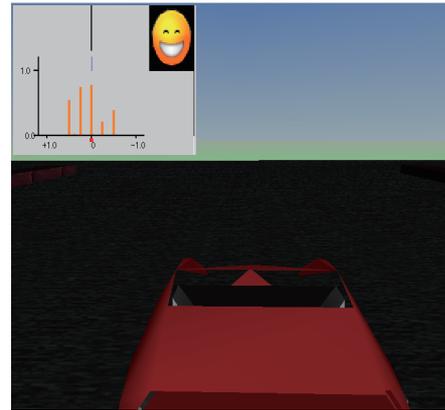


図 8: Simulation Screen

令を出す。もし現在の目標と最終目標が等しい場合、走行を完了したと判定する。

### 3.4.2 目標設定部

目標設定部では状況監視部からの指令を受け、目標の再設定を行う。また、現時の通過目標を支援情報決定部に伝達する。

### 3.4.3 支援情報決定部

支援情報決定部では予見ファジィ制御により、ファジィ支援情報の生成を行っている。ファジィ支援情報は誘導ロボットに関する複数の操作候補それぞれについて、車両モデルを通し、もしそれぞれの操作を行った場合の誘導ロボットの将来状態の予見を行う。そして、予見結果に対して多目的ファジィ評価を行い評価結果を出す。その評価結果をまとめたものがファジィ支援情報となる(図7)。

複数の操作候補は $(\phi_{0.5}, \phi_{0.25}, \phi_0, \phi_{-0.25}, \phi_{-0.5})$ の5つとする。使用する車両モデルはアッカーマン・ジャントー操舵機構を持つ四輪車の運動方程式を用いた。また、誘導ロボットの将来状態の予見とは、操作候補を一定時間入力した後の誘導ロボットの状態 $(x, y, v, \theta)$ である。予見結果に対する多目的ファジィ評価は「目標位置との距離偏差・角度偏差」「障害物との距離」という項目で行う。それぞれの項目について評価を行い、最小値を取ったものがその操作候補の評価値となる。

## 4 シミュレーション実験

前章で述べたシステムをMATLABで構成し、シミュレーション実験を行った。このシミュレーション実験では提案システムが適切な支援情報を算出することが

出来ているかどうかについて検証を行った。

### 4.1 シミュレーション環境

シミュレーション実験では、広い道から狭い道へ進入する道路を想定し、提案システムを実装し、誘導ロボットを模した車両を走行させた。マップ上における初期位置は $(-10[m], -20[m])$ にあり、目標位置 $(0[m], 20[m])$ に向けて移動を行う。シミュレーション時は、車両の状態や位置をより明白に視認するため、MATLABのVirtual Reality Toolboxを利用した(図8)。

また、シミュレーション実行時において、車両はユーザが操作する必要があるが、今回は仮想ユーザを用意しシミュレーションを行った。仮想ユーザは次の2パターンを設定した。(i) 移動ルートに関して特に意思や希望を持たない(ファジィ支援情報の中で常に最大のメンバシップ値を持つ操作候補を選択する)ユーザ。(ii) できるだけ左の壁際を移動したいという意味を持つ $(\phi_{0.5}$ および $\phi_{0.25}$ の操作候補のメンバシップ値が0.7以上の場合、そちらを優先的に選択する)ユーザ。前者を仮想ユーザN(Non-policy user)、後者を仮想ユーザL(User to give priority to the left)とする。

### 4.2 実験結果

仮想ユーザNによる走行結果を図9に、仮想ユーザLによる走行結果を図10に示す。また、図10中の地点A,B,Cにおけるファジィ支援情報を図11,12,13に示す。

### 4.3 考察

上記のシミュレーション実験結果について考察する。図9から、仮想ユーザNは車両を一旦右に移動させ、

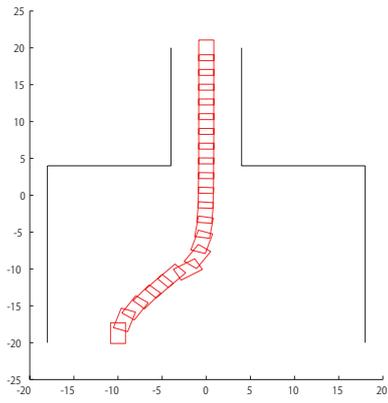


图 9: Trajectory Traveling by User N

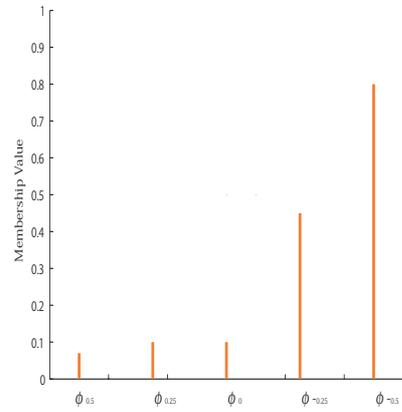


图 12: Fuzzy Instruction at the Point of B

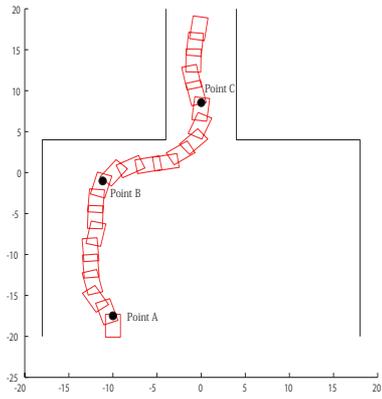


图 10: Trajectory Traveling by User L

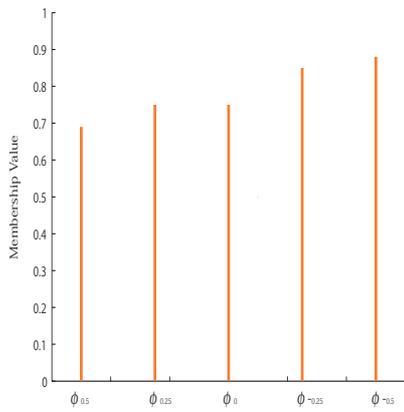


图 11: Fuzzy Instruction at the Point of A

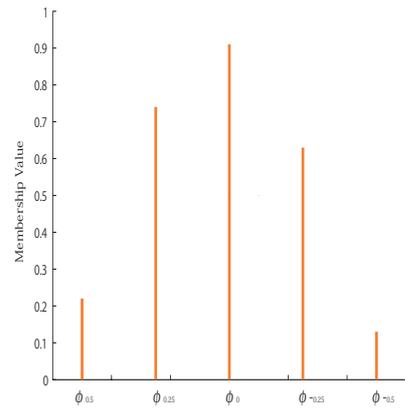


图 13: Fuzzy Instruction at the Point of C

そのまま目標位置に向けて前進している。これはこのマップにおいて最短と考えられるルートであり、障害物に対しても一定の距離を保ちつつ移動することが出来ている。このことから提案システムが適切な進路を取り、目標位置までユーザを誘導できる事が確認できた。

次に図 10 から、仮想ユーザ L は走行序盤の広い道においてマップ左方向に進路を取りつつ、狭い道に進入し、出来るだけ左の壁際を移動したいという仮想ユーザの意思を反映した軌道になっている。進入後は、左右にはあまり移動せず直進している。図 11 のファジィ支援情報から、走行序盤の地点 A においては、5 つの操作候補すべてのメンバシップ値が高い値で算出されている。つまり、走行序盤においては障害物との距離が遠く、またどの操作候補も目標位置に接近しているため、システムは人間の自由な操作を許容するような支援情報を算出できているといえる。その後、地点 B のファジィ支援情報 (図 12) では  $\phi_{-0.5}$  のメンバシップ値が最も高くなっており、障害物接近時において適切なファジィ支援情報を算出し、障害物回避を行っている事がわかる。また、地点 C (図 13) では左右に障害物があるため、 $\phi_0$  のメンバシップ値が最も高く、車両は直進している。

上記の考察から、提案システムは障害物のない広い道においては、ユーザに対してどの進路をとっても良い、というようなユーザの行動を許容するような支援を行う。また、障害物接近時や狭い道においては、図 12 のような特定の操作のメンバシップ値のみを高くし、ユーザの行動を制限しつつも安全な方向へ誘導を行う。このようなシステムの動作は本研究の目的である、被支援者の自由な歩行をある程度許容するシステムの効果に一致している。したがって、シミュレーション実験によって、提案システムの有効性が確認できた。

## 5 結論

本論文では、歩行時における高齢者の誘導支援の必要性と、現状の歩行者誘導システムの問題点について述べた。

視覚障害者支援に重点が置かれている歩行者誘導システムについて、支援対象に一般の高齢者も含めた支援システムを提案し、被支援者の自由な歩行をある程度許容する歩行者誘導システムの実現を目指した。

歩行者を誘導するための誘導ロボットには四輪車を用いる事を想定し、予見ファジィ制御により、制御系を構築した。また、被支援者に提示する支援情報として、ファジィ支援情報を用い、支援情報に柔軟性をも

たせた。

シミュレーション実験では、広い道から狭い道に進入するという状況のもとで、2 パターンの仮想ユーザによる実験を行った。実験結果から、障害物に接触する危険性が少ない広い道では、支援システムはほぼ進路決定について関与しなかった。しかし、障害物接近時や目標位置から遠ざかる場合には、ファジィ支援情報のメンバシップ値が大きく変化し、ユーザに対して適切な誘導情報を算出できる事を確認できた。

以上の結果から、構築した歩行者誘導システムが、歩行者に対して状況に応じた柔軟な支援を提供できる事を確認できた。

## 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] 小谷信司, 清弘智昭, 森英雄 “視覚障害者のための歩行ガイドロボットの開発”, 映像情報メディア学会, Vol.51, No.6, pp.878-885, 1997.
- [2] 香山健太郎, 矢入郁子, 猪木誠二 “周囲の環境を認識・提示するユーザ搭乗型屋外移動ビークル”, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol.103, No.589, pp.29-34, 2004.
- [3] 矢入郁子, 猪木誠二 “高齢者・障害者を含むすべての歩行者を対象とした歩行空間アクセシビリティ情報提供システムの研究”, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.12, pp.2940-2951, 2005.
- [4] 松田将志, 蘭卓真, 辻田勝吉, 増田達也, “盲導犬ロボットに向けた四脚ロボットのハーネシングによる誘導歩行”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1A1-D18(1) - 1A1-D18(4), 2008.
- [5] 安信誠二, “ファジィ工学”, 昭晃堂, 1991.
- [6] 内閣府, “平成 24 年版高齢社会白書”, 2012.
- [7] 伍井智彦, 安信誠二 “ファジィ支援情報の形状提示による四輪車運転支援の提案”, 知能機能システム学会論文誌, Vol.27, pp.157-160, 2011.
- [8] S.H.Zhou, S. Yasunobu “A Cooperative Auto-driving System Based on Fuzzy Instruction”, proc. of the 7th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.300-304, 2006.