

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00346

研究課題名（和文）人間の意図推論に基づく生体情報を用いた知的操作支援が可能な全方向車椅子ロボット

研究課題名（英文）Omni-directional Wheelchair Robot with Intelligent Operation Support System Using Biological Information Based Intention Inference of Human

研究代表者

前田 陽一郎 (Maeda, Yoichiro)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：40278586

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、人間の視覚における無意識的反応行動を示す顕著性マップと意識的注視行動を示す視線情報を基に、行動意図推定マップをファジィ推論により生成し、視線指示システムを提案した。さらに指示意図の信頼性が低い状態を人間によるヒューマンエラーと考え、操作者の動揺を示す心拍数と周囲環境の危険性を示す障害物までの距離情報に基づくファジィ推論により操作の信頼度を推定した。操作信頼度が低い場合には人間の操作よりも自律的障害物回避制御により介入操作支援を行なう。実機の全方向移動車椅子を用いた実験を行って、有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視線指示による電動車椅子の研究はいくつか存在するが、操作者の意図を認識しながら操作指示を行っている研究例は他には見当たらない。全周環境認識が可能な全方向車椅子もほとんど例がなく、操作者の意図した目標位置に自在に移動するには重要な機能と考える。また視線以外にも脳波、心拍などの操作者の生体情報計測により人間の心理状態を把握しながら操作支援を行うユーザフレンドリな知的走行支援システムも未開拓の研究テーマである。ここで得られた技術は人間工学分野での強力なヒューマンサポートシステムになり、将来的にはロボットの知能と人間の知能を融合した複合インテリジェンスの構築を目指した実用化研究に発展できると考える。

研究成果の概要（英文）：In this study, we proposed a gaze direction system based on fuzzy inference to generate a behavioral intention estimation map based on the saliency map, which shows unconscious reaction behavior in human vision, and gaze information, which shows conscious gaze behavior. The reliability of the operation was estimated by fuzzy inference based on the heart rate, which indicates the operator's agitation, and the distance to the obstacle, which indicates the danger of the surrounding environment. When the operation reliability is low, the interventional operation support is provided by autonomous obstacle avoidance control rather than human operation. An experiment using an actual omni-directional wheelchair was conducted to verify its effectiveness.

研究分野：人間共生システム

キーワード：知能ロボット 生体情報 ファジィ推論 視線計測 顕著性マップ 行動意図 全方向移動車椅子 全方位カメラ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 国内・国外の研究動向及び位置づけ

近年、障害者や高齢者を対象とした介護ロボットや福祉ロボットの研究開発が進んでおり、老人福祉施設や障害者支援施設だけでなく実社会での実用化が期待されている。これらの研究で障害者用のメカトロ機器を操作するために用いられる人間の生体情報として、脳波、筋電位、視線などが挙げられる。中でも視線は脳波や筋電と比べると比較的ノイズが少なく、電極を用いないため人間への装着負荷も少なく、レスポンス性の高い随意的指示入力として利用できる。しかしながら視線情報には無意識的な反応動作も含まれており、障害者がメカトロ機器を操作する指示入力として利用するには人間の意図を抽出する知的支援技術が必要となる。

#### (2) 着想に至った経緯

本研究の人間の意図を抽出する知的支援技術を構築する上で関連の深い要素技術として、研究代表者らはこれまでに以下の2つ基礎研究を行ってきた。これらについて簡単に紹介する。

##### ① ファジィ視覚的顕著性マップ

Itti らによって提案された顕著性マップは人間の視覚における受容野の働きを模倣した処理で、ボトムアップの注意モデルである。一般には、画像の色、輝度、方向の3つの特徴に基づく顕著性マップを単純な総和で求めてそれぞれの特徴に同じ重みを与えるが、通常、人間はこれらのすべてに等しく注意を払っているわけではない。そこで研究代表者らは、ファジィニューラルネットワークを利用して適切な特徴比率で顕著性マップを計算する方法を提案した。

##### ② 生体情報に基づくリラクゼーションサウンド生成

研究代表者らは大規模カオスを用いたサウンド生成システム(ICAS)の開発を以前から行っている。ICASでは、複数のカオス要素を結合させた大規模カオスである大域結合写像(GCM)を利用して同期性・非同期性をサウンドの音量・音長・音高の制御に用いることで多種多様なサウンドを生成することが可能である。これまで、1/f ゆらぎ分によるICAS生成サウンドの心地よさやリラクゼーションとの関係性の感性解析、脳波計測に基づく $\alpha$ 波・ $\beta$ 波・ $\theta$ 波の脳波含有率によるICAS生成サウンドのリラクセス度の推定手法、心拍計測に基づくRRI(心拍間隔)によるリラクセス度のファジィ推論手法等を提案している。

#### (3) 研究成果を発展させる場合にはその内容

本研究では、メカトロ機器の制御において人間の行動意図を正確に把握する支援システムを構築することを目的としている。ここで「行動意図」とは、人間の意識的注視行動(視線マップ)から無意識的反応行動(顕著性マップ)を除いた純粋に意図した行動目標を指す。ここでは視線情報において意識的な目の動きを中心に、無意識的な目の動きを抑制し、人間の意図する指示を抽出するためのファジィ意図推論手法を提案する。さらに、視線以外にもマルチ生体計測センサによる脳波、心拍などの障害者の生体情報計測や操作履歴情報の記録により人間のストレス度などの心理状態を把握しながらユーザの操作特性や指示傾向を学習し、指示情報の信頼性も同時に推定する。これにより、トラブル発生時に人間の指示が混乱した場合などにも適切な指示に切り替えて対処できるヒューマンサポートシステムを構築する予定である。

### 2. 研究の目的

本研究では、人間の視覚における受容野の働きを模倣した無意識的反応行動を解析できる顕著性マップと意識的注視行動を示す視線情報を基に、人間の行動意図推定マップをファジィ推論により生成し、無意識的反応を除去した意識的注視に基づく視線指示システムを提案する。さらに人間の意図をより正確に把握するため脳波などのマルチ生体情報を用いた意識的注視と無意識的反応の分析を行い、全方向車椅子の知的走行支援が可能なシステムの構築を目指す。

### 3. 研究の方法

本研究ではこのような人間の意図推論に基づく生体情報を用いた知的操作支援が可能な全方向車椅子ロボットを構築するため、H29年度～H31年度の3年間で段階的に以下の3つの研究課題をサブ目標として設定する。

- (1) 視線追跡および顕著性マップによるファジィ意図推論手法の確立 (H29年度)
- (2) 脳波・心拍計測によるストレス度に基づく指示意図の信頼性評価手法の確立 (H30年度)
- (3) 全方向電動車椅子ロボットによる知的走行支援システムの構築と性能評価実験 (H31年度)

#### 【平成29年度の計画】

##### (1) 視線追跡および顕著性マップによるファジィ意図推論手法の確立

本研究では、無意識的な目の動きを行動意図推定する上で抑制し、視線情報において意識的な目の動きを重点的に抽出する手法を提案する。ここでは無意識的な目の動きを抽出する手法として視覚的顕著性マップを利用する。人間の目が無意識的に向けられやすい場所を示した顕著性マップと人間の行動意図が含まれている視線情報を示した視線マップを組み合わせて、ファジィ推論により総合的に判断して行動意図推定マップを構築する。本研究の初年度では非接触型の視線計測装置を使用して視点指示における意図抽出実験を行う。

#### 【平成30年度の計画】

##### (2) 脳波・心拍計測によるストレス度に基づく指示意図の信頼性評価手法の確立

本研究では生体信号を用いて操作者のストレス状態を把握し、指示内容の信頼性を評価する手法を検討する。ここでは、これまでに本研究室で行ってきたマルチ生体信号計測に基づくリラクゼーションサウンド生成システムのノウハウを生かして、操作者が視線による指示を出している際にどの程度のストレス負荷があるかを生体信号計測装置で計測した生体信号により評価する。さらに、計測に用いる生体信号も脳波、心拍だけでなく発汗などの計測も行い、最もストレス度の評価に向けたものを選択することが重要であると考えている。

#### 【平成31年度以降の計画】

##### (3) 全方向電動車椅子ロボットによる知的走行支援システムの構築と性能評価実験

最終年度では、初年度に製作した全方向電動車椅子ロボットを用いて、全方位カメラによる全周環境情報をパノラマ画像展開した映像を着座した車椅子の操作者前方に設置したモニタに映す。これを見ながら操作者は視線による目標地点を指示し、顕著性マップの算出によりファジィ意図推論を行いながら、車椅子を走行制御する。その際、同時に操作者の生体信号を基に人間のストレス度などの心理状態を把握しながら算出された信頼度に応じて、操作者の指示内容を実際の操作に反映させる。このシステムを用いて、全方向車椅子ロボットの走行制御実験を行い、様々な環境における性能評価および感性評価を実施することにより、提案システムの有効性・実用性を実証する。

## 4. 研究成果

### (1) 視線追跡および顕著性マップによるファジィ意図推論手法の確立

人間の生体情報の中でも視線は多くの情報を含んでいる。本研究では、人間の注視を含んだ視線情報を用いて、操縦者の指示意図を推定し、全方向車椅子を制御することを目標とする。以下では、注視時間に基づく意識度マップと顕著性マップに基づく無意識度マップを組み合わせて意図推定マップを得る手法と行動意図について説明する。

#### ① 指示意図推定における全体の流れ

指示意図推定における全体の流れについて図1により説明を行う。最初に、全方向車椅子に設置したUSBカメラから前方向の風景画像を原画像として獲得し、被験者にモニタで提示する。さらにモニタ下方に設置した視線計測装置により被験者の視線位置と注視時間における停留時間を計測する。

また原画像を基に、顕著性マップを用いた無意識度マップを生成する。一方、視線計測装置から計測された注視時間と視線位置のデータから意識度マップを生成する。得られた特定の幅で領域分けにした無意識度マップと意識度マップをファジィ推論の入力情報として、2つのマップを2次元座標で表した際に、一致する領域同士についてファジィ推論を行ない、意図推定マップを生成する。

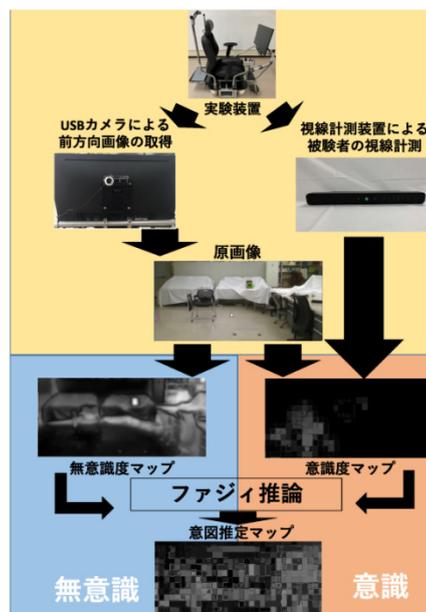


図1. 意図推定マップ生成の概略フロー

#### ② 注視時間に基づく意識度マップ

先行研究では、各画素の意識度を輝度値(0~255)として、目標に対して意識的に動かしている視点位置だけを意識度マップに反映させていた。しかしながら、本研究では視点位置だけでなく、注視時間と視線の軌跡を反映させた意識度マップを生成する。ディスプレイ下部に搭載した視線計測装置によりスクリーン(1280×720ピクセル)上における視点の位置座標を計測する。この視点は画像上における画素1点に対応して、この視点の意識度を100とした。次に、注視時間を計測するために視点の位置を中心に縦横40ピクセルの大きさで区切られた領域を注視判別領域とした。この時、視点のカレントポジションから5.0(s)前までを注視時間とした。注視時間の分だけ意識度を反映させるために、注視判別領域内に視点がある時、意識度に注視時間分だけ意識度を加算する。同時に、加算された意識度から時間減衰項として一定値を減算させることによって、視線の軌跡を徐々に消去する。

さらに、ファジィ推論により意図推定マップに統合するために、意識度マップの画像を40×40画素の大きさの領域にセル化を行う。セル値においては、各40×40画素の領域の中での1番目の画素を領域代表画素として、その画素のセル値を代表値とする。

### ③ 意図推定マップの合成

ファジィ推論を用いて、リアルタイムで意識度マップと無意識度マップの画像中の各画素について、それぞれの意識度と無意識度をあらかじめ設定したパラメータで評価することにより、本来の意図の強さを示す意図推定度を得る。最後に最も意図推定度が高いところを操縦者の指示意図の目標位置として、車椅子を移動させる。

ファジィ推論では、意識度と無意識度を組み合わせ、表 1 の意図推定ファジィルールにより意図推定度を出力する。本手法では無意識度マップと意識度マップを組み合わせるため、計算量が非常に大きくなることにより、プログラムでの動作が遅くなる。これにより、あらかじめ分割処理した意識度マップに加えて、無意識度マップも同様に 40×40 画素の大きさの領域に分割し、ファジィ推論の入力として全 192 領域に対して処理を行なう。この時、無意識度マップも各 40×40 画素の領域の中での最初の画素を領域代表画素として入力値とする。これらの分割処理された無意識度マップと意識度マップに対してファジィ推論を行なって推論結果を全体画素の出力値としての意図推定度とする。

表 1. 意図推定ファジィルール

sailency \ gaze	VS	SM	MI	BI	VB
VLI	MI	LH	MH	VH	VH
LI	LL	MI	LH	MH	HI
NM	ML	LL	MI	LH	MH
LA	LO	ML	MI	LH	LH
VLA	VL	LO	MI	MH	LH

VS: Very Small VLI: Very Little VL: Very Low  
 SM: Small LI: Little LO: Low  
 MI: Middle NM: Normal ML: Medium Low  
 BI: Big LA: Large LL: Little Low  
 VB: Very Big VLA: Very Large MI: Medium  
 LH: Little High  
 MH: Medium High  
 HI: High  
 VH: Very High

### ④ 全方向車椅子の走行制御実験

人間の視線情報を用いて意図推定マップを合成する提案手法の有効性を検証するため、全方向移動電動車椅子を利用して、人間の指示意図に基づく走行制御実験を行なった。図 2 のように障害物として椅子を 4 脚設置し、被験者が車椅子に座り、あらかじめ設定したスタート地点(S) から人間の指示視線で車椅子を走行制御することにより、障害物に沿って一周し、ゴール地点(G) に移動する。このときのスタートからゴールまでの時間を計測して記録する。視線のみによる操作実験(視線のみ)、注視を含まない意図推定マップによる操作実験(注視なし意図推定)と提案手法(注視あり意図推定)による操作実験を各 3 回ずつ実施し、比較を行なった。

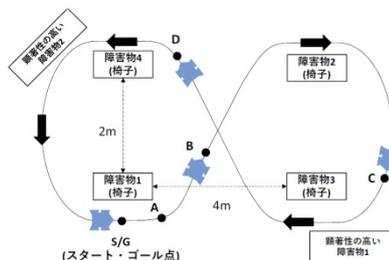


図 2. 車椅子の実験経路

被験者が実験をするとき、リアルタイムで原画像、顕著性マップ、視線マップと意図推定マップを記録し、座標や顕著度などのデータもリアルタイムでテキストファイルに保存した。実験における代表的な 4 箇所(図 2 の地点 A ~地点 D)は、被験者の注視、右折や左折の場所であり、被験者の視線指示の妥当性ととも、提案手法の有効性を検証した。一例として、地点 A におけるマップとデータを図 3 に示す。

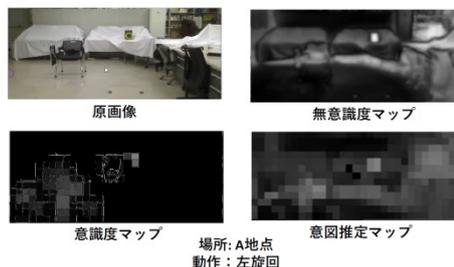


図 3. 実験結果 (A 地点)

被験者 7 名が注視あり意図推定(提案手法)、注視なし意図推定、視線のみ、の 3 回の実験における快適度と操作性を 5 段階で評価した。アンケート評価に対する各手法における有意差を評価するため、ここでは t 検定 (Bonferroni 法により有意水準を 1/2 として検定) を用いた。提案手法を処理群として 2 群比較を行った有意差のグラフを図 4 に示す。

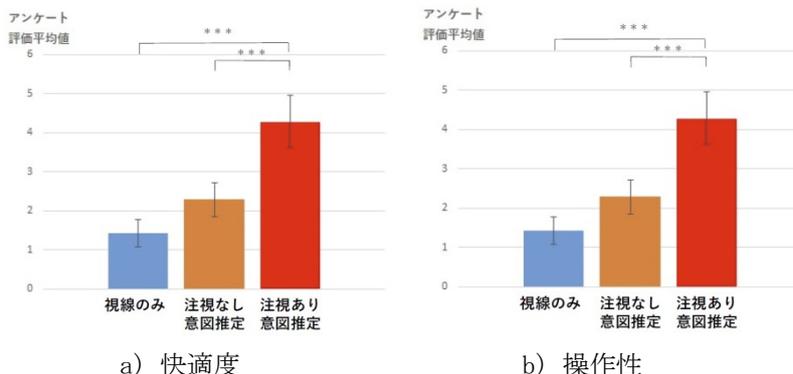


図 4. 有意差検定結果

アンケート結果により、注視あり意図推定が他の手法と比べて、人間の意図をより反映させた意図推定を行うことができた。従来手法では、意識度マップが視線のみを反映しているため、被験者の意図する方向とは異なる方向に車椅子が動いてしまうが、注視あり意図推定では被験者の意図に沿った方向に向けて全方向車椅子の制御を行っていることがわかる。

### (2) 脳波・心拍計測によるストレス度に基づく指示意図の信頼性評価手法の確立

ここでは、指示意図の信頼性が低い状態を人間によるヒューマンエラーと考え、まずヒューマンエラーの定義とその推定手法について検討した。加えて、この手法を用いた介入操作支援方法についても述べる。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yoichiro Maeda and Jiaao Niu	4. 巻 1
2. 論文標題 Human Intention Estimation Using Fuzzy Inference Based on Gaze Tracking and Saliency Map	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems	6. 最初と最後の頁 #239
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858875	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yoichiro Maeda	4. 巻 1
2. 論文標題 Human-Robot Interaction Experiment Based on Markovian Emotional Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 2018 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2018)	6. 最初と最後の頁 1147-1152
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/FUZZ-IEEE.2018.8491469	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 前田陽一郎	4. 巻 30-5
2. 論文標題 状態遷移確率に基づくマルコフ情動モデルを用いたインタラクティブ情動コミュニケーション	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本知能情報ファジィ学会誌	6. 最初と最後の頁 682-690
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3156/jssoft.30.5_682	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 前田陽一郎	4. 巻 30-5
2. 論文標題 顕著性マップに基づく全方向車椅子の視線教示システムにおける人間の目標指示についての行動意図推定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本知能情報ファジィ学会誌	6. 最初と最後の頁 717-724
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3156/jssoft.30.5_717	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoichiro Maeda	4. 巻 1
2. 論文標題 Instruction Recognition Used Gaze and EMG Information for Omni-directional Wheelchair	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE 2017)	6. 最初と最後の頁 #169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015492	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 松永健太郎, 前田陽一郎, 亀井且有, クーパー・エリック
2. 発表標題 視線追跡における注視時間を考慮した人間の目標指示についての行動意図推定手法
3. 学会等名 第29回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前田陽一郎, 下司翔太郎
2. 発表標題 表情認識に基づくマルコフ情動モデルを用いたコミュニケーションロボットのインタラクション実験
3. 学会等名 第34回ファジィシステムシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 薄井雄太, 前田陽一郎, 亀井且有, クーパー・エリック
2. 発表標題 生体情報に基づく遺伝的アルゴリズムを用いた緊急性を伝える振動パターンの生成
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会人間共生システム研究部会 第5回人間共生システムデザインコンテスト
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永健太郎, 前田陽一郎, 亀井且有, クーパー・エリック
2. 発表標題 視線追跡における注視時間を考慮した人間の目標指示についての行動意図推定手法
3. 学会等名 日本知能情報ファジィ学会人間共生システム研究部会 第5回人間共生システムデザインコンテスト
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichiro Maeda
2. 発表標題 Human-Robot Interaction Using Markovian Emotional Model Based on Facial Recognition
3. 学会等名 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and the 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS-ISIS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoichiro Maeda and Shoji Ishibashi
2. 発表標題 Operating Instruction Method Based on EMG for Omnidirectional Wheelchair Robot
3. 学会等名 Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前田陽一郎, 安達慧
2. 発表標題 マルコフ情動モデルを用いたヒューマノイドロボットのインタラクション実験
3. 学会等名 第33回ファジィシステムシンポジウム(FSS 2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ソフトインテリジェンス研究室 (Soft Intelligence Lab.)  
<http://www.spice.ci.ritsumeai.ac.jp/~ymaeda/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----