

論文の内容の要旨

論文題目 卓上作業支援のための作業者意図の推定

氏名 田村 雄介

本論文では、卓上作業において、作業者が必要とする物体を作業者の手元まで迅速に搬送するための、作業者意図の推定方法を提案した。

従来提案されてきた卓上作業を支援するシステムは、主にユーザを情報面から支援するものであった。また、物理面から支援することを指向した研究は、リハビリテーションロボティクスの分野にほとんど限られてきた。

一方、一般の卓上作業では、作業順序が事前には決定されておらず、迅速に支援を行うためには、実時間でユーザの支援要求を推定しなければならないという問題があった。また、一般のユーザが使用することを想定すると、ユーザにとって直感的かつ容易な指示方法によって利用できるシステムが望まれていた。

これらの問題に対して本研究では、

- 直感的かつ容易な指示法に基づいたユーザの持つ支援要求の検出
- 直感的かつ容易な指示法に基づいた支援要求内容の推定
- ユーザの持つ支援要求の理解に基づいた迅速な物体搬送支援の実現を目的とした。

第2章では、まず、本研究で想定する卓上作業支援システムについて概説した。人間とロボットが共存する環境においてロボットが人間を支援するためには迅速性と安全性を兼ね備える必要がある。これに対して本研究では、Sawyer型の平面リニアモータを用いた自走式トレイをロボットとして利用することとした。さらに、自走式トレイの配置に関する条件について明らかにした。

次に、気の利くシステムおよび情報の確実性という観点から、システムに対する指示方法を検討した。その結果、本研究では明示的な指示は極力用いず、システムが人間の身体動作に内在する意図を推定するというアプローチをとることとした。具体的には、ユーザが必要な物体を取ろうとする際の身体動作を計測することで、そこに内在している支援要求を推定することとした。また、必要な物体に対して手を伸ばすことが不自然な状況において、直感性や容易性という観点から、どのような指示方法が適切かを検討した。その結果、本研究ではそのような状況では指差しを用いることとした。また、こ

れら 2 種類の指示方法から支援要求を推定する手法の概要を述べ、以降の章の流れを明らかにした。

第 3 章では、ユーザによるリーチング時の身体動作から支援要求を推定する手法を説明した。手先運動の速度、手先軌道の曲率、視線方向と手先方向の内積の 3 つの条件を確率的に統合することにより、リーチング動作を検出する手法を提案した。また、手先の物体に対する接近速度およびリーチング動作中の視線方向を確率的に統合することにより、リーチングの初期段階において複数の物体からターゲットを予測する手法を提案した。

模型自動車の組立作業における人間の手先および視線運動を計測し、リーチング動作検出手法およびターゲット予測手法の有用性を検証した。その結果、単純に手先位置の閾値を用いる方法に比べて短時間で精度良くリーチングを検出することができた。また、ターゲットの予測においては、手先の運動や視線の運動のどちらか一方だけを用いる方法に比べて高い正解率で予測が可能であることを示した。これらのことから、本研究で提案したリーチング動作からの支援要求推定手法が有用であることが言えた。

第 4 章では、指差しからユーザの意図するターゲットを推定する手法を説明した。人間の主観的な指差し方向は、指や腕といった身体部位そのものの方向とは異なり、従来研究では十分な精度で指差し方向を推定することができていなかった。これに対して本研究では、人間の指方向から主観的指差し方向を推定するモデルを提案した。具体的には p 次多項式モデルを仮定し、実験によりその妥当性を検証するとともに、モデルの次数を決定した。得られた結果を AIC (Akaike's Information Criterion) によって評価した結果、本研究では 1 次モデルを採用することとした。本研究で提案したモデルによって、非常に精度良くターゲットを推定することができることを示した。

第 5 章では、第 3 章、第 4 章で述べた手法により得られる空間情報と、文脈としての時系列情報を統合することで、ターゲットを推定する手法を提案した。ここでは、ユーザの物体使用順序を条件付き確率表で表現するとともに、リーチング動作における手先運動・視線運動情報、および指差し方向の情報を確率分布として表現した。そして、それらを動的ベイジアンネットワークとして統合することによって、ターゲットを推定するという手法を提案した。被験者から見て奥行き方向にも物体が並んでおり、空間情報だけではターゲットの推定が困難な状況においても、提案手法を用いることで精度良くターゲットを推定することができることを、仮想物体を用いた実験により示した。

第6章では、第3章から第5章で提案した支援要求推定手法に基づいて迅速に物体搬送を行う卓上作業支援システムについて述べた。まず、提案する卓上作業支援システムの構成について述べ、その後自走式トレイの移動目標位置決定手法について説明した。ユーザの手先運動に躍度最小モデルを仮定することによって、手先の到達位置を予測し、その位置が迅速に物体搬送を行うための制約条件を満たしている場合、そこを移動目標位置とすることとした。

最後に、模型自動車の組立における作業支援実験を行った。実験では、提案手法に基づいた支援方法を、物体に対応するキーを押すという明示的な指示を用いて支援要求をシステムに伝える方法と比較した。その結果、提案手法を用いることで本来の作業を妨げられることなくシステムに支援要求を伝達することが可能になり、作業遂行時間を短縮することができた。

以上をまとめると、本論文は以下のように結論づけられる。

- 作業支援においては、迅速性が求められる一方、支援システムには直感的かつ容易な指示方法が要求されていた。これに対し本研究では、「ユーザが物体を取ろうとする際の、自然な身体動作に内在する支援要求を推定する」というアプローチを用いた。その結果、得られる情報の確実性を大きく落とすことなく、ユーザにかかる物理的負荷および時間的負荷の小さい attentive な卓上作業支援システムを実現することができた。
- 本研究で提案した主観的指差し方向の推定手法は、人間の手と指先の位置という比較的容易に取得できる情報のみから、精度良く指差しターゲットを推定できた。この手法は、どのような距離にあるターゲットにも応用できるものではないが、人間から比較的近い範囲にあるターゲットに対する指差しのモデルとしては広く応用が可能であると考えられる。
- 卓上作業では作業の順序は事前に決定されていないが、作業内での物体使用順序の一部には、個人の好みなどの傾向が見られる。一般に人間と共存するシステムには、瞬間の情報だけではなく、こういった傾向を理解することが求められる。本研究で提案したセンサ情報と物体使用履歴情報の統合手法を用いることによって、ユーザとシステムがインタラクションを繰り返すことで、個人毎の傾向を学習し、それに応じた支援要求推定が可能になるため、センサ情報のみを用いる場合に比べて、得られる情報の不確実性を大幅に軽減することができた。