

氏 名 小椋 忠志

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2117 号

学位授与の日付 2019 年 9 月 27 日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 身体動作における文脈情報の構成法と文脈を活用した誤認
識低減に関する研究

論文審査委員 主 査 准教授 稲邑 哲也
教授 山田 誠二
教授 佐藤 健
教授 山岸 順一
准教授 市瀬 龍太郎
教授 尾形 哲也
早稲田大学理工学術院

博士論文の要旨

氏名 小椋 忠志

論文題目 身体動作における文脈情報の構成法と文脈を活用した誤認識低減に関する研究

生活支援ロボットが人と積極的なコミュニケーションをとるためには、人が何をしているのかを認識する、身体動作認識技術が求められる。身体動作の誤認識を低減するために、現在までの場面の流れのような直接観測できない隠れた情報である文脈は正しい認識を行うにあたって有益な情報である。文脈情報を用いて動作の認識を行うこと、また動作情報から文脈を推定すること、この2つの情報処理は双方とも実環境を対象にした動作認識には求められるにも関わらず、これまでの研究ではいずれか一方の認識にしか着目されていない。本論文の目的は、文脈と動作の関係性に着目し、双方向なアルゴリズムを構成して、身体動作認識における誤認識を低減することである。

2章では、文脈を用いて動作を理解し、動作から文脈を推定する、という双方向な情報処理によるループ構造を持つ手法を提案し、その手法の必要性について述べる。文脈を扱う手法の多くは、特徴量抽出の表現方法の1つを文脈と呼んでいる。これらの手法に共通する点は、時系列情報を含んだ時空間表現を文脈と呼ぶ点にある。これらの手法の情報処理は、この時空間表現を分類器にかけて動作の認識を行うような手順であり、言い換えれば「文脈から動作」という一方向な認識である。また、文脈を用いる手法の多くは、可読性の低い表現方法を用いているが、文脈の情報は、人と共有可能な表現であるべきである。その理由は、生活支援ロボットのような家庭内で活躍するロボットにはコミュニケーションを通じた情報の共有が求められる点にある。すなわち、生活支援ロボットのための文脈情報を用いた動作認識は人と共有可能な文脈を取り扱う必要がある。コミュニケーションを通じて文脈情報を人と共有するためには、文脈そのものがどんなものであるかを推定する必要がある。その際における、文脈を推定するための有益な情報の1つが、動作がどういったものであったかという動作認識結果である。さらに、文脈の情報は明示的に与えられるものではなく認識システムが自ら推定する必要がある。その時々における適切な文脈は刻一刻と変化していくため、動作の観測情報から適切な文脈を逐次推定することが求められる。動作の観測情報から適切な文脈を逐次推定するような「動作から文脈」という方向の情報処理も日常生活を対象にした動作認識には必要とされる。すなわち「文脈から動作」および「動作から文脈」という双方向な情報処理が、生活環境を対象とした動作認識には求められている。しかしながら、この双方向な関係性を実装し動作の認識に活用した手法がこれまで提案されていない。そこで本章では、(1)文脈情報を用いた身体動作認識、(2)動作認識結果に基づく文脈情報の再推定、との2つの情報処理によるループ構造を持つ手法の構成法とその重要性を論じた。また、各文脈で動作の観測を予測する「動作出現確率」という確率分布を新たに定義し、動作出現確率がもたらす提案手法への貢献について議論する。

3章では、文脈と動作の双方向な情報処理が誤認識の低減に有効な手法であることを示

す課題について、問題解決の例の一つ目を示し議論する。本章が扱う動作認識における課題は、どの領域に着目すべきかという問題点である。例えば、左手で電話をしながら右手メモを取るという複数動作が同一身体上に同時に実行されたときに、全身の情報を認識に用いると、本来認識したい動作が行われている部位とは異なる部位の動作によって誤認識が起こりうる。この問題に対して本章では、認識するためにはどの身体部位に着目すればよいかという文脈を扱うことで誤認識の低減を狙う。実験では、同一身体上に実施される3種類の動作のうち2種類を認識したい動作、1種類をノイズ動作とする複雑動作を対象に認識を行う。実験結果では、全身を対象とした認識手法と比較して、誤認識を低減し正しく認識が行えることを示す。また、着目すべき身体の領域を正しく推定できることを示す。

4章では、もう一つの例題として似ている動作への誤認識という問題点に対して、提案手法の有効性を論じる。例えば、右手を左右に横に振っている動作が観測されるとき、挨拶という文脈でその動作を見ると「バイバイ」と認識できる。一方で掃除という文脈でその動作を見ると「窓を拭く」という動作であり、「バイバイ」という動作が誤認識であったことが分かる。この問題に対して本章では、これまでの観測からどのようなカテゴリの動作を行ってきたかという文脈を扱うことで誤認識の低減を狙う。一時刻前の文脈情報を分脈の再推定処理に付与させて、時系列動作における文脈の持続性を考慮した実装を行う。実験では具体的な日常生活を対象とした文脈および身体動作を扱う。これまでの観測から場面に適した文脈を推定し、似ている動作への誤認識を低減可能であることを示す。認識対象となる時系列なテストデータを、文脈の切り替わりタイミングの異なる2種類用意し、文脈の切り替わりが緩やかである場合において、提案手法がより良い結果を示すことを明らかにする。また、どのような動作出現確率を用意することで提案手法がより性能を発揮できるかを検証する実験を行い、文脈の切り替わりが緩やかである場合、提案手法が許容する動作出現確率の種類の範囲が広がることを示す。

5章では、本論文の結論、提案手法の有効範囲と限界、および今後の展望について述べる。本論文は、文脈と動作の関係性に着目し、双方向な情報処理によるアルゴリズムを構成して、2つの例題を通して提案する手法が誤認識の低減に有効であることを議論する。文脈の持続性を仮定した提案手法は、文脈の切り替わりが激しい場合には既存手法との有意な差は見られなかったものの、文脈の切り替わりが緩やかである場合には有効に動作の認識を改善することを示す。この文脈と動作の関係性は、動作の認識だけに有効、あるいは動作の情報だけを文脈に用いるべきというわけではなく、動作の際人が手に持つ道具の認識と言った環境の情報との関係性においても有効であることを議論する。

以上のことから本論文は、日常生活を対象にした認識の要素技術として、文脈と動作の双方向な関係性を構成する第一歩目の研究であると考えられる。

博士論文審査結果

氏名 小椋 忠志

論文題目 身体動作における文脈情報の構成法と文脈を活用した誤認識低減に関する研究

申請者は、日常生活空間において人間の生活行動を支援するロボットに求められる機能の一つである身体動作認識に着目し、誤認識問題を防ぐための手段として文脈情報に基づく誤認識の低減手法、およびそのための文脈情報の構成法について提案を行い、その有効性を実験を通じて示した。博士論文は以下の5章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的が述べられ、日常生活支援ロボットに求められる機能としての身体動作認識の重要性と、誤認識が生じる原因としての文脈情報の考慮の欠如について議論がなされている。

第2章では、音声認識や自然言語処理など、身体動作認識とは異なる分野における研究動向にも触れつつ、文脈情報の活用法と問題点などについて議論が展開された。その結果、人とのコミュニケーションを介した文脈情報の共有可能性、および、文脈情報を用いて動作を認識する処理と動作情報を用いて文脈を推定する処理の二つの処理を双方向的に行う事の重要性を指摘した。

第3章では、文脈情報を用いる誤認識低減の一つの例として、身体部位の着目点制御に対象を絞り、動作認識を行う際にどの身体部位に重要な意味があるのかという事を表す部位着目ベクトルを導入し、これを文脈によって制御することで誤認識低減を目指した。隠れマルコフモデルに基づく動作認識処理に加えて、部位着目ベクトルを文脈によって制御する数理モデルを提案し、実際の人間の動作を計測したデータを用いた実験を通じて、動作の誤認識のみならず着目すべき身体部位の推定も正しく行えることを示した。

第4章では、文脈情報を用いる誤認識低減のもう一つの例として、日常生活空間に現れる動作のカテゴリを文脈として位置づけ、例えば窓を拭く動作と手を振って挨拶する動作など、動作パターンだけでは見分けが付きにくい動作を、文脈情報を活用して区別する試みを行った。ベイズ推定に基づく動作認識結果からの文脈の推定法が導入され、実際の人間の動作を計測したデータセットを用いて、動作の誤認識の低減のみならず、現在の文脈（動作のカテゴリ）の推定も同時に行うことが可能であることを示した。

第5章では、論文全体の主張がまとめられ、従来手法による動作認識結果と、文脈情報に基づく動作の事前確率を統合することによる誤認識低減手法の有用性が確認された。また一方で動作認識結果から現在の文脈をベイズ推定を用いて推定する方向の情報処理の重要性も議論され、この二つを統合した双方向的な情報処理による身体動作認識手法の重要性と有用性が示された。また現状の手法が持つ限界点とその発展の方向について議論がなされた。

なお、申請者の研究成果は査読有りの英文ジャーナル「Advanced Robotics」の原著論文として既に採録されており、査読付きの国際会議論文でポスター発表も2件行っている。

(1件は第一著者、もう1件は第二著者)

以上をまとめると、本論文はセンサ信号入力から動作認識結果を出力するという情報処理において、従来手法では明示的に記述されていない文脈情報を導入し、誤認識の低減と文脈の推定を同時に実現する手法を確立しており、人間とのコミュニケーションを行うロボットの実現を見据えた情報処理の方向性を確立した点が学術的な貢献となっている。以上の理由により、審査委員会は、本論文が学位の授与に値すると判断した。