

氏 名 奥野 敬丞

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1555 号

学位授与の日付 平成24年9月28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 Cooperation and Interaction between Human and Humanoid
Robots through Integration of Symbolic Expressions and
Sensorimotor Patterns

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
准教授 古山 宣洋
助教 坊農 真弓
教授 中村 仁彦 東京大学

論文内容の要旨

This paper describes a stochastic framework for intelligent humanoid robots, which can cooperate and interact with humans through integration of symbolic expressions and sensorimotor patterns. The research is divided into 4 steps. Contributions of the each research step are: 1) an estimation method of sensorimotor patterns of others without having predefined user specific model in advance through interaction between self and other, 2) a method to dynamically modify displaying motion patterns and to bind the motions with symbol expressions according to performance of human-learners, in order for conveying slight differences in motions, where robotic system coaches humans motions, 3) analysis and modeling of human-coaches' use of motions and symbolic expressions how they change them dynamically according to learners performances, and 4) demonstration of the feasibility of the robotic motion coaching system, which integrates the methods proposed in step 1) and 2), and the models gained in step 3), through experiments of actual sport coaching tasks for beginners resulted in improvements in motion learning.

In the Chapter 1, the main stream of robotics researches is introduced as improvement in individual physical ability. Then, importance of intelligence of binding symbol expressions and unobservable sensorimotor patterns, and intelligence to estimate the sensorimotor patterns from observable motions are discussed from interaction point of view.

In the Chapter 2, related works are introduced in various fields such as Robotics, Conversation Analysis, Human-Agent Interaction, Skill and Sports Science, and Anticipation of Intention of Others from neuroscience and cognitive psychology point of view. Then, the chapter addresses challenges from the perspective of required functions for the research. After the discussion of the approach for the resolution method, the Proto-symbol Space method is introduced as a basic tool for the proposed methods.

The Chapter 3 describes an estimation method of sensorimotor patterns of others from motion observation. An approach is to bridge sensorimotor experience, or the Proto-symbol Spaces, between the self and the other. The sensorimotor experiences for each are represented by the Proto-symbol Spaces for each in the research. This approach would result in estimation error due to physical condition difference between the self and the other. To clear this problem, a method is proposed in order for adaptive acquisition of Proto-symbol Space of other by sharing motion patterns and using open questions asking the others' sensing status described by symbols. Simulation demonstrates that it is possible to estimate sensorimotor patterns of others with 10-20% errors, even when estimation target motions are not in database. In the second half of the chapter, I discuss about a method to estimate others' symbol conversion strategy from sensor patterns. The method uses closed questions asking comparative evaluation of sets of shared motions. The simulation demonstrates that the method can estimate the symbol conversion strategy properly by sharing prepared sets of motions and using closed questions.

The Chapter 4 describes a proposing method for dynamic modification of motion demonstration and for binding the motions with symbol expressions according to performance of human-learners. This method can convey slight differences between learning target motions demonstrated by a coach and motions performed by learners. Feasibility of the method is demonstrated through experiments of actual sport coaching tasks for beginners by using a robotic coaching system. The robotic system coaches human-learners tennis forehand swing, by using emphatic motions and adverbial expressions generated from the proposing method. The experiments resulted in improvements in motion learning. However, it is not possible to confirm whether either emphatic motions and/or adverbial expressions are contribution factors or not.

In the Chapter 5, I discuss about experiments for modeling how human-coaches use emphatic motions and adverbial expressions. In the experiments, human-coaches are asked to coach a robot-learner tennis forehand

swing, by using the emphatic motions and adverbial expressions. Analysis of the results leads to models; two Adverbial Expression Use Models and two Emphatic Motion Use Models.

In the Chapter 6, I attempt to integrate the methods proposed in Chapter 3 and 4, and the models obtained in Chapter 5. At first, I discuss about integration of the robotic motion coaching system from Chapter 4 and the models gained from Chapter 5. I then discuss a possible integration of the method to estimate sensorimotor patterns from the Chapter 3, the robotic motion coaching system from Chapter 4, and the models gained from Chapter 5. I demonstrate the feasibility of the robotic motion coaching system integrated with one of the EMU-Model and one of the AEU-Model, by experiments of a tennis forehand swing coaching task for beginners. I confirm that the EMU-Model and the AEU-Model contribute to improvement in motion learning. It is demonstrated that value output by the EMU-Model is a contribution factor by a statistic analysis. I also find there is an improvement in motion learning when using the AEU-Models. However, even though I find positive contribution of the adverbial expressions for the improvement in motion learning, it is not able to decide whether the adverbial expressions chosen by using the AEU-Model is a contribution factor or not.

The thesis is then concluded in the Chapter 7.

本論文は、人間とロボットが自然なインタラクションを行うシステムを構築する際に必要となる、全身動作運動の提示と言語的な表現による対話の双方に着目し、その双方のモダリティが有機的に統合される必要のある状況において、どのようなインタラクションシステムの設計が有効になるか、という設計論の問題に取りくむものである。特に近年ロボット研究で着目されている運動の模倣学習においては、人間がロボットに対して動作を提示し、ロボットがその動作を観察・学習するための方法論が議論されている。しかしながら、人間同士が動作を模倣して学習する場合には、動作を一方向的に提示・観察するだけでなく、質問や提案を行いながら効率的に動作を伝達するようなインタラクションが自然と行われるなど、ロボット研究でまだ対象となっていないような、動作と言語表現の統合によるインタラクションの設計が今後必要となってくることが予想される。そこで本研究では、スポーツの初心者に動作を伝達する状況を一つの例題として取り上げ、ロボットが全身運動を人間に提示し、言語的な表現を用いてアドバイスをするためのインタラクションシステムの提案および必要となる要素技術の開発を行い、その有効性を被験者実験を通じて明らかにした。

本論文は7章から構成される。まず第1章では、動作を教えることは単に身体運動の制御・表現の問題だけでなく、コミュニケーションのスキルとも強い関連があり、コミュニケーションの研究という側面から意義があることが述べられた。第2章では多自由度の全身動作パターンと離散的なシンボル表現を相互変換するための手法として原始シンボル空間法の提案がなされ、シンボル表現の変更によって新奇の運動パターンを生成したり、未知の運動パターンを入力としてシンボル表現を生成したりする方法が述べられた。また、コミュニケーションやインタラクションに関連する従来研究との比較・議論が述べられた。

第3章では、身体条件が異なる各ユーザごとに最適化されたインタラクションを行うため、ユーザに適応した原始シンボル空間を構成する手法と、「重い」や「軽い」というような主観的で他者からは観測不可能なセンサ情報とシンボル表現を対応づけるための手法が提案された。実際に行われた実験では、2体の身体構造が異なる人間型ロボット同士の対話がシミュレーションされた。双方のロボットが10回程度、動作を実行し、その際に必要となったトルクの大きさについてシンボル表現を付加し伝達することで、相手に生じるトルクの値を誤差20%以下で推定可能であることが示された。

第4章では、スポーツの初心者である人間が不適切な動作を行った場合、ロボットが修正すべき動作を強調して提示し、かつその修正が必要となる程度を「もっと」や「ちょっと」という副詞表現で伝達する状況に対して、原始シンボル空間上の外挿処理によって動作の差異を強調することが可能であることを示した。被験者実験を通じて、手本動作をそのまま提示するよりも、差異を強調提示し副詞表現を添えて伝達した方が初心者はすばやく目的の動作を習得可能であることを確認した。

第5章では、第4章において用いるべき強調の度合いを決定するための方策として、人間が人間に対して動作をコーチングする際に、どのような強調動作が用いられるかを観察し、分析を行った。被験者実験から、目的動作と初心者が行った動作との差に比例して、強調の度合いが大きくなり、また、用いられる副詞表現も動作間の差の大きさによって使い分けられていることが結論づけられた。

第6章では、第5章で得られた強調の度合いの決定法を第4章の動作コーチングに適用する実験結果が述べられた。強調度合いや使うべき副詞表現が先天的に決められている状況に対して、人間が行っているコーチング動作から求められた協調度合いや副詞表現を用いる方がコーチングの効果が高いことが示唆された。

最後の第7章では、本論文の結論・学術的な意義、将来課題等についてのまとめが述べられた。

従来までのロボットと人間との間におけるインタラクション研究は、指をさしながら「机の上にある赤いリングを取って」と指示するように、運動についてはジェスチャの認識、シンボル表現については、静止している物体の色や名前などを用いることが多かった。それに対して、本研究では時系列データである多自由度の運動そのものをシンボル表現で表現しながら伝達することを目的としており、特に相手が気付いていない微妙な差を伝達するために、動作を強調して目的の動作の実行を促すというアプローチに新規性がある。またそれを実現するための数理手法の構築にも学術的な成果がある。予備審査の段階では、研究の背景・目的に対して、提案されている手法が持つ位置づけや、提案手法が持つ限界や残された課題に対する対応策を論じることが指摘されたが、提案手法についてはその意義が十分にあることが確認された。また本審査ではそれらの議論が十分に追加されたことが確認された。

また、学術雑誌論文1本が既に採録・掲載済みであり、査読付き国際学会論文も数件採択されており、学術的な価値は該当学術分野内でも評価されている。

以上の点を総合的に判断して、本論文は学位を授与するに値すると判断した。