

氏 名 SONG Sichao

学位(専攻分野) 博士
(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2082 号

学位授与の日付 平成 31年 3 月 22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 Designing Non-Verbal Expressions for
Appearance-Constrained Robots

論文審査委員 主 査 教授 山田 誠二
准教授 稲邑 哲也
准教授 市瀬 龍太郎
助教 村田 真悟
准教授 寺田 和憲 岐阜大学工学部

(Form 3)

Summary of Doctoral Thesis

Name in full SONG Sichao

Title Designing Non-Verbal Expressions for Appearance-Constrained Robots

In the last few years, we have witnessed an enormous increase in social robotics. In addition to industrial robots that work in factories, social robots are expected to be employed in a variety of applications such as education, health care, public service, and domestic uses, where communicating and interacting with humans are a necessity. Therefore, it is increasingly important for social robots to express affect and intent.

As Donald Norman said, "People are explanatory creatures." Due to our tendency to form explanations of things, we build mental models, our conceptual models of the way objects work or people behave, of those things and use the models to help us understand our experiences and handle unexpected occurrences. Therefore, we naturally adapt our social skills and perform similar social behavior when we first meet a human-like robot. We assume that such robot will behave, in a way, like a human.

However, a large number of robots currently in use for applications, such as law enforcement, search and rescue, and domestic uses (e.g. cleaning robots), are neither anthropomorphic nor zoomorphic. When we first encounter such robots, the lack of appropriate mental models and knowledge with regard to these robots can lead to unsmooth or even failed interaction. In addition, such robots are generally constrained in appearance, meaning that they are designed to be functional and lack expressive faces and bodies. Therefore, there is a significant challenge in finding effective ways for these robots to successfully interact with human users.

Due to their lack of natural interaction methods, appearance-constrained robots have to make use of their physical bodies and mobility to communicate with people. Existing approaches focus mainly on motion cues or body posture. For instance, previous work found a strong relationship between motion parameters (acceleration and curvature) and attribution of affect. Specifically, it was discovered that the level of acceleration can be associated with perceived arousal and that valence information is partly encoded in combinations of acceleration and curvature. Unfortunately, such approaches suffer from low expressibility and are hard, if not impossible, to be applied in many application scenarios. For example, in a scenario where space is limited, e.g., a crowded room or a narrow corridor, big movements such as those made through accelerating and moving

in an arc can be impossible to employ.

To design effective expressions for appearance-constrained robots, I probe non-verbal cues include expressive lights, motion, sound, and vibration. I consider the four modalities are particularly suitable for appearance-constrained robots as they do not require human-like features such as face and hand. Besides, because these modalities are neither anthropomorphic nor zoomorphic, they would not cause people's expectations of the appearance-constrained robots to exceed the real capabilities of the robots and result in a negative HRI experience. However, there is much unknown with regard to how the non-verbal expressions can be implemented to facilitate interactions between robots and humans. Theories and knowledge are needed to form valid assumptions for establishing and formalizing effective designs.

Hence, to address the challenges mentioned above, I perform a series of studies with a focus on three key research questions: (1) How do people perceive and interpret non-verbal expressions from a robot and what are the influences of the expressions on people's decision-making and behavior? (2) How to design non-verbal expressions for an appearance-constrained robot to show affect? (3) How to design non-verbal expressions for an appearance-constrained robot to communicate its intent? By answering the three questions, this dissertation contributes to providing fundamental knowledge and building blocks to the design of non-verbal expressions for appearance-constrained robots and opening up possibilities for future related research in HRI.

博士論文審査結果

Name in Full
氏名 SONG Sichao

論文題目 Designing Non-Verbal Expressions for Appearance-Constrained Robots

出願者は、本論文の研究において、形状が制限されているシンプルな外見をもつロボットのために様々な表出を設計する方法論を開発し、種々の参加者実験を実施し、結果を分析することでその方法論の妥当性、有効性を検証した。本論文は、“Designing Non-Verbal Expressions for Appearance-Constrained Robots” と題され、全5章から構成される。

第1章 Introduction では、本研究の背景となる研究分野である人間とロボット間のインタラクションを設計、分析する HRI (Human-Robot Interaction) のサーベイ、本研究の設計対象であるシンプルな外見を持つロボット (appearance-constrained robots) の定義、そして非言語情報による表出について述べている。

第2章 Perception, Interpretation and Decision-Making では、様々な色を発光可能な LED テープによりアンビエントライトを実装し、その LED 明滅が人間の知覚、意思決定に与える影響について研究している。実験タスクとして、ピンポンゲーム、最後通牒ゲームなどを用いている。さらに本章では、生物発光に基づいて発光パターンをデザインする方法論、そして LED ライトパターンが人間のロボットに対する認識、解釈に与える影響を参加者実験により調査している。

続く第3章 Communicating Affect では、色、音、そして振動のマルチモーダルを利用したロボットの感情表出を設計している。具体的には、まずメタ分析アプローチにより、有望なモダリティの組合せを絞り込み、その後に参加者実験による実際の評価により最終候補まで絞り込むという方法を提案している。実際に設計を行った結果、単一モダリティよりも複数モダリティによる感情表出がより効果的であるなどの設計指針が得られた。さらに、第3章では、LED ライトとロボットの動きを組み合わせることで、有効な感情表出が実現できることを参加者実験で示している。

第4章 Designing Communication Cues では、専用のグラフィカルユーザインタフェース GUI を実装して、LED ライトによる注視のデザインを実現している。また、参加者実験により、ロボットの目の色や位置、個数についての設計指針を獲得している。そして、実際に設計、実装されたロボットによる注視を対象物のあり／なしの文脈において評価している。

最後の第5章 Conclusion では、本論文は形状の制限されたロボットにとって有効な表出を設計する方法について、様々な観点から枠組みの提案と実験的な検証、分析をおこなったとして研究全体をまとめている。そして、本論文の結論、今後の課題、展望について述べている。

なお、出願者の研究成果として、査読ありジャーナル論文として、frontiers in Psychology に1編を既に出版済みであり、査読あり国際会議論文9編の発表を行っている。

以上を要するに、本論文は、広く社会に普及しているシンプルな外見をもつロボットが人間に対して感情などの内部状態をいかに効果的に伝えるかという HRI における根本的問題に対する解決として、その伝達に有効な表出を様々な観点から設計する具体的方法を開発し、その有効性と一般性を実験的に検証しており、その研究成果はロボットの外見と動きの設計論の確立に対して大きく貢献するものである。これらの理由により、審査委員会は、本論文が学位の授与に値すると判断した。