

氏名	Mohammad Abu Yousuf
博士の専攻分野の名称	博士（学術）
学位記号番号	博理工甲第 920 号
学位授与年月日	平成 25 年 9 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	Mobile Museum Guide Robots Able to Create Spatial Formations with Multiple Visitors (複数鑑賞者の身体配置を創りだす移動ミュージアムガイドロボット)
論文審査委員	委員長 教授 久野 義徳 委員 教授 前川 仁 委員 教授 池口 徹 委員 准教授 小室 孝

論文の内容の要旨

The development of robots is entering a new stage where the focus is placed on interaction with people in their daily environments. The concept of service robots is rapidly emerging. Service robots will act as peers providing mental, communicational, and physical support. Such interactive tasks are of importance for allowing robots to take part in human society. Many robots have already been applied to various fields like hospital, school, day care center, museum and so on in daily environment. In museum context, guide robots need to interact with visitors in a natural way. Although much research has already been conducted in the area of non-verbal communication between a guide robot and human, such as about facial expression, eye-gaze, and gesture commands, how to create and control spatial formations with multiple visitors is also a fundamental function for museum guide robots that remains unexplored. Drawing upon psychological and sociological studies on the spatial relationship between humans, it is considered that museum guide robots should have also the capability to create and control spatial formation in various situations.

The research questions that we seek to address in this area are as follows. What are the constraints to create spatial formations with the visitors? How does a guide robot create a spatial formation with the visitors before starting its explanation of any exhibit? Can the robot attract visitor's attention to create a spatial formation properly? Can the guide robot identify interested bystanders and invite them into an ongoing explanation session and thus reconfigure the spatial formation? Can the robot reconfigure the spatial formation during explaining multiple exhibits collectively? How does the guide robot initiate conversation with the multiple visitors?

This dissertation seeks to find answers to these questions by incrementally exploring the constraints to create spatial formations and developing an integrated model to configure spatial formations with the visitors in various situations. We began by observing and videotaping scenes of actual museum galleries where human guides explained exhibits to multiple visitors. Based on these analyses of the videos, we developed a mobile robot system able to create and control

spatial formations while guiding multiple visitors inside the gallery from one exhibit to another. We evaluated the guide robot system in a series of studies that focus on different situations where the guide robot creates spatial formations with the visitors. The first study focused on designing a model to create spatial formations by analyzing the constraints of spatial formations before starting the explanation by the guide robot. The effectiveness of the guide robot system was confirmed through the experiments.

In a museum context, when a guide explains any exhibit to a small numbers of visitors, many other visitors who are not participating in the current explanation may stand around the explanation area. Those who demonstrate interest in the explanation among them are considered to be interested bystanders. Museum guide robots need to identify interested bystanders and invite them into ongoing explanation session. To deal with such bystanders, we extended our model and evaluated its performance through a series of experiments. These experiments focused on designing the process of identifying and inviting interested bystanders into ongoing explanation session.

Change of robot's body orientation plays an important role to reconfigure the spatial formation again. This dissertation also seeks to find the answer how the robot changes the position and orientation of the visitors by rotating its own body from one exhibit to another while explaining multiple exhibits collectively. Experimental results suggested that repositioning and reorientation of the visitor's body are reasonable indications of the visitor's intention of spatial reconfiguration.

Finally, we presented a model to initiate conversation with the visitors. Museum guide robots should observe visitors to find those who may want to be guided and initiate conversation with them. We developed a model that describes the constraints and expected behaviors in the phase of initiating conversation. We conducted an evaluation experiment that demonstrates that our model significantly improves the robot's performance in initiating conversation.

This research contributes to the design of mobile museum guide robotic systems that can create and control spatial formations with multiple visitors in different situations.

論文の審査結果の要旨

当論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 25 年 7 月 25 日に公開で開催し、詳細な質問を行い論文内容の審査を行った。その論文発表を含む学位論文の審査の結果、本提出論文を博士（学術）の学位論文として合格と判定した。以下に審査結果の要約を示す。

人間の身の回りにいて、人間を支援してくれるサービスロボットの実現への期待が高まっている。そのようなロボットでは、人間との適切なインタラクションが必要である。本提出論文は、インタラクションの重要な要素である、参加者相互の身体配置について、ミュージアムガイドロボットの実現の点から検討したものである。複数の鑑賞者に対してガイドをするロボットでは、すべての人が展示品を見ながら、ロボットの説明を聞き易いような身体配置になるようにしなければならない。また、周りに説明を聞いたような人がいれば、その人を誘い、その人を含めて参加者全員が聞き易い身体配置になるように位置関係を調整する必要がある。その他、状況に応じて、適切な身体配置になるように努める必要がある。本論文は、社会学の知見をもとに、また、実際にミュージアムでの人間のガイドと鑑賞者のインタラクションの分析をもとに、状況に応じて適切な身体配置を構成できるミュージアムガイドロボットを検討したものである。

本論文は 7 章からなるが、まず、第 1 章では、上述のような研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、ヒューマンロボットインタラクションの関連研究について調査してまとめている。また、身体配置に関する社会学・心理学の関連する知見をまとめている。社会学では、身体配置については人間はコミュニケーションの際に Kendon の提案した F 陣形を構成することが見出されている。本論文は、その知見の紹介にとどまらず、実際のミュージアムでのガイドツアーのビデオを分析して、F 陣形が実際に構成されていること、適切な F 陣形が構成されていないときにはガイドが、それが構成されるように言語および非言語行動で誘導することを確認している。

第 3 章では、まず、実験のために開発したロボットシステムについて述べている。このシステムでは室内に設置したレーザ距離センサによりロボットと鑑賞者の位置と身体の向きを求める。これにより、ロボットの移動を制御するとともに、ロボットと鑑賞者の位置関係の情報を得る。ロボットには全方位カメラが取り付けられており、この画像から周囲の鑑賞者の顔を検出し、鑑賞者がどちらを見ているかを求めることができる。次に、社会学の知見をもとに、適切な身体配置のモデルを提案している。展示品の説明の際には、展示品をロボットと鑑賞者が取り囲むような身体配置になるが、このモデルは、その際に適切と考えられるロボットと鑑賞者、ロボットと展示品の距離、鑑賞者の顔の向き、鑑賞者とロボットの身体の向き、ロボットの視野を定めている。ミュージアムガイドロボットはこのモデルを満たす身体配置ができているかをセンサ情報から判断する。適切な身体配置になっていないときには Goodwin が見出した *pause and restart* の戦略を用いる。人間のガイドは話を始めたときに、相手が自分あるいは展示品を見ておらず適切な身体配置になっていないと判断すると、説明をそこで止める。そして、少し休止をおく間に、相手の視線が自分や展示品に向いたら説明を再開する。これにより適切な身体配置を構築する。ここでは、ロボットにも、鑑賞者の顔の向きの情報などを用いて、この機能を実現している。最後に被験者を用いた実験により、提案のロボットが適切な身体配置を実現でき、また、身体配置など考えずに説明を行うロボットとの比較実験から、提案のロボットの方が適切なガイドをしているという被験者からの評価が得られたことを示している。

第 4 章では、傍観者をガイドのグループに引き込む問題を検討している。説明をしていると、周りにいて、説明の輪に入りたそうにしている人がいることがある。この章では、そういう人を見つけ、その人をグループに加えることのできるロボットを提案している。グループに人が加わると、身体配置はそれに応じて変更する必要があるが、それについても検討している。そして、実験により、適切に動作することを確認している。

第5章では、展示品が複数ある場合についての適切な身体配置の形成について検討している。例えば展示が2つのものから構成されている場合、ロボットは一つのことを説明した後、次のものの説明に入る。この際、それぞれの展示品を見るので顔の向きも変わるが、身体的位置も、通常は適切な場所に移動する必要がある。そうすると、それに応じて、鑑賞者との間の身体配置も再構築される必要がある。ここでは、センサから得られる身体位置および顔の向き情報から、これを適切に行う方法を提案している。そして、実験で有効性を確認している。

第6章では、コミュニケーションの開始について検討している。これまでは、ロボットは定まった鑑賞者グループにガイドツアーを行うことを考えていたが、ここでは、展示品やガイドロボットに興味のありそうな人を適切な身体配置に導いてガイドを始めることを検討している。ロボットや展示品を見ている複数の人を見つけたら、それらの人の位置や顔の向きに応じて適切な場所に移動することにより、それらの人の注意を獲得してガイドを始める方法を提案している。これも実験により有効性を確認している。

最後に第7章で、論文の内容をまとめ、今後に残された課題を議論している。

以上のように、本論文の内容は、学術的に意義のある研究であると評価できる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文を博士（学術）の学位論文として合格と判定した。