

氏名	ラフィック ヘドゥフイ RAF I K H A D F I
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博第 978 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当 課程博士
学位論文題目	Utility Hyper-graphs for Complex Decision Making (複雑な意思決定のためのハイパーグラフを用いた効用空間モデル)
論文審査委員	主査 教授 伊藤 孝行 教授 犬塚 信博 准教授 加藤 昇平 外国人教員 Mark Klein

論文内容の要旨

Preferences are fundamental for the analysis of human choices, as well as for the construction of artificial agents that can make decisions in a rational and autonomous manner. Consequently, utility models are becoming of increasing importance in many areas such as Multi-agent Systems, Decision Making, Social Choice, Constraint Satisfaction, Game Theory, and so forth.

Realistic decision making problems are characterized by high-cognitive load, which has a huge impact on the utility spaces of the agents. Such utility spaces are known to be complex, nonlinear, and involve a large number of attributes, or issues. These problems are challenging from two standpoints: the standpoint of the individual agent, whenever she is exploring her own preferences; and from the standpoint of a group of agents trying to build a consensus. Reaching an agreement under such constraints becomes more difficult as the search space and the complexity of the problem grow.

We propose a utility model that is suitable for complex decision making problems. The starting point is adopting a hyper-graphical representation for the utility model of an agent. This allows a modular decomposition of the issues and the underlying constraints by mapping the utility space into a Utility Hyper-graph (UH). Exploring the utility space reduces then to a message passing mechanism along the hyper-edges by means of utility propagation. Adopting such representation paradigm allows us to rigorously show how complexity arises in complex domains. To this end, we assess the complexity arising in cognitive graphical models using the concept of entropy. Being able to assess complexity allows us to improve the message passing algorithm by adopting a low-complexity propagation scheme. The model is evaluated using a parametric form of hyper-graphs, or Random Utility Hyper-graphs (RUH). Hence, we show how the new propagation scheme can optimally handle complex utility spaces while outperforming previous sampling approaches. Similarly, our proposed approach to quantify complexity allows us to establish the interplay between complexity, entropy and uncertainty in complex domains.

論文審査結果の要旨

本論文は、複雑な意思決定問題における効用モデルを提案している。ここでは特に、ハイパーグラフに基づく表現を採用している。ハイパーグラフを採用することで、複雑な意思決定問題における論点の依存関係を明示的に表現することが可能となる。これにより、既存の制約に基づく非線形効用空間を、提案するハイパーグラフに基づく効用空間にマッピングできる。効用モデルは、選好 (Preference) を定義するものであり、意思決定の根拠となるものである。したがって、自律的な知的エージェントを考える際に、その表現方法が非常に重要になる。本論文で提案するハイパーグラフに基づく表現による効用モデルは、これまで困難であった相互に依存する論点を持つ場合の非線形効用空間を表現することができ、今後のマルチエージェント研究や人工知能研究に貢献するものである。さらに、本論文では、ハイパーグラフで表現された複雑な効用モデルにおける、合理的な意思決定手法としての最適化アルゴリズムを提案している。アルゴリズムはメッセージパッシングに基づき効用伝搬による最適化を行うことができることを示している。論文ではさらに、ハイパーグラフの複雑性に対して、エントロピーの概念を採用することで、その複雑さの尺度を提案している。本指標により、ハイパーグラフの複雑性に合わせた、最適化アルゴリズムのパラメータの調整を可能にしている。本論文は8章で構成されている

第1章は、本論文の問題設定、目的、および貢献について述べられている。複雑な効用モデルという観点から、複雑さと効用の定義についての議論が示されている。

第2章は、意思決定と効用モデルに関する既存の研究について網羅的に調査が行われている。特に複雑な効用モデルについての関連研究が述べられている。

第3章は、複雑さとその尺度を提案しており、それに基づいた、新しい複雑さに基づくゲームを提案している。複雑性に基づくゲームは極めて新規性が高い。

第4章は、ハイパーグラフに基づく効用モデルが提案されている。非線形効用空間をハイパーグラフで表現する方法と、最適な決定案を探索するアルゴリズムが提案されている。

第5章は、ハイパーグラフによる効用モデルの最適化アルゴリズムの高速化について述べられている。ここでは、複雑性の尺度を用いた高速化アルゴリズムが示されている。

第6章は、複雑な自動交渉ドメインへの応用について述べられている。特に、交渉空間において、ガウシアン推定モデルに基づく相手の複雑な効用空間の推定方法が提案されている。

第7章は、選好のエリシテーション (Elicitation) の方法とその協調デザインツールへの応用が述べられている。

第8章は、論文のまとめと今後の課題が示されている。

以上、本論文は、複雑な意思決定のための、効用空間モデルに関して、新規の効用モデルを提案するとともに、複雑さに対する尺度を提案し、本尺度を用いた最適化アルゴリズムを新規に提案しており、優れた研究内容と評価できる。

よって、本論文は博士 (工学) の学位論文に値するものと認める。