

審査の結果の要旨

氏 名 黒木 祐子

本論文は、情報科学、統計学、心理学、神経科学など幅広い学術分野で行われている不確実性の下での意思決定に関する確率的多腕バンディット問題について扱ったものである。確率的多腕バンディット問題は古典的な意思決定モデルの一つであるが、本論文は、既存の古典的な確率的多腕バンディット問題を、さらにより現実に即した行動が組み合わせ的であり限定的な観測しか得られない場合に拡張した確率的組み合わせバンディット問題について、最適化、アルゴリズム設計、機械学習それぞれの観点から議論を展開したものである。

本論文は七章からなり、第一章では本論文の背景と動機として、不確実性の下での逐次意思決定問題および、組み合わせ行動に関する意思決定の困難さ、観測数とサンプル数が限定的である場合の機械学習の困難さについて論じるとともに、本論文の行った貢献についてまとめている。

第二章では、本論文における議論の基礎および背景として、本論文で用いられる表記法などの定義を行うとともに、計算量、計算複雑さ、マトロイドなどの組み合わせ最適化の基本的な考え方、組み合わせバンディット問題および関連した線形バンディット問題などの問題について概観している。

第三章では、なるべく少ない標本数で最適なサイズ k 集合を求める全バンディット組み合わせ識別問題について扱い、特に二次計画問題として定式化される信頼区間最大化について多項式近似アルゴリズムを設計することに成功している。さらにこのアルゴリズムの有効性をクラウドソーシングを用いた計算機実験で検証している。

第四章では、サイズ、マトロイド、パス、マッチングなど様々な一般的組み合わせ制約を扱うための枠組みとして、組み合わせ構造を活用した動的サンプリング戦略に基づくアルゴリズムを設計するとともに、その理論的な解析を行い、さらに計算機実験によって、その計算量および統計的振る舞いの検証を行っている。

第五章では、具体的な最適化バンディット問題として、最密部分グラフ抽出問題の全バンディット問題について議論を行い、限定された観測のみ得られる状況において高確率で最適解を求める多項式時間アルゴリズムおよび近似アルゴリズムを提案するとともにその標本複雑度などを理論的に解析することに成功している。さらにこれらの妥当性を計算機実験を通して検証している。

第六章では、さらなる一般化として非線形報酬関数および部分観測を扱うことが可能なモデルを提案するとともに、そのような場合に適応可能な多項式時間アルゴリズムを提案し、その理論的解析を行っている。

第七章では、これらの貢献を要約し総括するとともに、今後の当該分野の研究の発展の方向性について論じている。

このように本論文は、限定的な観測に基づく組み合わせ最適腕識別問題に対する多項式時間アルゴリズムの設計、その学習可能性、さらに組み合わせ構造を扱う複雑なオンライン意思決定問題、不完全な入力の不確実性を伴う最適化問題など、不確実性の下での意思決定に関する確率的多腕バンディット問題に関する学習理論分野を新たに開拓することに成功している。これは最適化、アルゴリズム論、機械学習理論の境界分野を新たに切り拓くものであり、今後、最適化理論と機械学習理論を発展させた新たな研究分野の開拓へつながっていくことも期待される。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。