

氏名	Zhenhan Huang		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第10803号		
学位授与年月日	令和5年3月24日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査学術院	理工情報生命学術院		
学位論文題目	Scalable, Robust and Unbiased Reinforcement Learning-based System Designs for Financial Portfolio Management (資産運用におけるスケーラブルかつロバストで不偏な強化学習システムの設計)		
主査	筑波大学 准教授	博士（工学）	田中 文英
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	山田 雄二
副査	筑波大学 教授	博士（工学）	宇津呂 武仁
副査	筑波大学 准教授	博士（工学）	井澤 淳
副査	筑波大学 助教	博士（工学）	澁谷 長史

論文の要旨

審査対象論文は、資産運用、特に金融ポートフォリオ管理の場面に有用な AI 手法の研究について記述したものである。より具体的には深層強化学習分野に関するもので、既存手法が持つ問題点（スケーラビリティ不足）を解決するモジュール構成のエージェントアーキテクチャを提案し、その有効性の検証が議論されている。後半では、現在急速に重要性の増しているクリプトエコノミー領域の例における検証も行われ、提案手法の有効性が総合的に議論されている。

第1章では研究背景から問題提起がなされ、研究目的と本博士論文の貢献がまとめられている。続く第2章から第5章までは関連知識・関連研究が詳述されている。第2章では強化学習について、第3章では金融ポートフォリオ管理について、第4章ではブロックチェーンについて、そして第5章では投資バイアスと呼ばれる人の投資行動時に生じるバイアスについて述べられている。

第6章において、本博士論文で提案する手法の基盤をなす MSPM (Modularized and Scalable Reinforcement-Learning-Based Framework for Financial Portfolio Management) が説明されている。EAM、SAM と呼ばれる二種類の学習エージェントの組み合わせからなる手法であり、再利用可能なモジュール構成をとることによって既存手法の問題点であったスケーラビリティ不足の解決が図られている。提案手法の詳細な説明に続き、過去の NASDAQ 株式市場データを用いた提案手法の有効性検証が行われている。DRR (Daily Rate of Return) や ARR (Accumulated Rate of Return) などの評価指標をもとに既存手法との比較シミュレーションが行われ、ARL (Adversarial Deep Reinforcement Learning) を用いた最新手法を上回る性能の実験結果が報告されている。さらに、提案手法のスケーラビリティを主張する上で、モジュール構成の有無における性能比較が論じられている。

続く第7章において、MSPM の別方面からの検証として、投資バイアスへの耐性を評価する調査研究が行われている。Disposition effect や narrow framing といった典型的な投資バイアスに焦点を当

て、前章と同様に過去の市場データを用いたシミュレーションを行い、MSPM がこれらのバイアスにロバストであることが述べられている。

第 8 章からの後半 3 章は、提案手法の応用側面を論じたものであり、近年急速に社会からの注目度が増しているクリプトエコノミー領域における MSPM の拡張と適用が述べられている。第 8 章にて改めて本領域における投資バイアスとその観点での分析が行われ、第 9 章で方法論枠組が与えられると共に、第 10 章で MSPM を拡張適用した CryptoRLPM が提案されている。そして最後に第 11 章において、本博士論文の総括と今後の展開可能性が述べられている。

審 査 の 要 旨

【批評】

金融ポートフォリオ管理は特に企業において重要な問題であるが、利益と直接関わることから、学術分野での研究報告はさほど多くない現状にある。特に新興のクリプトエコノミー領域においてはその傾向は顕著であり、人工知能分野の世界最高峰の国際会議においても未だ報告は少数である。

そうした背景において、既存の優れた手法を上回る性能を示し、かつ既存手法の原理レベルでの問題点であったスケーラビリティを改善する手法を提案し、オープンな国際学術論文として報告している点は高く評価できる。また、投資バイアスという人の認知とも関わる観点からの考察を与え、心理学など学術分野との接点を論じている点も高く評価できる。

予備審査において、こうした学術性の観点から幾つかの批判と改善事項が与えられた。それらは、強化学習を用いる意義（教師あり学習に対する優位性）、スケーラビリティ主張における説明の不十分さ、提案手法の有効性の根拠（特にモジュール構成ならではの効果の説明）などである。これを受けて第 1 章・第 6 章を中心に博士論文の内容が加筆強化され、指摘を受けていた側面が改善され、学術性の観点からも博士論文として十分な内容に達し得たと考えられる。今後は後半章で述べられているクリプトエコノミー領域におけるさらなる研究展開が望まれる。

【最終試験の結果】

令和 5 年 1 月 31 日、理工情報生命学術院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群知能機能システム学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。