

審査の結果の要旨

氏名 前田 巖

金融市場の予測はこれまでに様々な手法で多くの研究が行われてきた。近年は機械学習特に深層学習を活用した研究がこの目的において一定の成果を挙げている。しかし金融市場は因果関係の複雑さ、内部構造の複雑性・非定常性、データに含まれるノイズといった要因により本質的な不確実性を含む事象であり、その予測においてこれらが大きな課題となっている。本論文では深層強化学習(DRL)を用いた取引戦略学習を想定し、不足する学習データを人工市場により補間することにより、学習戦略の安全性向上を目指す。そのために次の3点について手法を開発し検証を行う。1. 人工市場シミュレーション環境における深層強化学習の実現。2. 模倣学習を用いたシミュレータの学習。3. Bayesian neural networks (BNNs)を用いた不確かさの考慮。

本論文の第1章では本研究の背景・目的を説明する。第2章では人工市場シミュレーション環境における深層強化学習の実現に向けて、学習フレームワークの提案、およびDRL手法間比較を行った。多数のエージェントで構成される複雑な人工市場環境におけるDRLモデルの学習実現のため、シミュレータ、マーケット、環境エージェントである *stylized agent*、学習対象である *DRL agent*、および学習に用いる報酬関数の設計を行った。加えてDRLモデルとしても価値関数ベース、方策ベース2種類の比較を行い、両手法における投資の効率性および安全性のトレードオフ関係を発見した。

第3章では模倣学習を用いたシミュレータの学習においては、学習対象となる投資行動戦略の多様性について取り組んだ。現実市場は目的の異なる多数の投資家の行動の集合として存在しており、かつ観測データにおいて投資家の情報は匿名化されているため、その行動戦略の抽出は困難である。この問題を解決するため、*latent segmentation* と *multi-modal imitation learning* を組み合わせ、観測注文の尤度最大化と期待報酬最大化のマルチタスク問題を解くことによりラベルなしデータからの複数戦略抽出を可能とする手法を提案した。人工市場データおよび実市場データを用いた実験により提案手法の有効性を検証している。

第4章では Bayesian neural networks (BNNs)を用いた不確かさの考慮について、深層学習手法自体の改良による予測安全性の改善を目的とし、BNNs が適用できる価格予測タスクについて、予測および投資アルゴリズムの提案、検証を行った。

本論文において提案手法はいずれも金融市場予測・取引戦略学習の安全性向上に寄与するものであり、今後の実市場への適用が期待される。本手法により、金融市場を含む本質的な不確実性を内包する社会経済現象を観測し予測に基づく制度設計を行うことを支援できると期待される。

以上を要するに本研究は、金融経済分野において、機械学習手法を用いた予測やそれに基づく取引戦略の安全性や信頼性を高めることに資する新たな手法を提案した。本手法により、経済金融分野など複数の領域において、エージェントシミュレーションと深層強化学習の結合、シミュレーション環境の構成、深層強化学習モデルの導入方法およびそれらの実装に関する指針作成に応用することができる。本研究に関する課題設定・モデル構築・結果分析について工学的研究として十分な水準にあると評価された。本研究の有用性や新規性についても評価され、研究の完成度や発表実績についても十分であると認められた。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。