

氏名	彭 柯キン ホ ケン
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博 1 2 1 4 号
学位授与の日付	令和 8 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	Time Series Modeling and Forecasting with Generative Artificial Intelligence (生成人工知能を用いた時系列モデル化と予測)
審査委員	(主査) 准教授 飯間 等 教授 馬 強 教授 梅原 大祐

論文内容の要旨

本論文は、複雑な多次元時系列データに着目し、その特徴を踏まえた上で、未来の時系列を予測するための生成 AI モデルおよび深層学習モデルを設計し、さらに応用可能性を拡張するための研究をまとめたものである。

まず、敵対的生成ネットワークを用いて、為替レートや株価といったイベント駆動型の金融データに内在する潜在構造を生成的に再現する。これにより、注文板に存在する注文・キャンセル・約定イベントの時系列的相関を生成モデルで捉えられることを示す。続いて、複雑な時系列データをトレンド成分と季節性成分に分解して予測するトランスフォーマー-STL-Transformer を提案する。これにより、時系列データには性質の異なる複数の成分が潜在していることを確認し、時系列の分解法が生成 AI モデルの安定性向上に有効であることを実証する。

次に、より一般的な時系列方向予測のための新たなアーキテクチャである MagniFormer を提案する。MagniFormer では、局所変動強度に基づいて注意機構の中心を動的に調整するとともに、入力系列全体の傾きを注意機構のクエリに取り込む。これにより、転換点や激しい変動区間といった重要な局所パターンを強調して抽出することが可能となる。数値実験では、電力需要・気象・交通量・疫学データ・為替レートなど幅広いベンチマークデータセットに対して、MagniFormer が他のベースラインモデルより安定的に優れていることを示す。

次に、数値モデルとは異なるアプローチとして、大規模言語モデル(LLM)による時系列推論を検証する。このアプローチでは、数値系列をテキストへ変換し、さらにトレンドの記述を追加することで、入力プロンプトを自然言語として表現する。具体的な LLM として GPT-2 を使い、GPT-2 をファインチューニングしたモデルに対してこのプロンプトを入力することで、将来時刻における上昇・下降方向を自然言語の文章として生成できることを示す。この研究は、LLM が言語を媒介として時系列構造を推論可能であることを示している。

最後に、これまでで得られた成果を総合的に整理し、時系列データを予測するための一連のアプローチがどのように連続性を持って発展してきたかを考察する。

論文審査の結果の要旨

過去に観測したデータから未来のデータを予測する時系列予測は、気候、消費電力量、交通量、為替レートなど様々な分野で用いられている。伝統的な時系列予測手法として線形モデルが用いられてきたが、近年の深層学習や生成 AI の発展により、これらの技術を用いた非線形モデルによる時系列予測手法に関する研究が近年盛んに行われるようになってきている。

学位申請論文では、生成 AI モデルである敵対的生成ネットワーク、Transformer、大規模言語モデルに基づいた 4 種類の時系列予測モデルが提案され、それぞれの成果が総合的に整理されている。このようなモデルを設計するためには、モデルのアーキテクチャ、入出力、訓練方法などを適切に設定する必要がある。提案モデルは、元にして各生成 AI モデルを分析し、それらを適切に拡張して設計されている。ベースラインモデルとの比較実験やアブレーション実験を行った結果が示され、提案モデルが優れた予測能力を有していることが明らかにされており、その有効性が認められる。しかしその一方で、文献の調査が十分でなく、さらなる調査を行い、本研究の位置づけをより明確にする必要がある。

学位申請論文は、掲載済みのレフェリー付き学術雑誌論文またはプロシーディング 3 編(1)(2)(3)、および投稿中のレフェリー付き学術雑誌論文 1 編(4)を元に作成されている。これら 4 編全ての論文において申請者が筆頭著者となっている。

「学位論文の基礎となっている論文」

- (1) Kexin PENG, Hitoshi IIMA, Yoshihiro KITAMURA: Predicting FX Market Movements Using GAN with Limit Order Event Data, Finance Research Letters, Vol.72, 7 pages, 2025.
- (2) Kexin PENG, Hitoshi IIMA: STL-Transformer: A Hybrid Model for Financial Time Series Forecasting, Proceedings of the 2025 9th International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics & Swarm Intelligence, pp.86-90, 2025.
- (3) Kexin PENG, Hitoshi IIMA: Foreign Exchange Rate Forecast by a Large Language Model Integrated with Trend Description, Proceedings of International Conference on Soft Computing & Machine Intelligence, pp.173-176, 2024.

「参考論文」

- (4) Kexin PENG, Hitoshi IIMA: MagniFormer: A Magnitude-Guided Slope Mask Attention Transformer for Time Series Movement Prediction, Neurocomputing (under review).