

| 論文審査・試験の結果の要旨及び担当者 | |
|--|---|
| 学位申請者氏名 | Siow Chyan Zheng |
| 論文題名 | Multi-Scale Topological Intelligence for Spatiotemporal Data Analysis |
| 論文審査担当者 (論文審査委員) | (所属機関名・部署名・役職) (氏名) (印) |
| | 主査 東京都立大学・大学院システムデザイン研究科・機械システム工学域・教授 久保田 直行 (印) |
| | 委員 東京都立大学・大学院システムデザイン研究科・機械システム工学域・准教授 和田 一義 |
| | 委員 東京都立大学・大学院システムデザイン研究科・情報科学域・准教授 下川原 英理 |
| 委員 マラヤ大学・コンピューター科学情報科学部・教授 Loo ChuKiong | |
| 公聴会実施日：2024年8月23日 | |
| 審査会実施日：2024年7月29日，8月5日，8月23日 | |
| (論文審査の要旨) | |
| <p>近年，時空間データ解析に関する様々な知能化技術が提案されている．データの裏にあるトポロジカルな特徴や構造を用いて，探索や予測，クラスタリング，認識，学習などを行う方法論は，トポロジカルインテリジェンスと呼ばれ，様々な時空間データ解析に応用されてきた．例えば，時系列カメラ画像データや3次元点群データなどの大規模な時空間データをオンラインで扱うためには，ノイズ除去を行った後，前処理的に特徴抽出やクラスタリングを行うだけでなく，得られた特徴やクラスターの階層化や構造化などを考慮したマルチスケールなアプローチが必要になる．そこで，トポロジカルな特徴抽出とクラスタリングを同時に行う手法として，教師無し分類学習に基づく自己増殖型ニューラルネットワークや Growing neural gas (GNG) などが提案されてきたが，大規模な時空間データをリアルタイムに処理するためには，さらなる高速化や高精度化が大きな問題となっている．</p> <p>このような背景のもと，本研究では，時空間データ解析の高度化を目標に，マルチスケールトポロジカルインテリジェンスに関する概念を提案している．次に，トポロジカルクラスタリングの高度化のために，GNGの新しい手法として，マルチスケール分散型バッチ学習 GNG(MS-DBL-GNG)とマルチスケールトップダウン型多層 GNG(MS-TD-ML-GNG)を提案している．最後に，カメラ画像処理や3次元点群データ処理に応用し，提案手法の有効性を示している．</p> | |

本論文で得られた成果は、以下のように要約できる。

- (1) MS-DBL-GNG では、GNG の基本的な計算コストを削減するために、数値線形代数と並列計算に基づく学習手法を提案し、クラスタリングに関する様々なベンチマークテストを用いた比較により、10 倍以上、高速化できることを示しており、提案手法の有効性に関する議論を行っている。
- (2) MS-TD-ML-GNG では、トップダウン的なデータの分類を行いながら、下位層のクラスタリングの状況にあわせて、上位層のノードの追加や学習が行われる多層型の学習手法を提案している。次に、従来のベンチマークテストを用いた比較だけでなく、データ数を 10-20 倍に増やした大規模なデータセットを対象に、階層的な特徴抽出を行いながら、2 倍程度、トポロジカルクラスタリングを高速化できることを示している。
- (3) 最後に、時系列 3 次元点群データを対象として、提案手法を人間や物体のリアルタイムなトポロジカルマッピングとトラッキング、複数の大規模点群データを用いた 3 次元地図構築などに適用し、提案手法の有効性を示すとともに、トポロジカルインテリジェンスに関する重要性について考察している。

以上のように、本論文では、トポロジカルクラスタリングに基づく新しい方法論を提案し、トポロジカルインテリジェンスを用いた大規模時空間データ解析を対象とした様々な実験を通して提案手法の有効性を示している。得られた成果は工学的に高く評価でき、システム工学に関する研究分野だけでなく、知能化技術に関する学際的な研究分野への貢献も大きいものと考えられる。よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があるものと認められる。

（最終試験又は試験の結果）

本学の学位規則に従い、最終試験を行った。公開の席上（対面とオンラインのハイブリッド）で論文発表を行い、主査及び 3 名の審査委員を含む 37 名の出席者による質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。