

氏名(本籍)	塩川 浩昭		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 7288 号		
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	Efficient Clustering Algorithms for Large-scale Graphs (大規模グラフに対するクラスタリングの高速化に関する研究)		
主査	筑波大学 教授	理学博士	北川 博之
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	櫻井 鉄也
副査	筑波大学 教授	学術博士	和田 耕一
副査	筑波大学 教授	工学博士	宮本 定明
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	天笠 俊之

## 論文の要旨

ソーシャルメディア, Web, 情報推薦, 情報検索などの様々な分野において, 種々のエンティティやその相互関係を表現したグラフが広く用いられている. グラフ構造を分析することにより, グラフに内在する関連性や因果関係を明らかにすることができる. 例えば, Web ではトピックや関心の近い Web ページが互いにリンクを張り合う傾向にあることが知られており, トピックの類似した Web ページ集合を抽出することで, 情報検索や情報推薦などの精度向上に役立てることができる.

近年, これらのグラフで扱われるノード数やエッジ数等の規模が増大している. それに伴い, グラフ分析に膨大な時間が必要となるという問題が生じている. このような背景のもと, 本論文では, 大規模なグラフを対象としたグラフ分析アルゴリズムの高速化に取り組んでいる. 特に, 代表的な分析技術の一つであるグラフクラスタリングを対象とし, 実世界の大规模グラフのもつクラスタ性等の特性に着目した高速化のための手法を提案している. グラフクラスタリングを高速化することで, Web やソーシャルメディアなどの大規模なグラフのより多様な活用が期待できる.

具体的には, 本論文では三つの異なるグラフクラスタリング高速化手法を提案している. 第一の手法は, モジュラリティと呼ばれる指標に基づくクラスタリング手法において, 逐次的なノード集約手法を導入した高速化アルゴリズムである. 逐次的なノード集約を導入することでグラフのもつクラスタ性をとらえ, 計算対象となるノードやエッジを効果的に削減する. 第二の手法は, モジュラリティクラスタリングを対象とし, SIMD 命令を用いたデータ並列化アルゴリズムである. 一般的に, グラフ分析アルゴリズムではデータの読み込みコストが大きくなり, データ並列

化の効果が相対的に小さくなる傾向にある。そこで、データの読み込みコストを削減するために CRS (Compressed Row Storage) に基づくデータ表現を利用し、データ並列化の効果の向上を行う。第三の手法は、構造的類似度とよばれる指標に基づく密度ベースクラスタリングに対する高速化アルゴリズムである。提案手法はグラフのクラスタ性に着目し、クラスタ性の高い部分グラフにおいては互いに 2 ホップ離れたノードペアに関してのみ計算を行うことで計算量を削減する。本論文では、実世界の大規模データおよび人工データを用いた実験により、提案する三つの手法が、既存手法と比較して、分析結果の精度を維持しつつ処理の高速化を実現していることを示している。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

本論文では、大規模グラフデータに対する三種類の新たなクラスタリング高速化手法を提案している。第一の手法および第二の手法は、グラフのモジュラリティに基づくグラフクラスタリングの高速化である。これらの手法は、グラフのクラスタ性を利用したノードの逐次集約や SIMD 命令を用いたデータ並列化により、クラスタリング結果の精度を高く保ちつつ高速なクラスタリングを実現する。第三の手法は、グラフの構造的な類似度に基づく密度ベースクラスタリングの高速化であり、グラフのクラスタ性を捉えた 2 ホップ毎のノード選択による計算方式を導入することで、高速化を実現する。いずれの手法も、複数の大規模グラフを用いた実験評価により従来手法に対する優位性や有効性が示されており、新規性と情報工学上の貢献が認められる。また、提案手法の計算量やクラスタリング結果の質についても、一定の考察が行われている点も評価できる。今後、動的に変化するグラフの扱い、パラメタ選択、提案手法の融合等の残された課題に対する検討が進むことが期待される。

### 【最終試験の結果】

平成 27 年 2 月 5 日、システム情報工学研究科において、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。その結果、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。