

氏名(本籍)	丸橋 弘治 (東京都)		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	博 甲 第 6874 号		
学位授与年月日	平成26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	A Study on Large Scale Graph Analysis Using Eigen Decomposition and Tensor Decomposition (固有値分解とテンソル分解を用いた大規模グラフデータ分析に関する研究)		
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	工学博士	久野 誉人
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	福井 和広
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	天笠 俊之

論文の要旨

本論文は、ノード間の接続関係が行列（隣接行列）やテンソル（隣接テンソル）で表現できるような、1部・2部グラフ、および k -partite k -uniform ハイパーグラフ (k, k -ハイパーグラフ) の新たな分析手法を提案している。 k, k -ハイパーグラフとは、全ノードが互いに共通ノードの無い k 個の区画に分かれ、全てのエッジには区画の異なる k 個のノードが含まれるハイパーグラフのことである。特に、本研究では、コミュニティとノード集合間距離に関する特徴的な部分構造の抽出に着目している。コミュニティとは、内部のノード同士は密に接続されるが、外部のノードとはあまり接続されない部分構造のことである。また、ノード集合間距離とは、2つのノード集合の間の m -hops の経路の数のことであり、 m が小さい経路が多いほど2つのノード集合は強く関連している。グラフデータからのコミュニティ抽出や異常検知の手法は数多く提案されているが、コミュニティとノード集合間距離のを考慮に入れた特徴的な部分構造の抽出手法はこれまで提案されていない。

本論文では、隣接行列の固有値分解や隣接テンソルのテンソル分解を利用し、コミュニティとノード集合間距離を考慮した新たな分析手法を提案している。固有値分解やテンソル分解により算出された各ノードのスコアの絶対値は、多くの絶対値が大きいノードに接続されるほど大きく、スコアの絶対値が大きいノード（重要ノード）との距離に従って指数関数的に減少する。さらに、同じコミュニティに属するノード同士のスコアの絶対値の比は、一定の値よりも一般に小さい。本研究で提案する3種類の手法は、これらの性質を利用している。第一の手法は、 k, k -ハイパーグラフに対し、隣接テンソルのテンソル分解により各ノードのスコアを算出し、スコアのスパイクを検出することで、重要ノードから離れた異常に大きなクリーク状の部分構造を検知する。第二の手法は、2部グラフに対し、隣接行列の特異値分解で得られた各ノードのスコアと、ノードの次数との比に基づき、各ノードと複数のコミュニティとの間の接続数に関する特徴的なパターンを抽出する。第三の手法は、固有値分解を

用いて得られた無向グラフの隣接行列の近似行列を用いて、隣接行列のべき乗の成分値を概算することにより、所望のノード間の最短経路長を高速に推定する。この手法は、ランドマークノードを用いた従来手法より、近い距離を高精度で推定できることを示している。

審 査 の 要 旨

【批評】

グラフは多様な情報や構造を表現し分析する上で有用である。本論文では、ノード間の接続関係を表す隣接行列の固有値分解と特異値分解，ならびに隣接テンソルのテンソル分解を利用し，コミュニティとノード集合間距離の両方を考慮した新たな三種類の分析手法を提案している。特異値分解とテンソル分解を用いた手法では，特徴的な部分構造を抽出することができることを示した。また，固有値分解を用いた手法により，ノード間の最短経路長を高速に推定できることを示した。いずれの手法も新規性と情報工学上の貢献が認められる。今後，様々な大規模グラフに対して提案手法の有効性の検証がさらに進められることを期待する。

【最終試験の結果】

平成 26 年 1 月 29 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。