

学位論文要約 (藤田実沙)

題目

An Approach to Steiner Tree Problem in Graphs by Network Centralities and Chaotic Neurodynamics
(ネットワーク中心性とカオスニューロダイナミクスを用いたグラフ的シュタイナー木問題の解法)

要旨

本学位論文の目的は、グラフ的シュタイナー木問題に対する効率的な近似解法を開発することである。グラフ的シュタイナー木問題は、頂点と辺からなる無向グラフと、辺の重み関数、頂点の部分集合からなる必須点集合が与えられたとき、全ての必須点を連結する木のうち、木に含まれる辺の重みの和が最小なものを求める組合せ最適化問題である。グラフ的シュタイナー木問題は回路の自動設計や、省エネルギーな通信網・電力網の設計などへの応用が期待されている重要な問題である。しかし、グラフ的シュタイナー木問題は NP 困難な組合せ最適化問題であるため、より早くより良い解を求める近似解法の開発が望まれている。

組合せ最適化問題に対する近似解法には、早さを重視した構築法と解の良さを重視した改善法という2種類のアプローチがある。そこで本論文では、グラフ的シュタイナー木問題を解くための効率的な構築法と改善法を提案している。具体的には、複雑ネットワーク理論で用いられているネットワーク中心性を導入した構築法と、解探索にカオスダイナミクスを導入した改善法である。

グラフ的シュタイナー木問題に対する構築法では、最短経路や最小全域木を用いて解を構築することが一般的である。しかし従来の構築法は、最短経路同士の重なりを考慮していないため、良い解が得られることもあれば悪い解が得られることもあるという問題点がある。そこで本論文では、複雑ネットワーク理論で近年注目を集めているネットワーク中心性を用いることにより、最短経路同士の重なりを考慮して解を構築することを提案した。グラフ的シュタイナー木問題に対する構築法として現在でもよく使用される Takahashi らのアルゴリズム、Kou らのアルゴリズム、Rayward-Smith のアルゴリズムと、基本的なネットワーク中心性である次数中心性、固有ベクトル中心性、近接中心性、媒介中心性の組合せによるベンチマーク問題を用いた数値実験の結果、問題例によっては約2倍の計算時間で約40% 誤差率を削減できることがあった。この結果から、ネットワーク中心性の使用は誤差率の低いグラフ的シュタイナー木問題の解の構築に寄与すると考えられる。

グラフ的シュタイナー木問題に対する改善法では、1997年に巡回セールスマン問題に対する解法として提案され、その後二次割当問題、配送計画問題、パケットルーティング問題、モチーフ抽出問題などの様々な組合せ最適化問題に対して適用され、良い性能を示してきたカオスサーチを、グラフ的シュタイナー木問題に適用する方法を提案した。グラフ的シュタイナー木問題に対する局所探索法は、実行可能解だけでなく実行不可能解も生成する。そこで本学位論文では、実行不可能解に対応したニューロンは一時的にニューラルネットワークから外すこととした。このようにして実現したカオスサーチの性能を、カオスサーチを変形して実現したタブーサーチと比較したところ、特に問題例の辺数を減らす前処理を無効化するように作成されたベンチマーク問題に対して、タブーサーチよりもカオスサーチのほうが誤差率の低い解を発見できることが分かった。この理由として、カオスサーチは解探索中に様々な目的関数値の解に移動しており、この解探索の強い多様化が良い解の発見に貢献したと考えられる。

以上まとめるに本論文では、(1) ネットワーク中心性を用いた効率的な構築法を提案し、さらに (2) カオスダイナミクスを用いた効率的な改善法をグラフ的シュタイナー木問題に適用する方法を提案した。また、ベンチマーク問題を解くことにより、これらの提案法が従来法よりも誤差率の低い解を得られることを実験的に明らかにした。