

論文内容の要旨

論文題目 相互結合型ニューラルネットワークによる2次割当て問題の解法

氏名 新妻 弘崇

組合せ最適化問題のニューラルネットワークによる解法としては、ボルツマンマシンによる解法がある。この手法の計算スピードを上げるために、平均場近似と呼ばれる近似手法が良く用いられる。この近似を行った手法がカオスの挙動を行うよう変更し、カオスにより局所最適解から脱出してより多くの局所最適解を探索できるようにしたものがカオスニューラルネットワークである。

本研究では、組合せ最適化問題でも特に2次割当て問題に注目する。2次割当て問題、巡回セールスマン問題等を解くニューラルネットワークでは、解の表現においていくつかの変数の和が一定になるような制約条件が存在する。この制約条件を変数に明に入れることにより、ほぼ制約条件が満たされるようにした手法である2重制約ネットワーク (doubly constrained network, DCN) は良い近似解を計算できる。

本研究では、新しいニューラルネットワークに基づく組合せ最適化問題の解法を2つ提案する。

新たに提案する手法の1つは、カオスニューラルネットワークによる解法で、カオスによる非平衡探索がより良く機能するための手法である。目的関数がより平坦になるような、その結果、システムはどの方向にも動きやすくなるような、座標変換を行うことにより、カオスによる非平衡ダイナミクスがより多くの局所最適解を探索できるようにする。この座標変換の手法をDCNのカオスバージョンに対して適用した結果、より多くの局所最適解を探索でき、より良い解を得ることが出来るように改善できた。

提案する2つ目の手法は、 λ -opt ヒューリスティクスのアナログ版に基づく手法である。 λ -opt ヒューリスティクスとは、解を表現する順列ベクトルの λ 個の要素に対する置換操作を行うことで、解の改善を行う手法である。この λ -opt ヒューリスティクスをニューラルネットワークを用いてアナログ的に表現し、従来の λ -opt ヒューリスティクスよりも、遠距離への探索を少ない計算時間で実現できるようにした。この手法 (λ -DCN と呼ぶ) を2次割当て問題の標準的ベンチマークの集合である QAPLIB のベンチマークに適用して計算機実験を行った結果、いくつかのベンチマークに対しては今まで最も良い近似解を求めていたアルゴリズムよりも良い解を得られることがわかった。さらに λ -DCNに内点法の考えを部分的に導入した λ -interior DCNも提案した。

本研究で主に扱うニューラルネットによる組合せ最適化問題の解法は、行列演算を多用するアルゴリズムである。これらの行列とベクトルで表現された問題を、いくつかの部分空間上の問題に分割することができるならば、アルゴリズムの高速化を行うことができる。行列で表された問題を、部分空間上の問題に分割する際に有用なものとして、ジョルダン標準形やスミス標準形などがある。一方、安定化理論は、数式処理アルゴリズムを浮動小数を使って近似し、高速化する手法であるが、浮動小数近似を安定に行う時に必要な浮動小数桁数を理論的には与えない。本研究では、安定化理論を使いスミス標準形を近似的に求める時に必要となる浮動小数桁数の実験的な見積もりを行った。結果として、近似に必要な浮動小数桁数は行列の大きさと共に指数的に増加していくことが分かった。

以上の研究により、ニューラルネットワークによる組合せ最適化問題の解法で、より良い近似解を計算できるようになった。本研究で提案した座標変換手法は、原理的にDCN以外のニューラルネットワーク手法にも適用可能であり、多くのニューラルネットワーク手法を改善できる可能性がある。これらの手法は、比較的大規模な組合せ最適化問題を確率的手法を取り入れることにより、実用的な時間で扱える手法でもある。また、ニューラルネットワークと数式処理の融合に必要と考えられる基礎的研究を行った。

(論文審査結果の要旨)

2次割当て問題(QAP)は、非常に難しい組合せ最適化問題の1つであり、問題の大きさが20を越えると厳密に解くのが困難となる。QAPは、工場配置問題や電子回路の最適設計問題などで現れるが、こうした応用では、20よりも大きい問題がしばしば現れるため、良い近似解を求める手法の開発は重要である。QAPの近似解法の1つである λ -optは、解を表す順列の λ 個の要素を置換することによって、より良い解を表す順列を探索する手法であるが、 λ が小さいと局所最適解に止まりやすく、逆に大きくなると指数的に時間がかかるという問題があった。

本論文の主な成果は、以下のように要約される。

1. ニューラルネットワークに基づく、新たな2次割当て問題の近似解法である、 λ -DCN, λ -itterior DCNを提案した。この二つの新しい手法は、統計物理の手法を応用して λ -optをアナログ的に実行することにより、計算時間を大幅に短縮するものである。計算機実験の結果、QAPのいくつかのベンチマークに対しては、今まで最も良い近似解を発見していた手法よりも良い近似解が求められることが分かった。また、他のベンチマークに対しても、今までの方法とほとんど同程度の解が発見できることも分かった。
2. カオスニューラルネットワークによる組合せ最適化問題の解法を、座標変換によって改善する手法を提案した。この手法により、カオスニューラルネットワークが、最適化問題の局所最適解をより多く発見でき、結果として解は向上する。
3. ニューラルネットワークと数式処理を組合せることを目的として、必要な計算精度を確保するための実験を行った。

以上のように、本論文では、QAPのよりよい近似解を発見できるニューラルネットワークによる手法を提案し、さらにそのための理論的な研究を推進した。このことは、工学、特にオペレーションズリサーチとニューラルネットワークの分野において、学術上、また応用上、寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。