

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主論文の要旨

論文題目

Neighborhood Search Algorithms for Sequencing Problems (順序付け問題に対する近傍探索アルゴリズム)

氏名

SAKURABA, Celso Satoshi

論文内容の要旨

現実的な問題に直面したとき、我々はできるだけ多くの可能性を解析して一番適切な解を選択しようと試みる。最適化問題とは、可能解の集合の中から最適なものを見つける問題である。とくに解空間が離散的であり、解集合が順列や組合せで表されるとき、組合せ最適化問題という。

本論文では、二つの最適化問題を扱う。一つ目は工場の生産時刻などを決定するジョブスケジューリング問題であり、もう一つは経済学等に応用のある線形順序付け問題である。両方の問題は NP 困難であることが知られており、優れた汎用最適化ソフトウェアでも大規模な問題例を扱うことは困難である。

このような問題を現実的な時間で解くための代表的手法としてヒューリスティクスがあり、最適解が得られる保証はないものの、良質な解が高速に得られる場合が多い。現実的な問題を解く上では、最適解でなくても、それに近い解が得られれば十分であることが多いため、ヒューリスティクスはこのような目的にしばしば用いられる。ヒューリスティクスの多くは局所探索と呼ばれる手法を基本としており、現在の解に対して小さな変形操作を適用し、解を繰り返し改善するという動作に基づいている。現在の解に小さな変形操作を適用することにより得られる解集合を近傍と呼ぶ。本論文では、二つの問題に対して既存のアルゴリズムよりも高速に解の近傍を探索するアルゴリズムを提案した。

まず、2機械フローショップ問題における、ジョブの終了時刻から納期までの差の平均を最小化するスケジューリング問題を扱う。ただし、全てのジョブの納期は同時刻である。この問題は、化学工場で様々な材料を混ぜる時にそれらの材料が劣化しないようになるべく同じ時間で生成されていることが望ましい場合を考えるときなどに必要となる。本論文では、ジョブの順列が与えられたとき、それに対応する最適な時間スケジュールを線形時間で求めるタイミングアルゴリズムを提案した。さらに、このアルゴリズムを、ジョブの順列を探索する構築的なアルゴリズムと、局所探索を用いたヒューリスティクスに組み込んだものを提案した。これらのアルゴリズムを評価するため、既存のベンチマーク問題例よりも大規模な 500 ジョブまでの問題例を生成し、それらを用いた計算

実験により、他の文献で提案された手法が出力した結果よりも提案手法の方が優れた結果を得ることを確認した。

次に、線形順序付け問題 (linear ordering problem) を考える。線形順序付け問題とは、頂点数が n 、辺数が m で各辺に重みを持つ有向グラフが与えられたとき、前向きの辺の重みの合計が最小であるような頂点の順列を見つける問題である。線形順序付け問題の応用としてよく知られているものの一つに、経済学における入出力行列 (input-output matrix) の上三角化があり、これを解くことにより経済の安定性についての情報が得られる。本研究では、挿入近傍を用いた二つの局所探索アルゴリズムを提案した。挿入近傍とは、順列の中から一つの頂点を取り出し、他の位置に挿入するという操作によって生成することのできる解集合である。挿入近傍は線形順序付け問題に対するメタヒューリスティクスにおいて最もよく使われる近傍である。

一つ目のアルゴリズムは LIST といい、現在の解の表現方法として頂点ごとに連結リストを持つ。各頂点が保持しているリストの各要素は、その頂点に接続している頂点を表し、接続された辺に関するコストを持つ。近傍の探索と解を変更したときのリストの更新は、リストの全要素を走査することによってできる。その結果、 $O(n+m)$ 時間で解を一回改善することができる。ベンチマーク問題例に対して計算実験を行ったところ、グラフが疎である場合に LIST は他の文献のアルゴリズムに比べて高速に解を得ることが確認できた。

二つ目のアルゴリズムは TREE といい、挿入近傍の探索を実現するために頂点ごとに平衡探索木を用意する。各頂点の探索木の葉はその頂点の挿入可能な位置に対応する。また、探索木の根は対応する頂点を他の位置に挿入したときの最小のコストを持つ。これらの探索木の根を走査することによって、 $O(n)$ 時間で最小コストを持つ近傍解を見つけることができる。 Δ をグラフの最大次数とすると、探索木の各頂点に付加的な情報を持たせることにより、解の移動に判って更新が必要な全ての探索木の更新を $O(\Delta \log \Delta)$ 時間で実現できる。したがって、TREE アルゴリズムは $O(n + \Delta \log \Delta)$ 時間で解を一回改善することができる。

現実の問題例、我々が生成した大規模な問題例、および多くの文献で用いられているベンチマーク問題例に対して、TREE アルゴリズムと他のアルゴリズムを比較するために計算実験を行った。その結果、TREE アルゴリズムはグラフが疎であっても密であっても最も高速に局所最適解を出力することを確認した。他のアルゴリズムでは取り扱えないような数千頂点の大規模な問題例でも、TREE アルゴリズムは取り扱うことが可能であることも確認できた。また、線形順序付け問題に対する局所探索アルゴリズムが出力した局所最適解の精度も調べた。その結果、局所最適解と最適解のギャップが非常に小さいことが分かった。

本研究では、二つの順序付け問題に対する近傍探索を行う効率的なアルゴリズムを提案した。本研究で対象とした近傍操作は、様々な問題に対する多くのメタヒューリスティクスで頻繁に使われている代表的なものである。そのため、本論文の研究結果が様々なアルゴリズムに適応され、その性能を改善することが期待できる。