

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 3 日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710181

研究課題名(和文)汎用性の高いスケジューリング最適化エンジンの設計と開発に関する研究

研究課題名(英文)Design and Development of a General-Purpose Scheduling Optimization Engine

研究代表者

野々部 宏司(NONOBE, Koji)

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：40324678

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円、(間接経費) 540,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、現実社会に現れる種々のスケジューリング問題に適用できる汎用性の高いスケジューリング最適化エンジンを開発することである。そのために、資源制約付きスケジューリング問題(Resource Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP)を拡張したモデルを構築し、メタヒューリスティクスに基づくアルゴリズムの設計・実装を行った。また、ベンチマーク問題を用いた計算機実験により、開発した最適化エンジンの性能を評価するとともに、従来扱うことが困難であった複雑なスケジューリング問題に対しても開発した最適化エンジンが適用可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a general-purpose scheduling optimization engine that can be applied to various scheduling problems arising in real applications. We extended the resource constrained project scheduling problem (RCPSP) model and implemented a metaheuristic algorithm for the model. Using benchmark instances, we evaluated the performance of the optimization engine developed in this study, and also confirmed that the engine can handle some complicated scheduling problems.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：汎用アルゴリズム 資源制約付きスケジューリング問題 組合せ最適化 メタヒューリスティクス 局所探索法

1. 研究開始当初の背景

現実社会における意思決定や問題解決のための手段のひとつに最適化アプローチがあり、これについての研究は、オペレーションズ・リサーチ (OR) の分野を中心に活発に行われている。OR における最適化研究に関しては、優れた研究成果が多数なされてきている一方で、「理論的解析や高性能アルゴリズム実現のために、扱っている問題の構造を単純化し過ぎている」「学術的に良いとされるアルゴリズムが実用的とは限らない」など、学術研究と実務の乖離が指摘されることも多い。しかしながら近年では、実務利用を念頭においたアルゴリズム研究の重要性が認知されてきており、メタヒューリスティクスなどの最適化手法により、(理論的な裏付けが弱く、厳密な意味での最適性は保証されないものの) 実用に耐え得るアルゴリズムの開発が可能になってきた。一方、一般に、アルゴリズム開発には手間や時間がかかるため、解くべき問題のそれぞれに対してアルゴリズム開発を一から行うことは現実的ではない。そこで、汎用性と実用性を兼ね備えた最適化アルゴリズムに関する研究が国内外で進められており、本研究代表者も、組合せ最適化問題を対象に、汎用アルゴリズムの研究・開発を行ってきた。これらの中で本研究代表者が開発した最適化アルゴリズムは、組合せ最適化問題に対する汎用ソルバーとして、商用の数理計画パッケージや企業における実システムで利用されるなどの成果を得ている。

2. 研究の目的

本研究では、実務利用を念頭に、現実社会に現れる種々のスケジューリング問題に適用できる汎用性の高いスケジューリング最適化エンジンを開発することを目的とする。(ここでは、「限られた資源のもとでいくつかの作業を行うとき、資源配分を考慮しながら、それぞれの作業をどのような順序で、いつ行うか決定する問題」のことを総称してスケジューリング問題と呼んでおり、生産スケジューリング、配送スケジューリングなどがその代表例である。) 実務においてスケジューリングシステムやスケジューラを開発する際に、最適化エンジンとして手軽に利用できるものを提供することで、アルゴリズム開発の手間を軽減し、スケジューリング最適化の実現を促進することがねらいである。

ここで、研究の対象をスケジューリング問題に限定しているのは、スケジューリングの最適化が、産業界を中心にいろいろな分野に現れるニーズの高い要求でありながら、実社会において必ずしも十分には実現されておらず、スケジューリングに特化した最適化アルゴリズムの利用価値は高いと考えられるためである。

なお、実社会に現れるスケジューリング問題を解こうとしたとき、問題構造を利用した

効率の良いアルゴリズムが利用できたり、問題を混合整数計画問題 (MIP) に定式化し、既存の MIP ソルバーによって解を得ることができたりするなど、比較的容易に問題を解くことができる場合もあるが、その数は限定的である。また、これまでに提案されているスケジューリングアルゴリズムや商用のスケジューラを利用しようとしても、

- モデルに柔軟性がなく、複雑な条件を持つ現実問題に対応できない
- 適用可能だが、最適化機能が弱い
- 得られる解の質は十分だが、計算時間が長すぎる

といった問題が生じることも多い。これらの問題点を可能な限り克服しながら、いろいろなタイプのスケジューリング問題に適用可能なスケジューリング最適化エンジンを開発することが重要となる。

3. 研究の方法

本研究で実施する内容は、スケジューリングモデルの作成、アルゴリズムの設計と実装、計算機実験の3つに大別できる。

スケジューリングモデルの作成については、多くのスケジューリング問題を含む汎用的な問題としてよく研究されている資源制約付きスケジューリング問題 (Resource Constrained Project Scheduling Problem, RCPSP) を基本モデルとして、これを拡張することで汎用性と有用性に優れたモデルを実現する。RCPSP とは、機械や設備、マンパワーといった資源の使用可能量が限られた状況で、これらの資源を必要とする複数の作業をいつ行うか決定する問題であり、資源制約や作業間の先行関係を満たしながら評価値 (最大完了時刻など) を最小化 (または最大化) することが目的である。各作業には、その処理方法 (処理モードという) を複数指定することも可能であり、必要とする資源の種類と量、所要時間は処理モード毎に設定する。また、複数の作業の処理モードについて、それらの組合せに関する制約を記述することもできる。

アルゴリズム設計においては、探索型 (メタヒューリスティクスなど) と構築型 (ディスパッチング・ルールによる手法など) の両方をアルゴリズムの基本的枠組みとして考え、計算機実験を行いながらアルゴリズムの改良を行っていく。計算機実験において芳しい結果が得られない場合には、モデルの変更についても検討することとする。

なお、本研究代表者は過去の研究においても拡張 RCPSP モデルに基づくスケジューリングアルゴリズムの開発と実問題への適用を行っており (例えば、作業の処理を一旦中断し、後で再開してもよいとすることや、中断中も、ある資源を使用し続けるものとするなど) を可能にしている。本研究では、これらの内容をさらに発展させるものとする。

4. 研究成果

スケジューリングモデルとして、従来の RCPSP を拡張したモデルを構築するとともに、これに対するアルゴリズムの設計・実装を行った。従来の RCPSP モデル、アルゴリズムと比較しての主な優位点は以下のとおりである。

(1) 資源の一般化として、時間の経過とともに値(状態)が変化し得る「状態変数」という概念を導入している。状態変数の値は、基本的には前の時刻の値をそのまま引き継ぐが、「予め指定した時刻に指定した値に変化するよう設定すること」「特定の作業を特定の処理モードで処理した場合に値が変化するように設定すること」の2つが可能である。後者の場合、状態変数の値がどのように変化するか、その規則を処理モード毎に設定することになる。ある特定の値のときに限り、処理を行うことができるように規則を設定することも可能であり、状態変数の値によって、選択可能な処理モードが制限されるようにすることができる。状態変数を用いることで記述できる状況の例を以下に2つ示す。

段取り作業：ある機械で作業を処理する際、直前に処理した作業の種類によって機械の状態が異なり、必要となる段取り作業が異なる状況。定期的なメンテナンスの後など、予め決められたタイミングで特定の状態にリセットされる状況も、自然な形で記述することができる。

生成可能資源：作業を行うことによって資源が消費されるだけでなく生成され得る状況。ここでの資源としては、生産スケジューリングにおける中間製品などが考えられる。状態変数の値は資源量(在庫量)を表し、作業によって消費・生成される量は、処理モードに設定する規則に反映される。状態変数の取り得る値の範囲を設定しておくことで、在庫量が常に上下限の範囲内にあるようにすることができる。

(2) 2つの作業間の時間関係を記述する制約(一般化先行制約や時間制約という)について、作業が特定の処理モードで処理されるときに限り有効となるように指定することができる。これにより、処理モードの組合せによって2作業間の先行関係(処理順序)が変わるような状況を、人為変数などを導入することなく直接的に扱うことができるようになる。

(3) アルゴリズムの枠組みとしては、従来の研究と同様、リストスケジューリング(作業を1つずつ時間軸上に割り付けていく構築型のスケジューリングアルゴリズム)を基本的として、処理モードの選択や割付け順序をタブー探索法(局所探索法の拡張であるメタヒューリスティクスのひとつ)によって改善していく方法を用いているが、より精度の

高いスケジュールをより効率的に生成するため、処理モードや割付け順序を、リストスケジューリングの計算過程の中で変更する仕組みを導入している。これにより、時間制約が厳しく実行可能スケジュールを得ること自体が容易ではない問題例や、多くの作業を含む大規模な問題例にも対応することができる。

また、本研究で開発した最適化エンジンの性能評価の一環として、RCPSP 関連のベンチマーク問題を用いた計算実験を行い、専用アルゴリズムと同程度の質の解が得られることを確認した。さらに、従来のモデルでは扱うことが困難であった複雑なスケジューリング問題に対しても、開発した最適化エンジンが適用可能であることを確認した。

ただし、作業を早く完了することが必ずしも好ましいとは限らない評価基準(非正規評価基準という)については、アルゴリズムで得られる解の質と計算時間のバランスを考慮して、本研究で開発した最適化エンジンでは非対応としており、この点については今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

1. 野々部宏司,メタヒューリスティックアルゴリズム実装の手順と留意点,オペレーションズ・リサーチ, Vol.58, pp.716-722(2013)(査読無).
2. 小木曾由明, 野々部宏司, 柳浦睦憲, 汎用ソルバーによる研究集会開催日程スケジューリングの自動化, オペレーションズ・リサーチ, Vol.58, pp.224-230(2013)(査読有).
3. 野々部宏司,メタヒューリスティクスによる汎用ソルバーの構築, オペレーションズ・リサーチ, Vol.56, pp.257-262(2011)(査読無).

[学会発表](計4件)

1. 野々部宏司,メタヒューリスティクスによる汎用最適化ソルバー スケジューリング問題への適用を中心として, システム制御情報学会サステナブル・フレキシブル・オートメーション(SFA)研究分科会, 第13回研究例会「最適化アルゴリズムと産業応用」, 2013年5月8日, 大阪大学中之島センター(大阪府).
2. 野々部宏司, 橋本英樹, 梅谷俊治, 柳浦睦憲, 最適化アルゴリズムを実装する際の留意点について 組合せ最適化問題

に対するメタヒューリスティクスの場合を中心として，日本オペレーションズ・リサーチ学会 2012 年度秋季研究発表会，2012 年 9 月 13 日，ウインクあいち（愛知県）。

3. 野々部宏司，メタヒューリスティクスによる組合せ最適化問題に対する汎用ソルバーの開発，平成 24 年電気学会 電子・情報・システム部門大会，2012 年 9 月 6 日，弘前大学（青森県）。
4. 野々部宏司，資源制約付きプロジェクトスケジューリングに対する拡張モデルとメタヒューリスティクス，国際シンポジウム「ロジスティクス数理の理論と実践」，2011 年 11 月 30 日，東京海洋大学（東京都）。

6．研究組織

(1)研究代表者

野々部 宏司 (NONOBE, Koji)

法政大学・デザイン工学部・教授

研究者番号：40324678