

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22710141

研究課題名（和文）

大規模な整数計画問題に対する自動構成機能を備えたメタ戦略の開発

研究課題名（英文）

Automatic configuration of metaheuristics for large scale integer programs

研究代表者

梅谷 俊治 (UMETANI SHUNJI)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80367820

研究成果の概要（和文）：近年，産業や学術の幅広い分野で大規模かつ複雑な整数計画問題を効率良く解く需要が急速に高まっている．しかし，整数計画問題のようにアルゴリズムの性能向上に利用できる構造をほとんど持たない汎用的な組合せ最適化問題では高性能なアルゴリズムを開発することは困難であると考えられていた．本研究では，入力データから特徴的な構造を解析して，その情報を用いて効率的なアルゴリズムを自動的に構成する枠組みを提案する．

研究成果の概要（英文）：The integer program has many real applications in industrial and scientific areas, and it is important to develop efficient algorithms to solve large scale integer programs. However, it has been very difficult to achieve it because the integer program has no specific structure to design efficient algorithms. In this research project, we develop a framework that extracts specific structures from input data (set of linear constraints) and automatically configures the parts and details of metaheuristics based on the extracted structures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学

キーワード：整数計画，組合せ最適化，アルゴリズム，数理計画

1. 研究開始当初の背景

近年，産業や学術の分野における重要な問題の多くが組合せ最適化問題として定式化できることが認識されるようになり，大規模かつ複雑な組合せ最適化問題を効率良く解く需要が高まっている．しかし，組合せ最適化問題の多くは NP 困難のクラスに属する計算困難な問題であるため，大規模な組合せ最適化問題の厳密な最適解を現実的な計算時間で求めることは極めて困難である．さらに，情報通信技術の急速な発展は情報爆発と呼ばれる問題の大規模・複雑化を引き起こし，

重要な問題の解決はますます困難となっている．

一方で，現実の応用事例では常に厳密な最適解が求められているわけではなく，むしろ精度の高い近似解で十分役に立つため，近似解法のようなアイデアを組み合わせる探索の集中化と多様化をバランス良く実現したメタ戦略(metaheuristics)が活用される場合が多い．

しかし，個々の応用事例に対して十分な性能を持つメタ戦略を短期間で開発することは現実には困難であり，産業や学術の分野に

において組合せ最適化問題が幅広く活用されていると言うにはほど遠いのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、現実の様々な応用事例を自然に記述できる汎用的な最適化問題である整数計画問題に対して高性能なメタ戦略を開発することを目的とする。

一般に、アルゴリズムを設計する際には、問題の構造に合わせてアルゴリズムの部品の組み合わせとその細部を決定するため、高性能なアルゴリズムを開発するには、問題の構造をできるだけ多く利用できる組合せ最適化問題を選択することが望ましい。そのため、整数計画問題のようにアルゴリズムの性能向上に利用できる構造をほとんど持たない汎用的な組合せ最適化問題に対して効率的なアルゴリズムを開発することは困難であった。

確かに、産業や学術の幅広い分野に現れる応用事例は多種多様であり、これらの事例に共通して現れる特徴的な構造は存在しない。しかし、個々の応用事例は無秩序で全く構造を持たないわけではなく、実際には入力データに含まれる制約式(線形不等式)の集合が、グラフ、論理、順序、割当などの典型的な離散構造を記述している場合が多い。

もちろん、個々の応用事例の規模や離散構造の組み合わせは多様であるが、入力データからこれらの離散構造を抽出して問題を分割すれば、問題の構造を利用した手法を適用することでアルゴリズムの性能向上を実現できる。

本研究では、入力データに含まれる制約式の集合から典型的な離散構造を抽出して、その情報を用いてメタ戦略の部品の組み合わせとその細部を自動的に構成する手法を提案して、整数計画問題においても個々の問題に対して専用に開発されたメタ戦略と同程度の性能を達成するメタ戦略を開発する。

3. 研究の方法

(1)概略：本研究では、汎用的な組合せ最適化問題である整数計画問題に対して、基本的なメタ戦略である局所探索法を雛形とする組合せ最適化ソルバーを開発する。汎用的な部品で構成されたメタ戦略を雛形として、入力データに応じて問題構造を利用した部品を自動的に組み込む形で効率的なメタ戦略を実現する。

(2)汎用的なメタ戦略の開発：汎用的な部品のみで十分に高性能なメタ戦略を構築することは困難であるが、基礎となるメタ戦略が少しでも高性能であることが望ましい。そこで、緩和法、分解法など、数理計画法の要素技術をメタ戦略に導入したハイブリッドメ

タ戦略(hybrid metaheuristics)の枠組みに基づいて探索の効率化を実現する。

(3)メタ戦略の性能向上に役立つ構造の調査：組合せ最適化問題に関するこれまでの研究で得られた知見を用いて、メタ戦略の性能向上に役立つ問題構造とそれに適したメタ戦略の部品を体系的に整理する。

具体的には、組合せ最適化問題を整数計画問題に定式化した際に特徴的な制約式の組み合わせが現れる場合や、最短路問題、割当問題など効率的に解ける問題が部分的に含まれる場合を取り上げて、現実の応用問題において頻出するものを体系的に整理する。

(4)問題構造を利用したメタ戦略の部品の実装：前述の調査結果を基に、特徴的な問題構造を利用した効率的なメタ戦略の部品を実装する。提案するメタ戦略の性能向上には実装する部品は多い方が望ましいが、研究期間内に一定の成果を挙げることを考慮して、多くの応用問題に現れる問題構造と高性能なメタ戦略の部品の組み合わせを選んで実装する。

(5)問題構造を解析するアルゴリズムの開発：入力データに含まれる特徴的な制約式や部分問題を抽出して、それらの依存関係を解析するアルゴリズムを開発する。大規模な整数計画問題では、制約式から構成される制約行列のほとんどの成分が0となり(疎行列と呼ばれる)、角状もしくは階段状の構造を保つ場合が多い。本研究では、グラフの接続行列に相当する部分行列を抽出するアルゴリズムを開発する。

(6)メタ戦略を自動的に構成するアルゴリズムの開発：入力データに含まれる特徴的な制約式と効率的に解ける部分問題の情報を用いて、メタ戦略と部品の組み合わせとその細部を自動的に決定してメタ戦略を構成するアルゴリズムを開発する。メタ戦略は、適当な候補解に対して微小な変形を加えて得られる解集合(近傍)内に改善解があれば、その解に移動する手続きを繰り返す局所探索法を基本的な枠組みとする。そこで、問題構造の情報を用いて、近傍の定義、近傍の探索法、初期解の生成法などの部品を決定して、入力データに合わせたメタ戦略を自動的に構成する。

4. 研究成果

(1)0-1 整数計画問題に対する効率的な局所探索法の実装：0-1 整数計画問題では、候補解の実行可能性の判定に全ての制約式を確認する必要があるため多くの計算時間を要する。本研究では、局所探索法が微小な変形

を加えて新たな候補解を生成する点に着目して、変形に関わる制約式のみを確認して計算時間を削減した。さらに、現在の候補解の各制約式に対する違反度など、実行可能性の判定に必要な情報を補助記憶に格納して、新しい候補解の実行可能性を定数時間で判定する手法を開発した。

(2) 変数の適応的な評価付けに基づく問題の縮小：いくつかの整数計画問題では、線形計画緩和問題を解いて得られる情報を用いて各変数を評価付けすることで、大幅な問題の縮小を実現している。一方で、整数計画問題と線形計画緩和問題の最適値の隔たりが大きい場合には、各変数の適切な評価付けができないことが知られている。本研究では、局所探索法の過程における履歴情報を用いた各変数の評価付けの手法を開発した。

(3) 特徴的な制約式を利用した効率的な局所探索法の実装：割当問題の構造を持つ整数計画問題では、変数集合がいくつかの部分集合に分割されて、各部分集合で一つの変数のみ1の値を取る構造を持つ場合が多い。本研究では、入力データから割当問題の構造を持つ部分を抽出して、割当問題に特化した効率的な近傍操作を適用する手法を開発した。

(4) 変数間の関係を利用した問題の縮小：高性能な局所探索法を実現するためには、複数の変数の値を同時に変更する近傍操作が不可欠であるが、一方で、近傍の大きさと候補解の評価に要する時間が急激に増大するため、効率的な局所探索法を実現は困難である。本研究では、整数計画問題の制約行列において変数に対応する列ベクトルに着目した問題縮小の手法を開発した。制約行列から類似した列ベクトルの組み合わせを抽出して変数間の関係を表すグラフを構築した後に、グラフの構造に沿って複数の変数を同時に変更する近傍操作を定義する手法を提案した。

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1件)

① 梅谷俊治, 荒川正尚, 柳浦睦憲, 一般化上界制約付き集合多重被覆問題に対する発見的解法, 京都大学数理解析研究所講究録, 査読無し, 1829 (2013), 163-177.

[学会発表] (計10件)

① 梅谷俊治, 組合せ最適化入門: 線形計画から整数計画まで, 言語処理学会第19回年次大会(NLP2013), 2013. 3. 12, 名古屋大学.

② 梅谷俊治, 荒川正尚, 柳浦睦憲, 一般化上界制約付き集合多重被覆問題に対する発見的解法, 日本経営システム学会中国四国支部平成24年度第2回講演会, 2013. 1. 26, 広島経済大学.

③ S.Umetani, M. Arakawa, M. Yagiura, A heuristic algorithm for the set multicover problem with generalized upper bound constraints, Proceedings of the Seventh Learning and Intelligent Optimization Conference (LION7), 2013. 1. 10, Catania, Italy.

④ 梅谷俊治, 荒川正尚, 柳浦睦憲, 一般化上界制約付き集合多重被覆問題に対する発見的解法, 平成24年度文部科学省数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ「離散構造と最適化: 展開と連携」, 2012. 11. 30, 九州大学.

⑤ 梅谷俊治, 荒川正尚, 柳浦睦憲, 一般化上界制約付き集合多重被覆問題に対する発見的解法, 日本オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会, 2012. 9. 13, ウィンクあいち.

⑥ S.Umetani, M. Arakawa, M. Yagiura, A heuristic algorithm for the set multicover problem with generalized upper bound constraints, 21st International Symposium on Mathematical Programming (ISMP2012), 2012. 8. 22, Berlin, Germany.

⑦ S.Umetani, M. Arakawa, M. Yagiura, A heuristic algorithm for the set multicover problem with generalized upper bound constraints, The 1st Graph CREST symposium, 2012. 3. 23, 中央大学.

⑧ 梅谷俊治, 問題構造の解析に基づく組合せ最適化アルゴリズムの自動構成, 日本オペレーションズリサーチ学会秋季研究発表会, 2011. 9. 16, 甲南大学.

⑨ 梅谷俊治, こんなに使える最適化手法, 第10回情報科学フォーラム(FIT2011), 2011. 9. 7, 函館大学.

⑩ 梅谷俊治, 混合整数計画問題モデルの作成法, スケジューリング・シンポジウム, 2010. 9. 11, 法政大学.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-sys.ist.osaka-u.ac.jp/~umetani/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅谷 俊治 (UMETANI SHUNJI)

大阪大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80367820