

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 5 月 30 日現在

機関番号：18001
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500031
 研究課題名（和文） ネットモデリングに基づく数理計画の自動生成と大規模最適化計算に関する研究
 研究課題名（英文） A Study on Mathematical Programming based on Net modeling and Large-scale Optimization Algorithms
 研究代表者
 名嘉村 盛和 (NAKAMURA Morikazu)
 琉球大学・工学部・教授
 研究者番号：80237437

研究成果の概要（和文）：

ネットモデリングに基づく数理計画問題の自動生成について検討するとともに、大規模最適化計算を効率良く解くための手法を研究開発した。本研究により、繰返しジョブショップスケジューリング問題をハイブリッドペトリネットでモデリングすることで、混合整数計画問題を機械的に生成できることが分かった。また、大規模最適化問題に対しては、分布推定アルゴリズムに基づく戦略的探索手法とメタヒューリスティックスと厳密解法によるハイブリッドアルゴリズムを提案し、従来手法よりも効率良く大規模最適化問題を解くことができることを示した。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we considered automatic generation of mathematical programming problems based on a net-modeling approach and proposed heuristic algorithms for large-scale optimization problems. We confirmed that mixed integer programming problems could be generated for iterative job-shop scheduling problems from their hybrid Petri net models. And also we developed strategic searching algorithms based on estimation distribution algorithms and proposed hybrid algorithms of meta-heuristic algorithms and an exact algorithm. Experimental evaluation showed effectiveness of our proposals for large-scale optimization problems compared to traditional approaches.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア

キーワード：ネットモデリング、メタヒューリスティックス、並列処理、組合せ最適化

1. 研究開始当初の背景

組合せ最適化計算に関する研究は、計算機科学、オペレーションズ・リサーチで長い間扱

われてきているテーマであり実世界での応用範囲も広い。また、パワフルな市販最適化ツール、市販品に比べて性能は落ちるがフリー

で入手可能な優れた最適化ツールが存在するためうまく活用できれば非常に効果的である。しかしながら、個々の応用分野で組合せ最適化問題を定式化するには、深い数学的素養を要求するため容易に導入できるという状況ではない。また、問題規模が大きい場合には商用ツールであっても、解空間が爆発的に大きくなり解が導きだせなくなるという課題がある。特に最近では、応用問題の複雑化、大規模化が進んでいるため、定式化の困難さ、計算能力不足の問題はより深刻な方向へ向かっている。

2. 研究の目的

大規模複雑な数理計画問題を容易に定式化し効率良く解を求めるために、ネットモデリングに基づくグラフィカルな数理計画と大規模最適化のための手法を研究開発する。具体的には、ペトリネットを用いてシステムのモデリングを行うことで自動的に最適システム設計問題と最適スケジューリング問題を生成するアルゴリズムを開発する。また、生成された問題の大規模インスタンスを効率良く解くためのメタヒューリスティクスに基づく並列分散最適化手法を開発する。これにより、数理計画の専門的な知識がなくても複雑で大規模な組合せ最適化問題を効率良く定式化することができ、また効率良く解を求めることができるようになる。

3. 研究の方法

本研究課題では、組合せ最適化問題の自動生成技術の研究開発、大規模最適化計算のための並列メタヒューリスティクス手法の研究開発、および、これらの実問題への応用技術を開発するものである。以下に各テーマとそれぞれのサブテーマを示す。

- (1) ネットモデリングに基づく組合せ最適化問題の自動生成技術の研究開発
 - (1-1) 基本アルゴリズムの設計
 - (1-2) 特殊問題への対応の検討とシステム開発
- (2) 大規模最適化計算のための並列メタヒューリスティクス手法の研究開発
 - (2-1) 大規模繰り返し協調型進化計算手法の開発
 - (2-2) 数理計画とメタヒューリスティクスのハイブリッド計算手法の研究開発
- (3) 開発手法の実問題への応用
 - (3-1) 農業生産システムへの応用
 - (3-2) 生産システムにおける資源配置およびスケジューリングへの応用

4. 研究成果

(1) ネットモデリングに基づく組合せ最適化問題の自動生成技術の研究開発

①基本アルゴリズムの設計

作業プロセスを連続事象と離散事象の融合として捉える事で、ハイブリッドペトリネットを活用したモデリング手法を開発した。作業の開始・終了、資源の確保・解放等は離散事象であり、実際の作業は連続事象として整理している。また、スケジューリング問題を表す混合整数計画問題をネットモデルに対応づけることが可能となった。具体的には、各タスクの処理開始時刻とタスク間の順序関係を変数として表し、作業の順序制約、資源利用の排他制約等により制約条件を表している。これにより、ネットモデルからの数理計画の自動生成に繋げることが可能となった。

②自動生成の事例開発およびシステム開発

繰り返しジョブショップスケジューリング問題のペトリネットモデルからサイクルタイム最小化のための最適化問題を生成するための手順を示した。これにより利用者はジョブショップ生産システムのネットモデルとマシン性能、移動速度等の必要パラメータを入力するだけで最適化問題を定式化できる。ただし、他テーマを優先的に進めたため自動生成ツールの開発にはいたっていない。

(2) 大規模最適化計算のための並列メタヒューリスティクス手法の研究開発

①並列進化計算手法

並列進化計算におけるマイグレーションの探索への影響を計算機実験により調査した。実験結果から、マイグレーションの頻度、トポロジー等が解の質に大きな影響を与えることが分かった。これらの結果は、大規模並列進化計算のパラメータ設定に重要な指針を与えるものである。

②EDAに基づく戦略的探索手法

大規模最適化のための分布推定アルゴリズム (Estimation of Distribution Algorithm: EDA) と遺伝アルゴリズム (GA) による戦略的探索手法を開発した。開発手法は、マスタースレーブ形式に基づく並列処理を行うもので、マスターはスレーブの探索結果から解の分布を推定し、その結果をもとにスレーブに探索空間の割当を行うものである。その際、あらかじめ設定した戦略に従って割当が行われる。計算機実験の結果により、単純な GA、EDA、PSO 等の他の多点ベースの探索手法と比較して、提案手法が良質の解を効率良く探索できる事を示した。提案手法は、解空間を EDA に基づいて的確に捉えることで、限られた計算資源を効率良く解空間に割当てするため、特に大規模最適化問題において有効に働くものである。

③EDAに基づく戦略的探索手法の改良

EDA と GA による戦略的探索手法を改良した。本手法では割当ての際にはあらかじめ設定された戦略に基づいて初期集団生成のためのベクトルを生成し、スレーブへ割当てる。また、マスタープロセスはそれまでの探索結果をクラスタリングすることで解空間を把握するようになっている。改良前はパラメータとして事前に設定されたクラスタ数を用いていたが、改良後は自動的に最適なクラスタ数を求められるようにした。さらにマスタースレーブ間のやり取りを非同期式とした。改良前はマスターとスレーブの処理が同期方式で行われていたが、スレーブの探索時間には差があるため、スレーブの待ち時間が生じ、全体の処理効率を低下させる原因になっていた。マスターとスレーブ間の処理を非同期処理にすることで、全体の待ち時間を減少させた。また、マスターにおける EDA 処理にも複数のプロセッサコアを用いた並列処理を導入することで、高速化を図った。性能評価実験により改良後の手法の有効性を示した。関数最適化のためのベンチマーク問題を解くことによって、従来手法に対する提案手法の優れた点を明らかにした。

④ 厳密解法とメタヒューリスティックスのハイブリッド解法

メタヒューリスティックスと厳密解法を組み合わせることによって、従来のメタヒューリスティックスに比べてより良質の解を求めることができる最適化計算手法を提案した。提案手法は EDA の一種である PBIL と SA (Simulated Annealing) をメタヒューリスティックスとして用い、厳密解法として分枝限定法を実装した市販ツールを活用した。性能評価実験により提案手法は従来のメタヒューリスティックスよりも良質の解を高速に求めることができることを示した。さらにメタヒューリスティックスと厳密解法を組み合わせたハイブリッド最適化計算手法を改良した。改善前 (Hybrid1) は厳密解法で効率良く解ける問題例に対しては逆に計算時間が大幅に長くなってしまったことがあったが、改良した手法 (Hybrid2) では、アルゴリズムの早期に厳密解法により短時間で解ける問題であるかどうかを判定する仕組みを導入することでどのような問題例に対しても効率的に良質の近似解を求めることができるようになる。性能評価実験により改良後の手法は、従来のメタヒューリスティックスおよび改良前の手法に比べて、非常に高速に、厳密解に近い良質の解を求めることができることを確認した。図 1 と図 2 はマルチナップザック問題を解いた時の計算時間と解の質を、問題サイズを変化させて測定したものである。図より提案した HYBRID2 は解の質が厳密解法 (Gurobi) とほぼ同等で探索速度は他のメタヒューリスティックスより高速であることが分かる。

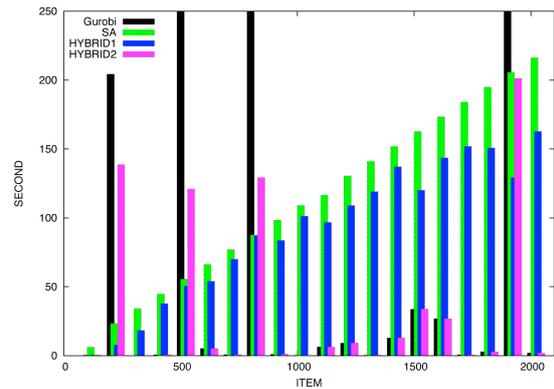


図 1 計算時間の比較

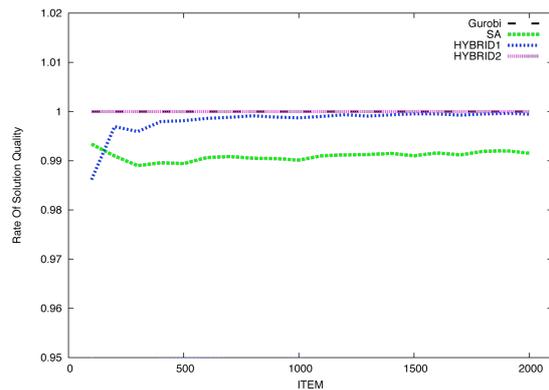


図 2 解の質の比較 (厳密解を 1 とした場合)

(3) 開発手法の実問題への応用

農作業スケジューリング問題に対するネットモデリング手法を開発し、モデルから自動的に混合整数計画問題が生成できることを示した。また、開発したハイブリッドアルゴリズムによって生成したスケジューリング問題を効率良く解けることを確かめた。

バイオ情報処理分野においては遺伝子因果関係ネットワークの推定とショートリード配列に対するゲノムアセンブラに対する新しい手法を提案した。遺伝子因果関係ネットワークの推定においては、従来法で困難であった有向グラフを扱う事ができるネットワーク特徴量を提案し推定を行った。

また、ゲノムアセンブルに対しては、従来法を用いて生成された複数の配列断片をさらに結合するためのハイブリッド型を提案し開発した。

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 18 件)

① Keitaro Tamaki, Yogalakshmi Kannaihaaidu, Takeshi Tengan, Morikazu

- Nakamura, Hybrid Optimization based on Mathematical Programming and Metaheuristics and its Parallel Processing, Proceedings of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, accepted, 2013. 査読有
- ② Daiki Kinjo, Morikazu Nakamura, A MapReduce Algorithm for Minimum Vertex Cover Problem, Proceedings of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, accepted, 2013. 査読有
- ③ Kenta Motomura, Morikazu Nakamura, Joji M. Otaki, A frequency-based linguistic approach to protein decoding and design: Simple concepts, diverse applications, and the SCS Package, Computational and Structural Biotechnology Journal, 5(6), 2013. 査読有 <http://dx.doi.org/10.5936/csbj.201302010>
- ④ Hitoshi Afuso, Takeo Okazaki, Morikazu Nakamura, Global Network Alignment Method Using Node Similarity Based on Network Characteristics, IPSJ Transactions on Bioinformatics, 6, pp.2-8, 2013. 査読有 <http://id.nii.ac.jp/1001/00091473/>
- ⑤ Kenta Motomura, Tomohiro Fujita, Motosuke Tsutsumi, Satsuki Kikuzato, Morikazu Nakamura, Joji M. Otaki, Word Decoding of Protein Amino Acid Sequences with Availability Analysis: A Linguistic Approach, PLoS ONE, 7(11), 2012, 査読有 doi:10.1371/journal.pone.0050039
- ⑥ Hitoshi Afuso, Takeo Okazaki, Morikazu Nakamura, Artificial Data Generation Scheme Based on Network Alignment for Evaluation Considering Structural Diversity, International Journal of Computer Science & Network Security, 12(11), pp.59-63, 2012. 査読有
- ⑦ Keitaro Tamaki, Takeshi Tengan, Morikazu Nakamura, Hybrid approaches based on simulated annealing and an exact algorithm for mixed integer programming problems, Proceedings of The Third International Conference on Networking and Computing, IEEE Press, pp.435-440, 2012. 査読有 10.1109/ICNC.2012.82
- ⑧ Said Mohamed Said, Morikazu Nakamura, Asynchronous Strategy of Parallel Hybrid Approach of GA and EDA for Function Optimization, Proceedings of The Third International Conference on Networking and Computing, IEEE Press, pp.420-428, 2012. 査読有 10.1109/ICNC.2012.80
- ⑨ Said Mohamed Said, Senlin Guan, Morikazu Nakamura, A Hierarchical Hybrid Evolutionary Computation for Continuous Function Optimization, International Journal of Next-Generation Computing, 2012. 査読有 <http://perpetualinnovation.net/ojs/index.php/ijngc/article/viewArticle/135>
- ⑩ 栗國信治, 官森林, 名嘉村盛和, PBIL と厳密解法の融合による繰返スケジュールリング問題の解法, 電子情報通信学会技術研究報告(システム数理と応用), MSS-2011(86), pp.73-78, 2012. 査読有
- ⑪ Shinji Aguni, Senlin Guan and Morikazu Nakamura, Net Modeling and A Hybrid Algorithm for Cyclic Scheduling Problems, Proceedings of The 26th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp.23-26, 2011. 査読有
- ⑫ 安富祖仁, 岡崎威生, 名嘉村盛和, 経路ラベル決定法に基づくネットワーク特徴量の拡張とそれらを用いた辺ラベル付き有向グラフ間類似度の提案, 情報処理学会研究報告(バイオ情報学), 2012-BI0-28(15), pp.1-7, 2011. 査読有
- ⑬ 大城絢子, 岡崎威生, 安富祖仁, 名嘉村盛和, Short read シーケンサーデータに対する複数重複処理による結合信頼性向上の検討, 情報処理学会研究報告(バイオ情報学), 2011-BI0-27(19), pp.1-2, 2011. 査読有
- ⑭ 布田丈浩, 名嘉村盛和, GPGPU によるマルチプルアラインメントの並列計算, 電子情報通信学会技術研究報告(システム数理と応用), MSS-1-2011(105), pp.115-119, 2011. 査読有
- ⑮ Said Mohamed Said, Morikazu Nakamura, Iterative parallel evolutionary computation based on master-slave cooperation, Proceedings of The International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, pp.981-984, 2010. 査読有 DOI: 10.5772/10298
- ⑯ Said Mohamed Said, Morikazu Nakamura, A Hybrid Approach of EDAs and GAs based on Master/Slave Cooperation for Continuous Function Optimization, Proceedings of the World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, pp.251-255, 2010. 査読有 10.1109/NABIC.2010.5716355

⑱ Hayato Miyagi, Takeshi Tengan, Said Mohamed Said, Morikazu Nakamura, Migration Effects on Tree Topology of Parallel Evolutionary Computation, Proceedings of IEEE TENCON, pp.1601-1606. 査読有
10.1109/TENCON.2010.5686041

〔学会発表〕（計 1 件）

① 栗國 信治, 官 森林, 名嘉村盛和, A Hybrid Approach to Cyclic Scheduling Problems based on PBIL and Exact Algorithms, 電子情報通信学会技術研究報告 システム数理とその応用, 2012 年 3 月 8 日, 東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

名嘉村 盛和 (NAKAMURA, Morikazu)

琉球大学・工学部・教授

研究者番号：80237437

(2) 研究分担者

岡崎 威生 (OKAZAKI, Takeo)

琉球大学・工学部・講師

研究者番号：90213925