

平成 22 年 5 月 19 日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2008～2009
 課題番号： 20760259
 研究課題名（和文） 離散事象システムの分解と調整による汎用離散最適化手法の開発
 研究課題名（英文） Development of General Discrete Optimization Method by
 Decomposition of Discrete Event Systems
 研究代表者
 西 竜志（NISHI TATSUSHI）
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
 研究者番号： 10335581

研究成果の概要（和文）： 離散事象システムの分解と調整による汎用性の高い離散最適化手法を開発した。開発した手法は、離散最適化問題を離散事象システムの最適状態遷移問題に変換し、問題を複数の部分問題に分解して、個々の問題の求解と調整を繰り返すことによって全体の問題を解くという手法である。離散事象システムの状態数の増加による組合せ爆発を避けるため、分解可能条件や分解手順について検討した。開発した手法を生産スケジューリング問題や自律無人搬送車(AGV)の経路計画問題へ適用することにより、提案手法の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）： A general discrete optimization method based on the decomposition of discrete event systems (DES) has been developed. In the developed method, the original problem is converted into a state transition problem for DES. The problem is decomposed into several submodel that can be solved easily. The proposed method repeats the generation of solution for submodels and the coordination of the solutions. The proposed method has been applied to solve production scheduling problems, and route planning problems for automated guided vehicles (AGV). The effectiveness of the proposed method has been confirmed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野： システム工学

科研費の分科・細目： 電気電子工学・システム工学

キーワード： 離散事象システム, 離散最適化, ペトリネット, オートマトン, 分解法, スケジューリング, 経路計画, AGV

1. 研究開始当初の背景

近年、離散最適化技法は生産計画やスケジュー

リング、鉄道システムにおける乗務員配置や航空機のフライトスケジュール、自動倉庫の運用管理、配送計画など様々な分野に応用

されつつある。計算機性能の向上やネットワーク技術の進展とともに、データの収集や管理も容易になり、実用的な規模の問題を迅速に解決できるようになってきている。しかしながら、現状では、それぞれの固有の問題に対して個別の最適化システムが構築されており、実用上起こりうるさまざまな制約条件の追加や目的関数の変更等に対応することが難しい。現在、利用可能な汎用ソルバーでは大規模な問題を実用的な計算時間で解くことは難しい。

国内外における離散最適化問題に対する汎用ソルバーに関する従来研究は遺伝的アルゴリズムやタブー探索、アニーリング法等のメタヒューリスティック解法が主流である。しかしながら、メタヒューリスティック探索では、問題の固有構造を解法のアルゴリズムに使用しない半面、数多くのパラメータ調整が必要となる。また、得られる解の最適性が保障されず、経験的なパラメータの調整が必要なことから、問題特有の構造をパラメータに集約しているといわざるを得ない。これに対して、著者は分解法の原理にもとづく数理計画手法を用いた離散最適化問題のアルゴリズム開発を行ってきた。数理計画手法を採用することにより理論的な最適性の検討が可能となる。従来の分解法による最適化アルゴリズムは、パラメータの調整が少なく、得られる解の最適性に優れる反面、問題固有の分解可能な定式化が必要となり、新たな制約条件が追加されると、分解可能な再定式化となっていた。このような従来の分解法における課題を解決するため、離散事象モデルの一つであるペトリネットモデルを採用した新たな分解法を開発した。ここでは、様々なスケジューリング問題を時間ペトリネットモデルにおける初期状態から最終状態までの最適発火系列問題に変換し、時間ペトリネットを複数のサブネットに分解・調整しながら与えられた目的関数を最適とする解を迅速に導出する汎用スケジューラの開発にすでに成功している。

2. 研究の目的

生産システムや産業活動、社会システムなどに関係するスケジューリング、最適投資などの問題の多くは、大規模なシステムの離散最適化問題として捉えることができる。これらの諸問題を解決するためのモデリング、解析、および、それらに基づく高速な最適化アルゴリズムの開発と基礎理論の構築を行うことを目的として、本研究では、離散事象システムモデルを共通モデルとした汎用離散最適化システムの開発を目的とする。最適化における状態爆発の問題を解決するため、離散事象モデルを複数の独立なサブモデルに分割

し、それらの個別最適化と個別解を調整する全体最適化機能を有することを特徴とする。開発する汎用ソルバーをクリーンルームにおける半導体ウエハの自動搬送システムの経路計画問題や様々な生産スケジューリング問題等の離散最適化問題へ適用することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) FA, オートメーション分野, 離散事象システム分野における離散最適化モデルの研究調査

自動倉庫や半導体工場のウエハの自動搬送システム, 印刷工場, 化学工場等における自動化のために利用される離散事象モデルについて, 状態の離散的状態遷移, 連続的状态遷移とそれらの意思決定モデルに着目して, 計画問題やスケジューリング問題, および現状の決定法, 最適化法について調査した。

(2) 離散事象システムによる最適化モデリング手法の検討

さまざまな離散最適化問題を, 離散事象システムによる一般モデルとして記述するため, 時間ペトリネットモデルを用いた離散最適化問題のモデリング手法を開発した。具体的には, システムを構成する各要素のモデル化と要素間をつなぐ結合部分のモデル化を分けることにより, 小規模な要素モデルから大規模システムを構成する方法論について検討した。得られた離散事象システムモデルの妥当性は, 可到達性解析等の離散事象システム論に基づいて検証した。離散事象モデルの拡張として, 1次ハイブリッドペトリネットや時間オートマトンの利用についても検討した。得られたモデルの妥当性を検証するため, 計算機によるシミュレーション実験を行った。

(3) 離散事象システムの最適化アルゴリズムの開発, および計算量の理論的評価 離散事象システムモデルにおける最適化問題の分解可能性, 分解された各部分問題の最適化アルゴリズム, 部分問題の解の調整アルゴリズムについて検討した。

(4) 最適化アルゴリズムの実装と基本問題での性能評価

スケジューリング問題や離散最適化問題の基本問題に対して, 離散事象システムモデル表現による分解と調整を用いた最適化アルゴリズムを適用し, その性能を評価した。従来の最適化アルゴリズムとの性能評価, および検証を行うため, 汎用最適化ソルバーとの比較を行った。

(5) 現実問題への応用

半導体ウエハの搬送システムにおける経路計画問題に提案手法を適用した。現実の問題に適用するためには、デッドロック回避に関する制約やバッファ容量の制約など、モデリングの上での工夫が必要となる。リクエストが時々刻々と与えられる動的問題に提案手法を適用した。得られた最適化結果が妥当であるかどうかを検証するため、提案手法によって得られた結果を搬送シミュレーションに入力し、最適化結果による効率性の評価を行うことにより、提案手法の有効性、最適化モデル変更に対する柔軟性を検証した。

4. 研究成果

離散事象システムの分解と調整による汎用性の高い離散最適化手法の開発を目的として、研究を実施し、以下の知見を得た。

(1) 時間ペトリネットの最適発火系列問題に対してラグランジュ緩和を用いたペトリネットの分解と調整にもとづく離散最適化手法を開発した。開発した手法は従来のペナルティ関数法を用いた手法と比較して、解の最適性を評価できることと、および最適解に近い解を得ることができることを数値実験により確認した。

(2) 複数AGVのタスク割当てと経路計画の同時最適化問題に対するペトリネットの分解と調整による最適化手法を開発した。分解されたサブネットに目標マーキングを有しない場合においても分解と調整が可能となるように最適化アルゴリズムを拡張した。さらに、単一方向搬送システムにおけるデッドロック回避アルゴリズムを導入し、実行可能性を保証した。開発した手法はモデル変更に対する汎用性を有するにもかかわらず、実用的な計算時間で準最適解を導出できることを確認した。

(3) 時間オートマトンの分解と調整によるフローショップ問題の解法を開発した。時間オートマトンの状態数の増加による組合せ爆発を避けるため、時間オートマトンの並列合成の分解可能条件を示した。この条件を用いることで、時間オートマトンの最適状態遷移問題の分解可能性判定を可能とした。時間オートマトンを用いたスケジューリング問題に対する従来の状態探索法に比べて、提案法は計算時間を削減できることを示した。

(4) 1次線形ハイブリッドペトリネットの最適発火系列問題を定義し、ラグランジュ緩和を用いたペトリネットの分解と調整に基づく離散最適化手法を開発した。開発した手

法は従来のペナルティ関数法を用いた手法と比較して、解の最適性を評価できることと、および最適解に近い解を得ることができることを数値実験により確認した。

(5) 動的搬送環境下における複数AGVのタスク割当てと経路計画の同時最適化問題に対するペトリネットの分解と調整による最適化手法を開発した。双方向搬送システムにおけるデッドロック回避アルゴリズムを開発し、デッドロックフリーな経路計画の導出を保証した。このアルゴリズムを導入した結果、離散最適化手法の収束性が改善されるとともに、提案手法はより短時間で最適に近い解を導出できることを数値実験により確認した。

(6) 時間オートマトンの分解と調整による分解法をジョブショップ問題に拡張した。従来の分解法に加えて、複数のロケーションで全体のモデルを分割する新たな分解法を構築した。複数の分解手法による部分問題の状態数を評価し、分解点の選択に関する示唆を与えた。新たに開発した複数ロケーションによる分解法をフローショップ問題に適用した結果、従来の仕事を要素とする分解法と比べて、計算時間は多少長くなるが、最適により近い解を導出できることが数値実験により確認された。

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5件)

- ① Tatsushi Nishi, Ryota Maeno, Petri Net Decomposition Approach to the Optimization of Route Planning Problems for AGV Systems, 査読有, IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 発行予定
- ② Yuki Tanaka, Tatsushi Nishi, Masahiro Inuiguchi, Dynamic Optimization of Simultaneous Dispatching and Conflict-free Routing for Automated Guided Vehicles – Petri Net Decomposition Approach –, 査読有, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 発行予定
- ③ 田中友貴, 西竜志, 乾口雅弘, ペトリネットの分解によるAGVのタスク割当てと経路計画の同時最適化, 査読有, システム制御情報学会論文誌, Vol. 22, No. 5, pp. 191-198, 2009
- ④ Tatsushi Nishi, Kenichi Shimatani, Masahiro Inuiguchi, Decomposition of

Petri Nets and Lagrangian Relaxation for Solving Routing Problems for AGVs, 査読有, International Journal of Production Research, Vol. 47, No. 14, pp. 3957-3977, 2009

- ⑤ 若竹雅人, 西竜志, 乾口雅弘, 時間オートマトンの分解と調整によるフローショップ問題の解法, 査読有, 計測自動制御学会論文集, Vol. 47, No. 7, pp. 369-378, 2009

〔学会発表〕(計 10 件)

- ① Tatsushi Nishi, Kenichi Shimatani, Masahiro Inuiguchi, A Decomposition Method for Optimal Firing Sequence Problems for First-order Hybrid Petri Nets, Proceedings 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, San Antonio, USA, 2009.10.13
- ② Masao Wakatake, Tatsushi Nishi, Masahiro Inuiguchi, Decomposition of Timed Automata for Solving Jobshop Scheduling Problems, Proceedings of ICROS-SICE International Joint Conference 2009, Fukuoka, Japan, 2009.8.19
- ③ 西竜志, デッドロック回避とスケジューリング-無人搬送車の経路計画問題を中心として-, 2010 年電子情報通信学会総合大会, 愛媛, 2009.3.17
- ④ 田中友貴, 西竜志, 乾口雅弘, 実行可能性を保証したペトリネットの分解による AGV のタスク割当てと経路計画の同時最適化, SICE システム・情報部門学術講演会 2008, pp.379-384, 姫路, 2008.11.27
- ⑤ 若竹雅人, 西竜志, 乾口雅弘, 時間オートマトンの分解と調整によるスケジューリング問題の解法と分解可能性判定, SICE システム・情報部門学術講演会 2008, pp.473-478, 姫路, 2008.11.27
- ⑥ Tatsushi Nishi, Masao Wakatake, Masahiro Inuiguchi, Decomposition of Timed Automata for Solving Scheduling Problems, 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Singapore, Singapore, 2008.10.14
- ⑦ Tatsushi Nishi, Yuki Tanaka, Masahiro Inuiguchi, Petri Net Decomposition Approach for the Simultaneous Optimization for Task Assignment and

Routing for Automated Guided Vehicles, 2008 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, Arizona, USA, 2008.8.24

- ⑧ Tatsushi Nishi, Kenichi Shimatani, Masahiro Inuiguchi, Lagrangian Relaxation Technique for Solving Scheduling Problems by Decomposition of Timed Petri Nets, IFAC 2008 World Congress, Seoul, Korea, 2008.7.6
- ⑨ 田中友貴, 西竜志, 乾口雅弘, ペトリネットの分解による AGV のタスク割当てと搬送経路計画の最適化, 第 52 回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 2008.5.16
- ⑩ 若竹雅人, 西竜志, 乾口雅弘, 時間オートマトンの分解と調整によるスケジューリング問題の解法, 第 52 回システム制御情報学会研究発表講演会, 京都, 2008.5.16

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西 竜志 (NISHI TATSUSHI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号: 10335581

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: