

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330284

研究課題名(和文) 多様な配送計画問題に対する自動的なメタ戦略アルゴリズム構成法の開発

研究課題名(英文) Automatic construction of metaheuristic algorithms for various vehicle routing problems

研究代表者

永田 裕一 (Nagata, Yuichi)

徳島大学・大学院理工学研究部・准教授

研究者番号：70334795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：実務で必要とされる配送計画問題は複雑でさまざまな制約を持つことが多く、配送計画問題を対象とした汎用ソルバーでもそのまま適用することが難しいという問題がある。本研究では徳島県内の配送業務に携わる企業のインタビューに基づき、実際の業務で解決を必要とされる複雑性を持った車両配送問題のモデル化を行った。また、実際の配送現場では、配送中に受けた追加注文に対応するための動的スケジューリングが必要とされる場合が多い。本研究ではこの問題に対する動的スケジューリングのモデリングも行い、動的スケジューリングに対応した最適化手法も提案した。

研究成果の概要(英文)：Vehicle planning problems required in actual companies are complex and have various constraints, and therefore it is difficult to apply general-purpose solvers developed for vehicle planning problems to such problems. In this research, based on an interview of a company engaged in shipping business within Tokushima Prefecture, we modeled the vehicle delivery problem which is required for actual work. Also, dynamic scheduling is often required to deal with additional orders received during the delivery. We also modeled dynamic scheduling problem to deal with additional orders and proposed an optimization method corresponding to dynamic scheduling.

研究分野：最適化

キーワード：メタ戦略 車両配送問題

### 1. 研究開始当初の背景

メタ戦略とは現実的な計算時間で最適解を求めることが困難な組合せ最適化問題に対して、探索的/ヒューリスティックな手法に基づいて短時間で高精度の近似解を求める近似解法の枠組みである。例えば、シミュレーテッドアニーリング、タブ探索、遺伝的アルゴリズムなどは有名なメタ戦略である。社会や産業で解決を求められている実問題は組合せ最適化問題として定式化できる場合でも、大規模な NP 困難問題となることが多く、実用的な観点からはなんらかの近似解法の適用が必要となる。メタ戦略はそのような最適化問題の実用的解法として浸透しつつある。

配送計画 (vehicle routing) は物流における最適化課題の一つであるが、近年の CO2 排出量の削減要請や物流量の増加を受けてその重要性はますます高まっている。現実の配送計画をモデル化するためにさまざまな制約条件が提案されているが、例えば時間枠制約が課された問題 (VRP with time window, VRPTW) や顧客から顧客へ直接荷物を配送するという制約が課された問題 (pickup and delivery problem, PDP) などが代表的である。目的関数は総走行距離の最小化や車両数の最小化などが代表的である。複数の制約条件と目的関数の組合せにより多様な配送計画問題が構成できるが、代表的な配送計画問題に対してはメタ戦略を用いた近似解法が精力的に開発されている。

メタ戦略を探索エンジンとした最適化システムの一般的な問題点として汎用性と拡張性の低さが指摘されている。例えばさまざまな種類の配送計画問題が提案されているが、優れたメタ戦略アルゴリズムを構築するためには問題の性質をうまく取り込んだ設計が必要となるため、問題ごとに専用アルゴリズムが考案されているのが現状である。しかし、全ての問題に対してメタ戦略の専門家が個別に優れたメタ戦略アルゴリズムを設計することは現実的ではない。また、実務レベルの複雑性を持った実問題は完全にモデル化すること自体が難しく、システムの運用に伴い新たな制約の追加や目的関数の変更といった要望が出てくるのが普通であるが、利用者が変更に応じて適切にアルゴリズムを修正することは容易ではない。従来のメタ戦略アルゴリズムにはこのような問題点があり、実用化には困難が伴っていた。

### 2. 研究の目的

本研究では任意の配送計画問題に対し、その問題に適したメタ戦略アルゴリズムを自動的に構成する機能を持つ汎用的な近似最適化法 (自動メタ戦略構成システム) を構築することを目的とする。具体的な目標は以下の通りである。

(1) 配送計画でこれまでに考えられてきたさまざまな制約条件と目的関数を組合せて

構成される任意の配送計画問題に対して、その問題を解くための優れたメタ戦略アルゴリズムを自動的に構成する機能を持つ汎用的な最適化システム (自動メタ戦略構成システム) を開発する。

(2) その発展として、利用者が独自の制約条件や目的関数を定義して配送計画問題を構成し、それを解くことができる拡張性のある自動メタ戦略構成システムを構築する。特に、配送計画問題を一般的に記述してシステムに入力するためのモデリング言語を開発する。

(3) 運送業者等で解決を必要とされている実際の配送業務を対象として、自動メタ戦略構成システムを用いた実用的な最適化システムを構築する。

### 3. 研究の方法

まず自動メタ戦略構成システムの基本的な枠組みを構築する。このシステムでは予め用意した制約条件と目的関数を組合せて構成される任意の配送計画問題に対するメタ戦略アルゴリズムを自動的に構築する。システムは主に 5 つの要素から構成されるので、それぞれを構築することで一通りのシステムを完成させる。予備実験では開発したシステムを代表的配送計画問題へ適用し、問題点を検証しながらシステムの完成度を高めていく。次に、配送計画問題を記述するためのモデリング言語を開発し、利用者がより柔軟に配送計画問題を定義してシステムへ入力することができる枠組みに拡張する。開発した自動メタ戦略構成システムを運送業者等で実際に必要とされている最適化課題に適用する。この過程を通して、実問題へ提案システムを適用する際の問題点を洗い出し、システムの完成度を高める。

(1) 利用者が制約条件 (複数も可) と目的関数を選択して配送計画問題を構成

(2) 構成された配送計画問題のパラメータ値 (拠点間の距離行列など) を指定して学習用のインスタンス (具体的な問題) 集合を作成

(3) 代表的なメタ戦略の探索戦略ライブラリの作成

(4) 配送計画のための探索近傍ライブラリの作成

(5) 配送計画問題の学習用インスタンス集合に対する有効なメタ戦略アルゴリズムの自動生成

### 4. 研究成果

(1) 以前の研究で巡回セールスマン問題に対して非常に高性能な遺伝的アルゴリズム (GA-EAX) を開発していた。これまでに、GA-EAX の集団の多様性を維持するための新しい方法として、変数間の高次の依存関係を考慮したエントロピーを導入した多様性指標を提案していた。この多様性指標は集団を

構成する個体の確率分布を  $m$  次のマルコフ過程でモデル化して、そのエントロピーレートとして定義されていたが、本研究では個体の確率分布を可変長のマルコフ過程 (variable-order Markov process) でモデル化する方法に拡張する手法を開発した。このアイデアにより、GA の集団の多様性維持がより適切に行われて、探索性能が改善することを確認した。この結果は国際会議 PPSN2016 では発表した。

(2) 徳島県内の配送業務に携わる企業のインタビューに基づき、実際の業務で解決を必要とされる複雑性を持った車両配送問題のモデル化を行った。また、モデル化した問題の問題例として徳島県内 100 個所の公共施設を配送先とする問題例を作成した。実際の 2 地点間の移動時間や移動距離などの情報はゼンリン社のデジタル地図情報から取得して、現実に近い状況を反映した問題を作成した。また、実際の配送現場では、配送中に受けた追加注文に対応するための動的スケジューリングが必要とされる場合が多い。本研究ではこの問題に対する動的スケジューリングのモデリングも行い、動的スケジューリングに対応した最適化手法も提案した。本研究ではモデル化した車両配送問題の解法として、タブー探索と Iterated local search を基本とした探索手法を提案した。作成した問題に開発した手法を適用した結果、妥当と思われる配送スケジュールを得ることができていることを確認した。本研究成果は進化計算学会に投稿中である。

(3) ファミリーレストランなどの飲食店において複数人のグループが料理を注文する時、大抵、それらの料理をできるだけ同時に提供する「同時同卓提供」が望まれる。しかし、多くの注文が殺到する昼時や夕方時には、料理人が注文内容や調理状況を判断して、同時同卓提供を実現するような調理順序を決定・管理することは困難である。そこで、本研究では飲食店において同時同卓提供を実現するための調理業務支援システムを開発した。具体的には、全ての注文内容を元に、同時同卓提供を実現するための料理人ごとの調理スケジュールを生成する方法を開発した。本研究成果は計測自動制御学会論文誌に投稿中である。

#### 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 2 件)

1. 山越 幸太, 永田 裕一, 小野 功: TSP のための GA-EAX における探索ステージ切替条件とマルチスタート戦略の提案, 計測自動制御学会論文集, 査読有, vol. 52, no. 4, pp. 242-248, 2016

2. Y. Nagata and S. Kobayashi: A Powerful Genetic Algorithm using Edge Assembling Crossover for the Traveling Salesman Problem, *Infornms Journal on Computing*, 査読有, vol. 25, no. 2, pp. 346-363, 2013.

[学会発表] (計 5 件)

1. Y. Nagata: Population Diversity Measures Based on Variable-Order Markov Models for the Traveling Salesman Problem, Proceedings of the 14th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN 2016), LNCS 9921, pp. 973-983, 2016 (Edinburgh, UK ). 2016/9/20
2. Y. Nagata and I. Ono: Random Partial Neighborhood Search for University Course Timetabling Problem, Proceedings of the 13th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN 2014), LNCS 8672, pp. 782-791, 2014 (Ljubljana, Slovenia). 2014/9/16
3. Y. Nagata and I. Ono: An Enhancement of Edge Assembly Crossover for the Capacitated Vehicle Routing Problem, Proceedings of the 10th Metaheuristics International Conference (MIC 2013), pp. 243-245, 2013 (Singapore). 2013/8/7
4. K. Honda, Y. Nagata and I. Ono: A Parallel Genetic Algorithm with Edge Assembly Crossover for 100,000-City Scale TSPs, Proceedings of the 2013 Congress on Evolutionary Computation (CEC 2013), pp. 1278-1285, 2013 (Cancun, Mexico). 2013/6/21
5. Y. Nagata and I. Ono: High-Order Sequence Entropies for Measuring Population Diversity in the Traveling Salesman Problem, Proceedings of the 13th European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (EvoCOP 2013), LNCS 7832, pp. 179-190, 2013 (Vienna, Austria). 2013/4/4

[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

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

永田 裕一 (NAGATA, Yuichi)

徳島大学・大学院理工学研究部・准教授

研究者番号：70334795