

令和 3 年 6 月 21 日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00342

研究課題名(和文) 配送計画問題に対する制約指向メタ戦略システムの開発

研究課題名(英文) Constraint oriented metaheuristics system for the vehicle routing problem

研究代表者

永田 裕一 (NAGATA, Yuichi)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授

研究者番号：70334795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：配送荷物の3Dパッキングを考慮した車両配送問題を最適化問題(3L-CVRP)とし定式化した。これまでに、パッキングする際の容器の空き空間に着目した手法を用いて、3Dパッキングを高速に行うための高速アルゴリズムを考案して、ベンチマーク問題で有効性を確認した。車両配送問題の解法としては単純なタブ探索を利用し、考案したパッキングアルゴリズムと組み合わせて解法を構築した。従来3Dパッキングを考慮した車両配送問題はパッキングと配送経路の最適化を分離するものが多かったが、両者を同時に進める方式を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現実の車両配送では、配送経路の最適化だけでなく、車両に積み込む荷物の3次元配置の最適化も込みで考える必要がある。これまで、配送経路の最適化(車両配送問題)と3次元物体の詰込み(パッキング問題)の研究は多くなされていたが、これらを同時に行う研究はあまり多くはなされていなかった。本研究では、これらの最適化を同時に行うためのアルゴリズム開発を行った。3次元パッキングを行う際には、現実想定される様々な制約(積み上げた時の安定性など)があり、これらを考慮した定式化を行った。また、これらの制約を満たしているかどうかの判定を効率的に行うためのデータ構造やアルゴリズムを開発した。

研究成果の概要(英文)：I have formulated a vehicle routing problem (3L-CVRP) that takes into account 3D packing of a delivery package. I have devised an efficient algorithm for 3D packing using a method that focuses on the free space in the container during packing, and have confirmed its effectiveness in benchmark problems. A simple tabu search was used to solve the vehicle routing problem, which was combined with the proposed packing algorithm to construct a solution method. The effectiveness of the proposed method is demonstrated on a set of benchmark problems.

研究分野：メタヒューリスティクス

キーワード：車両配送問題 タブ探索 3Dパッキング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

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した場合に大規模な NP 困難問題となることが多く、実用的な観点からはメタ戦略のような近似解法の適用が必要となる。

配送計画問題 (vehicle routing problem) は物流における最適化課題の一つであり、近年の物流量の増加を受け、その重要性はますます高まっている。現実の配送計画問題はさまざまな制約条件が付加されたより複雑な最適化問題となる。例えば、時間枠制約や顧客から顧客へ直接荷物を配送する制約などが典型的な制約例として挙げられる。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良く用いられる。代表的な配送計画問題に対してはベンチマーク問題が整備され、メタ戦略を用いた解法が最も優れた探索性能を示している (短時間で高精度の近似解が得られる)。

一方、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・拡張性の低さが挙げられる。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を設計する必要があるが、ユーザーの異なる要求ごとに専用アルゴリズムを構築することは現実的ではない。そこで、配送計画問題に対する当該研究分野における近年の研究動向は、ユーザーが持つ多様な要求項目をなるべく多くカバーした汎用的なモデル化を行い、そのモデル上で定式化可能な配送計画問題に対して高性能メタ戦略アルゴリズムを構築することにシフトしている。しかし、実務レベルの複雑性を持った配送計画問題で考慮すべき要求項目を完全にモデル化することは難しく、システムの運用に伴い新しいタイプの制約や目的関数を考慮したいという要望が出てくるのが普通である。このため、企業等の実務で必要とされる配送計画問題にメタ戦略を探索エンジンとした最適化システムを用いるのは問題点も多く、大手企業を除き (専用アルゴリズムをつくることのできる)、人手で配送計画を立てているのが現状である。

2. 研究の目的

上記の問題点に対処するため、配送計画問題を対象として、解きたい問題に課されている制約と目的関数を「宣言的」に入力することで問題を定式化するモデリング言語を開発する。すなわち、問題に課される制約と目的関数をユーザーが (モデリング言語の記述能力の範囲内で) 自由に記述して問題を定式化することが可能となる。さらに、定式化される任意の配送計画問題に対して、その問題を効率的に解決するメタ戦略アルゴリズムを自動的に構成する汎用的な近似最適化法 (制約指向メタ戦略システム) を構築する。

3. 研究の方法

制約指向メタ戦略システムは次の5つの要素から構成される: (A) 問題の宣言的記述, (B) メタ戦略が適用可能な形式への自動定式化, (C) 探査戦略ライブラリ, (D) 探索近傍ライブラリ, (E) メタ戦略アルゴリズムの自動生成。これらの構成要素を構築することでシステムを完成させる。研究初年度はある程度汎用性を犠牲にして一通り動くシステムを構築することを目標に開発を進める。次年度以降にシステムの汎用性を向上させるための改良を行う。並行して運送業務を主体とする企業との共同研究を推進し、制約指向メタ戦略システムを実問題へ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。

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。この結果は進化計算と呼ばれる分野の主要論文誌である Evolutionary Computation に掲載された。

(2) 地元企業との共同研究でこの会社に必要な配送業務の最適化を行うシステムを構築した。具体的に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行った。問題のモデル化は時間枠付き車両配送問題 (VRP with Time Window, VRPTW) をベースに必要な制約を加えて行った。また、ベンチマーク問題として徳島県内 100 個所の公共施設を配送先とする問題例を作成した。さらに、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。モデリングした実制約付き車両配送問題の解法として、本研究ではタブー探索と Iterated local search を基本とした探索手法

を考案した。さらに、配達途中に注文される追加配送に対して対処するための動的スケジューリングシステムを構築した。開発したシステムに関する論文を学会誌に投稿して受理された。

(3) 上述のシステムをより現実的なものとするために、配送荷物の 3D パッキングを考慮した最適化問題 (3L-CVRP) として問題の定式化を行った。これまでに、パッキングする際の容器の空き空間 (Free Space) に着目した手法を提案し 3D パッキングを高速に行うための高速アルゴリズムを考案して、ベンチマーク問題で有効性を確認した。車両配送問題の解法としては単純なタブ探索を利用し、考案したパッキングアルゴリズムと組み合わせる解法を構築した。従来 3D パッキングを考慮した車両配送問題はパッキングと配送経路の最適化を分離するものが多かったが、現在は両者を同時に進める方式に開発を行っている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nagata Yuichi, Imamiya Akinori, Ono Norihiko	4. 巻 115
2. 論文標題 A genetic algorithm for the picture maze generation problem	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Computers & Operations Research	6. 最初と最後の頁 104860 ~ 104860
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cor.2019.104860	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 沖 展彰, 小野 典彦, 永田 裕一	4. 巻 55
2. 論文標題 実制約付き車両配送問題に対する即時配送を考慮した動的配送計画システムの提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 313-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.55.313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yuichi Nagata	4. 巻 90
2. 論文標題 Partial Neighborhood Search for the Post-Enrollment Course Timetabling Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computers & Operations research	6. 最初と最後の頁 84-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cor.2017.09.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Yuichi Nagata and Isao Ono	4. 巻 90
2. 論文標題 A Guided Local Search with Iterative Ejections of Bottleneck Operations for the Job Shop Scheduling Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computers & Operations research	6. 最初と最後の頁 60--71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cor.2017.09.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山吹 卓矢, 小野 典彦, 永田 裕一	4. 巻 54
2. 論文標題 同卓スケジューリング問題のモデル化とその動的スケジューリング	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 346-356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.54.346	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 寺尾 圭一郎, 小野 典彦, 永田 裕一	4. 巻 8
2. 論文標題 全プロセスによる同一集団を維持したGA-EAXの並列化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 進化計算学会論文誌	6. 最初と最後の頁 100-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11394/tjpnsec.8.100	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 永田裕一
2. 発表標題 遺伝的アルゴリズムによる絵画的迷路作成迷路の作成
3. 学会等名 電気学会システム研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森口 裕人, 小野 典彦, 永田 裕一
2. 発表標題 経路と積載の同時最適化を考慮した車両配送問題の解法
3. 学会等名 第46回知能システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永田裕一
2. 発表標題 絵画的迷路生成問題に対する遺伝的アルゴリズムの開発と最長経路問題への適用
3. 学会等名 進化計算シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 織田雄大, 小野典彦, 永田裕一
2. 発表標題 車両配送問題における追加注文を考慮した配送計画システムの提案
3. 学会等名 第12回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今宮明則, 小野典彦, 永田裕一
2. 発表標題 MAを用いた絵画的迷路の自動生成
3. 学会等名 第12回コンピューテーショナル・インテリジェンス研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------