

ドローンとトラックを用いた配送計画問題

05001302 大阪大学 *佐東和樹 SATOH Kazuki
01604524 大阪大学 森田浩 MORITA Hiroshi

1. はじめに

近年、インターネットショッピングの普及により、宅配の需要が急速に増加している。このような需要の増加に伴い、配達員の人員不足や配達時間の増加、交通渋滞などが問題となっている。そして、この問題を解決する1つの方法として期待されているのが、ドローン配送である。しかし、ドローンだけの荷物の配送では、配達距離に制限があるため、ドローンとトラックを用いたハイブリッド型の荷物の配送方法がいくつか提案されている[1]。そして、様々な配送方法が考えられるため、ある決められた配達場所に対して、適切な配送方法を決定する必要がある。

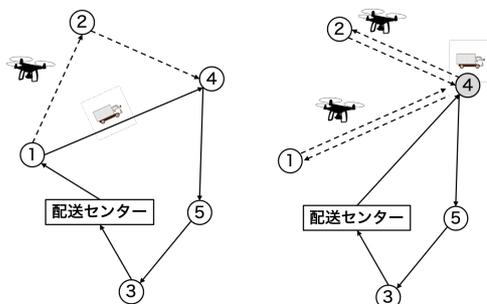


図 1: ドローンとトラックによる配送方法の例

2020年春季研究発表会では、Flying Sidekick Traveling Salesman Problem (FSTSP) についての解法を提案した[2]。そこで、本発表では、Parallel Drone Scheduling Traveling Salesman Problem (PDSTSP)[3]という問題に対して、効率良く解を求める手法を提案する。

2. Parallel Drone Scheduling TSP

2.1. 問題設定

PDSTSPの概略について説明する。まず、トラック1台とドローン1機を用意する。トラックは、通常通り荷物を配達する。ドローンは、配送センターを出発して、ある1つの消費者に荷物を配達し、配送センターに帰還する。そして、また配送センター

から別の消費者へと荷物を配達する。トラックとドローンがそれぞれ割り当てられた消費者全てに荷物を配達し、配送センターに戻ってくるまでの時間を配達時間とし、この配達時間を最小化するような最適な割り当てを決定する問題が、PDSTSPである。図2はPDSTSPによる配送例を示している。黒の実線がトラックの配達ルート、点線がドローンの配達ルートを表している。

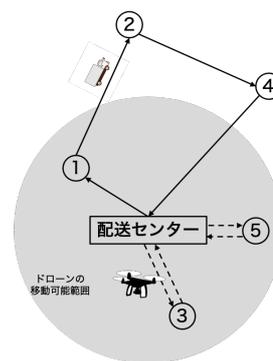


図 2: PDSTSP の配送例

2.2. 定式化

まずは、記号を定義する。頂点0を出発時の配送センター、頂点 $c+1$ を到着時の配送センターと設定しておく。

集合

- $C = \{1, 2, \dots, c\}$: 全ての消費者の集合。
- $C_1 \subset C$: ドローンによる配達可能な消費者の集合。
- $N_0 = \{0, 1, \dots, c\}$: 出発時の配送センターの頂点0と消費者の集合。
- $N_1 = \{1, 2, \dots, c+1\}$: 到着時の配送センターの頂点 $c+1$ と消費者の集合

パラメータ

- $\tau_{i,j}$: トラックが頂点 i から頂点 j まで移動するのにかかる時間。
- τ'_i : ドローンが配送センターから頂点 i まで移動するのにかかる時間。

決定変数

- z : 総配達時間.
- $x_{i,j}$: 頂点 i から頂点 j にトラックが移動するならば 1, そうでないならば 0.
- y_i : 頂点 i をドローンが訪れるならば 1, そうでないならば 0.
- u_i : 頂点 i にトラックが到着する順序.

以上の定義のもとで, PDSTSP を定式化すると以下ようになる.

$$\text{Min. } z \quad (1)$$

$$\text{s.t. } z \geq \sum_{i \in N_0} \sum_{\substack{j \in N_1 \\ j \neq i}} \tau_{i,j} x_{i,j} \quad (2)$$

$$z \geq \sum_{i \in C_1} 2\tau'_i y_i \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{i,j} + y_j = 1 \quad \forall j \in C \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N_1} x_{0,j} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N_0} x_{i,N-1} = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{\substack{i \in N_0 \\ i \neq j}} x_{i,j} = \sum_{\substack{k \in N_1 \\ k \neq j}} x_{j,k} \quad \forall j \in C \quad (7)$$

$$u_i - u_j + 1 \leq (c+2)(1 - x_{i,j}) \quad (8)$$

$$i \in C, j \in \{N_1 : j \neq i\}$$

$$u_i \geq 1 \quad \forall i \in C \quad (9)$$

$$u_i \leq N - 2 \quad \forall i \in C \quad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (11)$$

$$\forall i \in N_0, j \in \{N_1 : j \neq i\}$$

$$y_i \in \{0, 1\} \quad i \in C_1 \quad (12)$$

3. 提案手法

先ほどの問題設定に対して, 効率良く解を算出する方法を考案した. 図 3 が提案手法の流れを示している. C_t はトラックで配達する消費者の集合, C_d はドローンで配達する消費者の集合, $time_t$ はトラックの配達時間, $time_d$ はドローンの配達時間を表している.

入力データとして, トラックの頂点間の移動時間と配送センターから頂点までのドローンの移動

時間, ドローンの最大飛行時間を与える. そして, 初期解として, C_t と C_d を割り振る. その際, ドローンで配達することができる消費者は, 全てドローンの配達先の集合 C_d に割り当て, 残りをトラックの配達先の集合 C_t に割り当てる. そして, もしトラックの配達時間がドローンの配達時間以上であれば, 最適解として出力する. もしそうでないならば, ドローンに割り当てられていた消費者をトラックの配達先の集合に割り当て直し, もう一度配達時間を計算する. これを繰り返し行うことにより, 配達先の割り当てを得る.

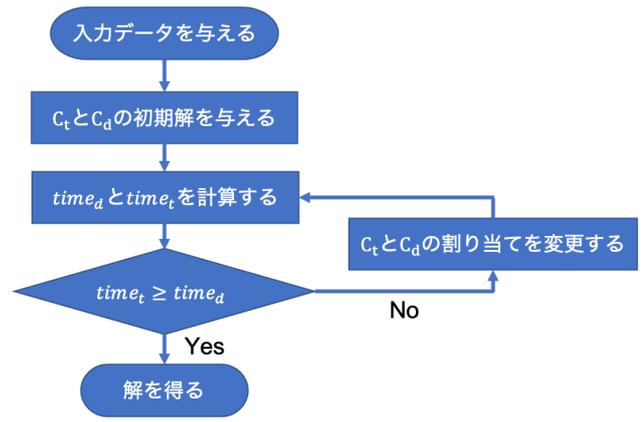


図 3: 提案手法の流れ

4. おわりに

本発表では, ドローンとトラックを用いた配送計画問題の 1 つである PDSTSP に対して, 効率良く解を求める手法を提案した.

参考文献

- [1] Roberto Roberti, Mario Ruthmair (2020) "Exact Methods for the Traveling Salesman Problem with Drone" *Transportation Science* 55, 315-335
- [2] 佐東和樹, Li Yixiao, 森田浩 (2020), ドローンとトラックを用いた配送時間の最小化, 2020 年度日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, 40-41
- [3] Chase C. Murray, Amanda G. Chu (2015) "The flying sidekick traveling salesman problem: Optimization of drone-assisted parcel delivery" *Transportation Research Part C* 54, 86-109