

ドローン配送における拠点施設の配置

2020SS079 辻野悠真

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

今日の物流業界ではさまざまな課題がある。例えば人手不足、労働環境の悪化、小口配送増加や積載量の減少などがある。さらに2024年に働き方改革が行われ、さらに人手不足が加速するといわれている。これらの課題を解決する方法としてドローンを利用した配送が有効的だと考えた。ドローン配送とは従来倉庫から各家へトラックで荷物を運んでいたものをドローンを使い、荷物を配送するというものである [1]。ドローンには飛行レベルが1~4まで設定されている。飛行レベル1は人が操縦したうえで目視内での飛行ができるものである。飛行レベル2は人の操縦がいらす、目視内での飛行ができるものである。飛行レベル3は人の操縦がいらす、人がいない場所で目視外の飛行ができるものである。飛行レベル4は人の操縦がいらす、人がいる場所でも目視外の飛行ができるものである。現在の日本では飛行レベル4のドローンで実証実験が行われている。

2 問題の説明

ドローンには重量制限や距離制限があるのでドローンだけではすべての配送を賄うことは難しい。そこで、今までのトラックでの配送とドローンでの配送を組み合わせる荷物を配送する方法が提案されている。トラックに荷物とドローン1機を積み込み、トラックで荷物を配送しつつ、ドローンでも荷物を配送する方法である。

3 モデルの説明

トラックは物流倉庫から荷物を積み込み、配送を始めるので物流倉庫を始点、終点と表している。本研究では市区町村の代表点を需要点とする。各需要点へトラックで配送するのか、ドローンで配送するのかを決定し、トラックの移動距離を最小化とするモデルである。図1は本研究で考えるトラックとドローンを組み合わせた配送方法である。トラックの動きを黒の枝、ドローンの動きを青の枝で示した。トラックは始点を出発し、各需要点へ荷物を配送し、終点へ到着する。トラックは道中良いタイミングで需要点で停車し、ドローンを使い近くの需要点へ荷物を配送する。トラックは始点で需要点1へドローンを使い、荷物を配送する。そしてトラックは需要点2、需要点3へ荷物を配送する。需要点3で停車し、ドローンを用いて需要点4へ荷物を配送する。配送を終えるとトラックは需要点5、需要点6へ荷物を配送し、終点へ到着する。このような流れになっている。

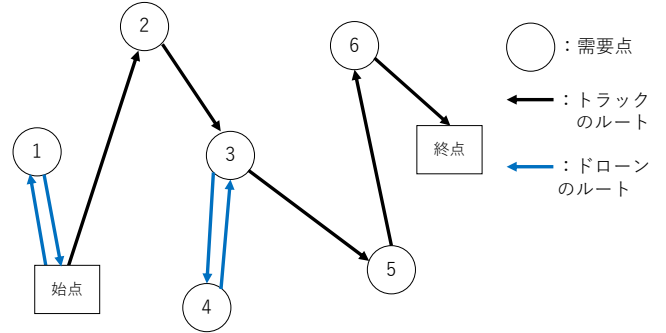


図1 本研究での配送方法

4 定式化

N : 需要点の集合.

$N^+ : N \cup \{s, t\}$.

s : 始点.

t : 終点.

d_{ij} : 需要点 $i \in N^+$ と需要点 $j \in N^+$ の間の距離.

w_i : 需要点 $i \in N$ の需要量.

L : ドローンの飛行距離の上限.

W : ドローンの積載量の上限.

M : 大きな定数

$$x_i = \begin{cases} 1: & \text{需要点 } i \in N \text{ にトラックで配送する.} \\ 0: & \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1: & \text{需要点 } i \in N \text{ にドローンで配送する.} \\ 0: & \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$u_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{需要点 } i \in N^+ \text{ から需要点 } j \in N^+ \text{ へ} \\ & \text{トラックで移動する.} \\ 0: & \text{上記以外.} \end{cases}$$

$$v_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{需要点 } i \in N^+ \text{ から需要点 } j \in N^+ \text{ へ} \\ & \text{ドローンで移動する.} \\ 0: & \text{上記以外.} \end{cases}$$

z_i : 各需要点を訪れる順序を表す変数.

ドローン配送における拠点施設の配置問題は以下のように定式化できる。

$$\min. \sum_{i \in N^+} \sum_{j \in N^+} d_{ij} u_{ij} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
\text{s.t.} \quad & x_i + y_i = 1. & i \in N \quad (2) \\
& \sum_{j \in N} u_{sj} = 1. & (3) \\
& \sum_{j \in N} v_{sj} \leq 1. & (4) \\
& \sum_{i \in N} u_{it} = 1. & (5) \\
& \sum_{i \in N} v_{it} \leq 1. & (6) \\
& u_{ij} + u_{ji} \leq 1. & i \in N^+, j \in N^+ \quad (7) \\
& v_{ij} = v_{ji}. & i \in N^+, j \in N^+ \quad (8) \\
& \sum_{j \in N^+} u_{ij} = \sum_{j \in N^+} u_{ji} = x_i. & i \in N \quad (9) \\
& \sum_{j \in N^+} v_{ij} = \sum_{j \in N^+} v_{ji} = y_i. & i \in N \quad (10) \\
& w_i y_i \leq W. & i \in N \quad (11) \\
& d_{ij} v_{ij} \leq \frac{L}{2}. & i \in N^+, j \in N^+ \quad (12) \\
& z_i + 1 - M \times (1 - u_{ij}) \leq z_j. & i \in N, j \in N \quad (13) \\
& z_i \geq 1. & i \in N \quad (14) \\
& x_i \in \{0, 1\}. & i \in N \quad (15) \\
& y_i \in \{0, 1\}. & i \in N \quad (16) \\
& u_{ij} \in \{0, 1\}. & i \in N^+, j \in N^+ \quad (17) \\
& v_{ij} \in \{0, 1\}. & i \in N^+, j \in N^+ \quad (18) \\
& z_i \in \mathbb{Z}. & i \in N \quad (19)
\end{aligned}$$

(1) はトラックの総移動距離を表しており、それを最小化する目的である。(2) 各需要点へトラックまたはドローンで配送するという制約である。(3) はトラックは必ず始点を出発するという制約である。(4) はドローンは始点から配送してもよいという制約である。(5) はトラックは必ず終点に到着するという制約である。(6) はドローンは終点から配送してもよいという制約である。(7) はトラックは同じ道を通ってはいけないという制約である。(8) ドローンの出発点と到着点は同じという制約である。(9) トラックが需要点 $i \in N$ へ荷物を配送するときその前後の枝を必ず通るという制約である。(10) ドローンが需要点 $i \in N$ へ荷物を配送するときその前後の枝を必ず通るという制約である。(11) ドローンが配送する需要点 $i \in N$ の需要量がドローンの重量制限 W を超えないという制約である。(12) ドローンの出発点から需要点までの距離がドローンの距離制限 L の半分を超えないという制約である。(13), (14) は部分巡回路を除去するための mtz 制約である。(15), (16), (17), (18) はそれぞれ x_i, y_i, u_{ij}, v_{ij} のバイナリ制約である。(19) は z_i のインテジャー制約である。

5 計算実験

定式化を Gurobi Optimizer V. 11.0 を用いてプログラムを Python で作成する。本研究は三重県の鈴鹿市を対象

として計算実験を行う。需要点を各地区の市民センターとして距離データを作成した。需要点の需要量は各地区の人口を用いて求める。計算実験の結果を図 2 に示す。物流センターを赤丸、需要点を黒丸、トラックのルートは黄色の枝、ドローンのルートは緑の枝で示した。この時のトラックの移動距離は 37km という結果が出た。ドローンが椿地区市民センターと庄内地区市民センターへ荷物を配送するときはドローンの出発点、到着点はトラックのルート上にある。ドローンが庄野地区市民センター、天名地区市民センター、箕田地区市民センター、久間田地区市民センター、合川地区市民センター、井田川地区市民センター、深伊沢地区市民センター、鈴峰地区市民センターへ荷物を配送するときはドローンの出発点、到着点はトラックのルート上にない。これらの原因としては計算実験の結果より定式化の式 (4.2), (4.10) にあると考える。式 (4.2) により需要点 i において x_i, y_i のどちらかしか 1 になることができない。 x_i が 1 となったとき、 y_i は 0 となり u_{ij}, u_{ji} ともに 0 となるので、トラックのルート上の需要点はトラックの出発点、到着点にならないことがわかる。

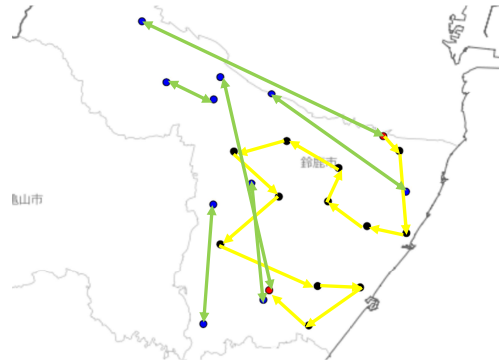


図 2 実験結果

6 おわりに

計算実験の結果よりドローンの出発点と到着点がトラックの始点、終点の時はトラックのルート上にあるが、需要点のときはトラックのルート上にないことがわかった。定式化の式 (2), (10) によりこのような結果になっていることがわかった。これらよりドローンの出発点と到着点が需要点のときもトラックのルート上になるようにモデルの修正が必要であることがわかった。

参考文献

- [1] 楽天グループ。ドローン配送とは？物流のメリットや課題をわかりやすく解説！実証実験まとめも。 https://www.rakuten-card.co.jp/minna-money/feature/article_2202-00004/. 2023 年 10 月 27 日閲覧。