

不確実性を考慮した探索用ドローン基地の配置について

01604870 政策研究大学院大学
01508030 奈良教育大学*諸星穂積 MOROHOSI Hozumi
古田壮宏 FURUTA Takehiro

1. はじめに

災害発生時の被災者捜索や情報収集に対応するために、複数のドローンをトラックなどの輸送手段を使って、現場に派遣する状況を考える。現場への到着時間や、捜索に必要なドローンの台数が確定的には決まらない場合に、あらかじめドローンを格納する基地をどのように配置するか、という問題の定式化を試みる。

ドローンの飛行時間は短いので、広い領域を探索するときは、近いところを探索するもの、遠いところに先回りして探索するもの、というように複数台で手分けする必要性が生じて、領域のどこから出発するかによって、必要なドローンの台数が変わる。与えられた領域に対して、必要なドローンの台数を見積る方法を [2] で論じた ([1] も参照)。

図 1 は、実際に同じ領域に対して、異なる出発点により必要な台数がどのくらい違うかを計算した結果である。同じ面積のところにも、縦一列に並んだ点が出発地点毎の必要台数を表している。

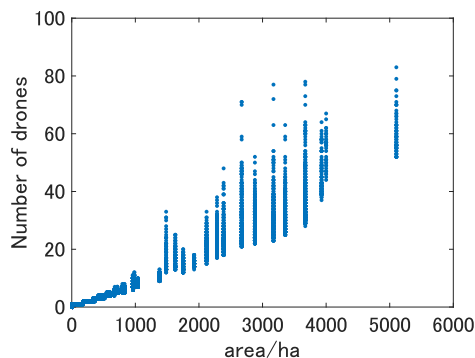


図 1: 想定地域の面積による必要台数の違い。

もちろん、出発点の違いは最寄りの基地候補地までの距離にも違いをもたらす。このような不確実性をどのように扱うかを、本論では論じる。

2. 問題の定式化

1 つの災害予想地域に複数の出発点があるとして、カバー問題として定式化してみる。すなわち、

各地域を探索できるかを表す不確実性に対応するために、地域ごとに複数のドローン出発点候補を用意し、それらのすべてでないしは一部に一定距離以内で到達できるときに、その出発点をカバーできると考える。

災害予想地域の集合を I とし、ドローンの基地の候補地を J とする。地域 $i \in I$ の出発点の集合を R_i とする。カバー半径を D とし、基地 $j \in J$ から地域 $i \in I$ の出発点 $k \in R_i$ までの距離 d_{ijk} から、カバーできるかどうかを示すパラメータ $t_{ijk} \in \{0, 1\}$ を $t_{ijk} = 1$ if $d_{ijk} \leq D$, $= 0$ if $d_{ijk} > D$, とする。また、この地点 $k \in R_i$ からの探索に必要なドローンの総数を b_{ik} とする。

最初にドローンの必要台数を計算するため、集合被覆問題 (SCLP) を解く。決定変数は基地 j に置くドローンの台数 x_j である。

$$\min. \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J} t_{ijk} x_j \geq b_{ik}, \quad \forall k \in R_i, \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}_+ \quad (3)$$

次に、ドローンの総台数が与えられたとして、全部の想定地域をカバーすることはあきらめ、できるだけ広い面積をカバーする問題 (最大被覆問題, MCLP) を考える。 i の面積を a_i とし、全部で K 台のドローンを配備するとして、定式化は以下のようなになる。決定変数は x_j に加えて、地域 i がカバーされるかどうかを示す y_i である。

$$\max. \sum_{i \in I} a_i y_i \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j \in J} t_{ijk} x_j \geq b_{ik} y_i \quad \forall k \in R_i, \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = K \quad (6)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}_+, y_i \in \{0, 1\} \quad (7)$$

モデル中の式 (2), (5) が、各領域の複数の出発

点候補が、基地からカバーされることを要求する制約である。この集合 R_i の決め方を次に考える。出発点集合 R_i の決め方

災害予想地域の周辺部はどこでも出発の候補点になりうると考えて、それらを全部 R_i とする方法を全制約と呼ぶことにする。次に、全制約の中からランダムに α の割合だけ選んで R_i とする方法をランダム制約と呼ぶことにする。また、一つひとつの出発地点に対応する制約が表す実行可能領域には包含関係があるので、この関係を利用して、包含関係の上位にあるものから何個か選んで、 α の割合の制約を満たすように R_i を決めることも考えられる。これを階層化制約と呼ぶ。ランダムと階層化で $\alpha = 1$ とした場合が全制約になる。

3. 数値実験

国土交通省が公開している国土数値情報ダウンロードサービス [3] から、土砂災害警戒区域 (H28) を災害想定地域として、上記の計算を試みた。災害想定地域毎の出発地点別の必要ドローン台数は [2] を使って計算した。

ドローンの基地候補地は消防署にして、基地候補地と災害想定地域との距離は、緊急輸送道路のデータを使って計算した。またカバー半径 D は、SCLP が実行可能になるような最小の値を用いた。図 2 に広島県で計算したときの例を示す。○印が基地候補地とした消防署である。

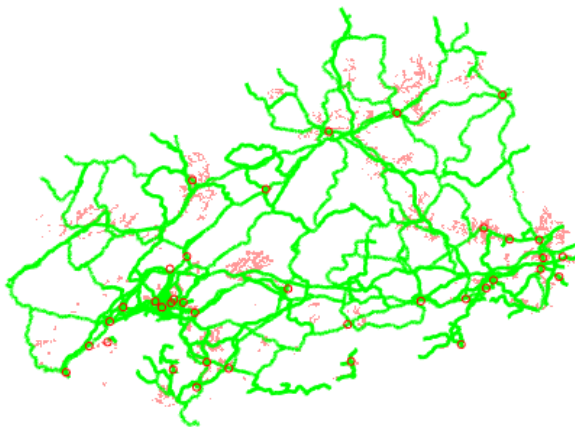


図 2: 広島県の例。

ここでは、ランダム制約の場合の SCLP の解を示す。 α の値は、0.2, 0.5, 0.8 とし、 R_i の選択をモンテカルロ法でランダムに 1000 回行い、目的

関数値の分布を調べた (図 3)。 α の違いによる、ドローンの必要台数の変化は思ったほど大きくない。中央値で比較して、 $\alpha = 0.8$ と $\alpha = 0.2$ で 10 台程度の違いである。これは、想定地域が多く山間部に分布していて、そこから近い消防署がほぼ決まってしまうために、 α の値を変えても解のバリエーションがあまり起こらないためではないかと考える。

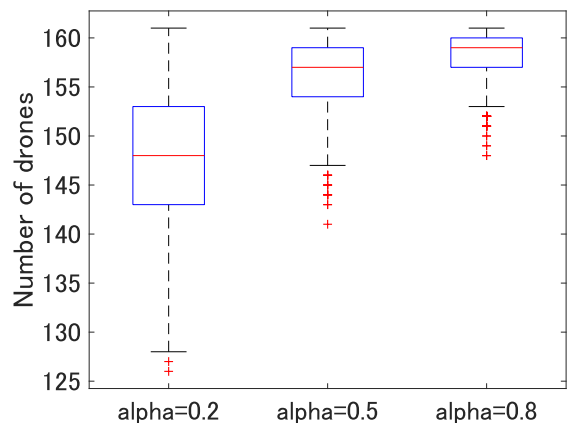


図 3: 広島県の例での SCLP の解の分布。

このほかの計算結果の詳細については、当日報告する。

参考文献

- [1] Otto, A, N. Agatz, J. Campbell, B. Golden, and E. Pesch: Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey, *Network*, 72(2018), pp. 411–458.
- [2] 山越靖之, 諸星穂積: 複数ドローンによる被災地域探索手法の一提案, 日本 OR 学会 2018 年秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 28–29.
- [3] 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>.