

ドローンを活用した荷物配送の大規模化に向けた機械学習による運行管理方式の提案 Proposal of operation management system by machine learning for large-scale drone delivery

中島碩人[†] 古濱尚樹[†] 鎌田典彦[‡] 喜田弘司[†]
Sekito Nakashima Naoki Furuhashi Norihiko Kamata Koji Kida

1. 研究背景

近年の宅配・郵便業界は人手不足が問題となっている。この原因として、インターネットの普及に伴う宅配サービスの増加が挙げられる。少子高齢化が進む日本では、人手不足がさらに深刻化すると考えられる。この問題を解決するために、人に代わって無人飛行機(以下ドローン)が荷物を運ぶドローン配送サービスの技術開発が進められている。そのため、将来、人による配送の大半をドローン配送で代替すると考えられ、ドローン配送の大規模化が予想される。

しかし、ドローンが飛行できるエリアは限られており、大規模化のために飛行エリアを広げる対策はとれない。この条件の下で、本稿では、ドローンを活用した荷物配送の大規模化に向けた機械学習による運行管理方式を提案する。

2. 従来の運行管理方式

2.1 衝突防止

ドローン配送は、ドローン同士の衝突が起きないように、運行管理をしなければならない。この解決手法として広くとられている方式は、メッシュという立方体(あるいは直方体)の空間を利用した運行管理である。メッシュは、配送エリア内を埋め尽くしており、1つのメッシュ内には、同じ時間にドローンは1機しか入れないようにすることで、衝突を防ぐことができる。

従来の運行管理方式は、メッシュのサイズが一律で、大きな値(例えば 100m)で固定されている。これは、ドローンの経路ずれ(4.1 に定義)が分からないため、安全を考慮して、想定される経路ずれの最大値で設定されるからである。

2.2 飛行計画

ドローンは、事前に決められた飛行計画に従って配送をする。飛行計画は、メッシュの中心を繋いでスタートからゴールまでの経路と、スタート、各メッシュの中心、ゴールへの到達時間からなる。

2.3 課題

大規模なドローン配送を可能とするために、1 時間以内に 1km 圏内で 250 個以上の飛行計画を作成することを課題とする(算出方法は 5 章を参照)。

しかし、従来の方式では、メッシュのサイズが大きく固定されていたことにより、ドローン 1 機あたりが占有する空間が大きくなり過ぎてしまう。そのため、空間の使用効率が低くなるため、飛行計画を多く作成することができず、課題として設定した飛行計画数を達成できない(従来方式

の飛行計画数は 5 章を参照)。

3. 解決のアイデア

ドローンは、日と場所によって安定して飛べる場合と、不安定にしか飛べない場合がある。一方、従来方式は、ドローンが日や場所に関係なく不安定にしか飛べない場合で、メッシュのサイズが一律に大きな値で設定され、空間の使用効率が低い。

これに対して、我々はドローンが安定に飛行できる日と場所を見つけ、メッシュ毎にサイズを小さくすることで、空間の使用効率を向上できると考えた(5 章で検証)。つまり、本研究では安定して飛行できる日と場所を見つけ、課題の解決を目指す。以下では、メッシュ毎に経路のずれを予測して、経路ずれに応じてメッシュを分割する方式を提案する。

過去のドローンの飛行データや天候のデータ等を学習データとし、重回帰分析を使ってドローンの経路のずれを予測する。予測した経路ずれに応じて、メッシュを分割する。図 1 のように、実線で引かれた経路と点線で引かれた経路から、経路のずれを計算する。ずれが大きければ、赤丸のようにメッシュの分割はしない。青丸のようにずれが小さければ、経路のずれの値よりもメッシュのサイズが小さくならないようにメッシュを分割する。

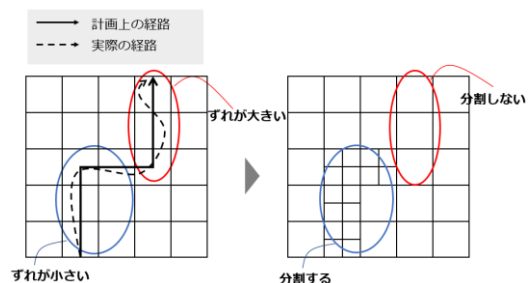


図 1 経路ずれに応じたメッシュの分割

4. 経路ずれの予測

4.1 経路ずれ

経路ずれとは、飛行計画上の経路から実際に飛行した経路の位置と時間のずれである。ドローンは、飛行計画を持ち、実際に飛行した経路の位置と時間を記録しており、経路ずれを求めてデータとして残す。

4.2 重回帰分析による学習と予測

重回帰分析に使用する学習データとして、目的変数を経路ずれとし、説明変数を日付・時間・風速・風向・雨量とする。経路ずれを予測するための説明変数は、経路ずれと相関関係が高いと思われるものを選んだ。

日付: 日本には、四季の変化があり、季節風や雨期があるため、風速・風向・雨量が判断でき、経路ずれとの相関

[†] 香川大学 Kagawa University

[‡] 日本電気通信システム株式会社 NEC Communication Systems, Ltd

関係が高いと考えられる(風速・風向・雨量は後述)。日付を季節に変換して学習データとして使用する。

時間帯: 1 日を大きく分けると朝・昼・夜に分けられる。特に、朝と夜では気温が大きく変化し、気温の変化による風速の影響があり、経路ずれとの相関関係が高いと考えられる。時刻のデータを時間帯に変換することで学習データとして使用する。

風速・風向: ドローンは風による影響を受けやすく、強風であれば、飛行計画上の経路から大きくずれるため、経路ずれと高い相関関係があると考えられる。また、経路ずれがどの方向に発生するのかを予測するために、風向のデータを説明変数としている。風速はそのままの値で使用するが、風向は方向に変換して使用する。

雨量: ドローンは雨による影響も受けやすく、風速と同様に、雨量が多いほど経路から大きくずれるため、経路ずれとの高い相関関係があると考えられる。データはそのまま学習データとして使用する。

風速・風向・雨量のデータは、センサを使って取得する。しかし、センサは、メッシュ毎に設置できない。各メッシュは設置された全センサのデータを取得する。センサは一定時間ごとにデータを記録するので、経路ずれのデータを記録した時間とセンサがデータを記録した時間が一致しない場合がある。この場合、センサのデータ間を関数式などで補い、経路ずれのデータの時間と一致するセンサのデータを求める。

経路のずれを持つメッシュは、重回帰分析をしてモデルを作成する。この経路ずれのデータとともに、経路ずれが発生した時間に該当する説明変数を入力することで、各メッシュの経路ずれを予測するためのモデルを作成する。図 2 は、説明変数が日付・時間帯のときである。日付と時間帯を図 2 のように変換して、重回帰分析により図 2 左のようなグラフ、つまり特徴ベクトルを抽出して、モデル(図 2 の重回帰式)を作成する。図 2 のメッシュ ID とは、メッシュにふられた番号のことである。

作成したモデルに、配送する日付と時間帯(もしくは、風速・風向・雨量)を入力することで、各メッシュ内で発生する経路ずれを予測することができる。予測した結果よりも小さくならないようにメッシュを分割する。

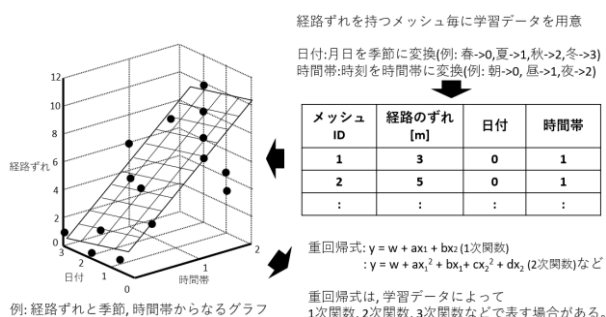


図 2 特徴ベクトルとモデル作成

5. 予備実験

(目的)メッシュの分割により、空間の使用効率が上がり、飛行計画を多く作成できる仮説(3 章)を実証する。

(目標値)現在、都内の配達員が 1 日(営業時間は 8 時間)に配送する荷物は 200 個を超えるため[1]、1 時間あたりに配送する荷物を $200 \div 8 = 25$ 個とする。都内において、配送拠点の配送エリア 1km 圏内に、他の配送拠点の配送エリア

が 10 重なる[2]。このことから、1km 圏内で 1 時間に飛行するドローンの数は、 $25 \times 10 = 250$ 機程度あると考える。よって、作成する飛行計画の目標値は 250 個とする。

(仮説の検証方法)本方式では従来方式のメッシュ全てを 16 分割したメッシュを使用する。メッシュの数が 16 倍になるため、従来方式の飛行計画の数の 16 倍作成でき(検証 1)、目標値を達成できることを検証する(検証 2)。

(実験方法)配送エリアと制限時間は、1km 圏内、1 時間とする。メッシュのサイズは 100m の 1 層で、高さは考慮しない。図 3 のように、A 社と B 社が管理する青色の配送拠点からドローンが飛行を開始し、ゴールは赤色のメッシュ内でランダムに設定する。配送エリアにはドローンが飛行できない場所があると想定し、飛行禁止エリアを設定する。この条件で、20 回実験をする。

(結果)従来方式では最小で 145 個、最大で 151 個、本方式では最小で 405 個、最大で 468 個の飛行計画を作成することができた。このことから、メッシュサイズを小さくすることで、従来に比べて飛行計画は約 3 倍多く作成でき、検証 2 は達成できた。しかし、検証 1 は達成できなかった。

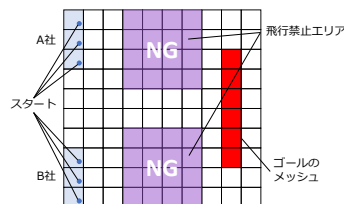


図 3 予備実験に使用する配送エリア

6. 考察

ニーズ面から策定した目標値は達成したが(検証 2)、サイズ面から策定した予測値は達成できなかった(検証 1)。以下では、この理由を考察する。

16 倍の飛行計画を作成できるのは、ドローンが並走して等速で飛行した場合である(理想条件)。今回の実験では、ドローンに無作為に順番を決め、A*アルゴリズムを使用してこの順番に経路を設計した。その際、先に設計された経路は、後に作成される経路を考慮していない。したがって、ドローンが可能な限り並走するようにドローン間で経路を調整するといったことはしていない。一方、速度に関して、今回の実験では、各ドローンが目的地に時間通りに到着するように設計している。目的地までの距離と現在時刻から、ドローンの速度を決めている。したがって、ドローンを可能な限り等速に飛行するように速度を調整するといったことはしていない。以上のことから、検証 1 が達成できなかった理由は、理想条件ではなかったからだと考えられる。

7. 結論

メッシュを小さくすることで、従来の方式よりも多くの飛行計画を作成することができることの効果が示された。今回の予備実験の結果および考察をふまえ、今後は重回帰分析を用いた経路ずれ予測によるメッシュサイズの分割の研究を進める。

参考文献

- [1] 一日 2 百個宅配の過酷労働, Business Journal. https://biz-journal.jp/2017/03/post_18317.html, (2020-06-19)
- [2] ドローン宅配, JAXA. <http://www.aero.jaxa.jp/publication/column/0327.html>, (2020-06-19)