

# 身体動作による分身体ドローンの 非同期経路決定インタラクションの構築

荒川 陸<sup>†</sup> 上間 裕二<sup>†</sup> 檜山 敦<sup>†</sup> 稲見 昌彦<sup>†</sup>

レース中のドローンなどフィードバックループが高速で即応性の必要な場面とは異なり、予め人の意図した大まかな経路で目的地まで飛行するなどの状況では、ドローンの行動中に人が別の行動を取ることができるという拡張性・協調性が実現される。操縦者の分身体としてのドローンに人の経路意図を非同期的に伝達するため、本研究ではスマートウォッチを装着した腕の動作を入力として、地図上経路選択を行うインタラクションを構築した。

## Asynchronous Route Determining Interaction of Avatar Drone by Body Operation

RIKU ARAKAWA<sup>†</sup> YUJI UEMA<sup>†</sup>  
ATSUSHI HIYAMA<sup>†</sup> MASAHIKO INAMI<sup>†</sup>

In contrast to situations such as controlling drones in racing where the interaction requires immediate readiness, scalability and cooperativeness can be achieved if human intention such as a flying path given to drones beforehand. In order to transmit human intention of flying path to a drone as an avatar asynchronously, a novel interaction system is proposed in this study where the drone decides the path to the goal based on human arm gestures measured by a smart watch.

### 1. はじめに

Human Robot Interaction の一つに人によるドローンの制御があり、ドローンレース、原発などの内部探索、山などの地形測定、空撮など様々な実応用が存在する。例えばドローンレースにおいては、操作者がドローンへの入力を行い、入力信号に関するドローンの追従を視覚的に確認し新たな入力を行うという高速なフィードバック制御を行っている。この場合、高い操作性とレイテンシの少ないインタラクション手法が好まれる。また、原発などの内部探索といった場合においても、人がドローンを慎重に操作し、ドローンが撮影した映像を見ながら逐次的にフィードバックを行うインタラクションが必要である。一方で、街の中をドローンと共に散策する場合など、人がドローンに進んでほしい道が想起されるような場合では、逐次的な入力ではなく、予め行動意図という形でドローンに伝達することで、ドローンが非同期的に行動中に人が別のアクションを行えるという拡張性・協調性の実現が期待される。そこで、本研究では、人の行動意図を自身の分身体としてのドローンに伝達し、人とドローンが協調して、散策、撮影などを行うことを可能にするためのインタラクションシステムを構築する。

人がスマートフォンアプリなどのコントローラを使わずにドローンを制御するインターフェースについては様々な研究がなされてきている。その中でも主流は、人の身体の動きを使った入力であり、ハンドジェスチャー、視線、身

体全身を用いたものが存在する。これらに共通するのは、どれも操作者が身体動作でドローンのアクチュエータを逐次的に制御するものである。本研究では、人の行動意図を伝達するという意味で、身体動作を用いた新しいインターフェースを構築する。

本研究の貢献は以下の通りである。

- 身体動作を用いた非同期的なドローンへの飛行ルート入力に関する手法の提案と、精度を検証した。
- 方向コマンド系列を用いた地図上の経路決定問題を提案し、アルゴリズムを提案した。
- 提案手法の実装として、スマートウォッチとスマートフォンという身につけている装置のみを用いるアーキテクチャを用いた。

### 2. 関連研究・課題

人とドローンのインタラクションに関して、人の身体動作による逐次的なドローンの操作と、操作の身体性を高める研究は盛んに行われている。Fly Jacket [1]では、ジャケットを着用し上半身の入力によりドローンを制御することに成功し、一体感、直感的なインタラクションを実現している。他の姿勢によるドローン制御の例として Cherpillod らの上半身一体型のインタラクションの提案[2]があり、また手のジェスチャーによる制御も盛んである[3,4]。さらには視線により位置や姿勢を指定する制御もあるが[5]、これらは全て逐次的なドローンの制御である。

<sup>†</sup> 東京大学. The University of Tokyo.

またドローン以外の Human Robot Interaction に目を向けると非同期的なインタラクションが実現されている。例えば、自然言語によるピッキング[6]、画像と自然言語入力によるパスプランニング[7, 8]など、事前に人が指示を与え、ロボットがプランニングをし、その後行動をとるといったインタラクションが実現されてきている。一方で、ドローンとの非同期的なインタラクションを目的として、事前に作業内容を与えるようなインタラクションは見当たらない。そこで本研究では、ドローンが実際の飛行する前に、操作者の身体動作を用いて飛行ルートを入力する手法を提案する。

### 3. 提案手法

身体動作を用いてドローンに飛行ルートを入力する場合、操作者の伝達意図を限られたジェスチャーで表現する必要がある。人がドローンのナビゲーションを行う際のジェスチャーについては、腕を使用するケースが多いという報告がある[9]。本研究では[9]の知見を参考にし、ドローンに対する事前の飛行ルートを入力として腕のジェスチャーを用いる。次に、操作者の腕のジェスチャーとドローンの飛行ルートの決定は以下の方法で実現される。つまり、腕のジェスチャーを予め定義した方向コマンド系列に対応づけ、得られた方向コマンド系列に関して、2Dグリッド状地図上での経路決定を行う。なお、本研究においてはドローンが飛行するルートの地図情報が事前に得られているものとした。

以上より、本研究ではドローンへの行動意図伝達のため、腕のジェスチャーを用いて入力を行い、入力された方向コマンドを解析し、経路決定アルゴリズムによりドローンの飛行ルートを決定する。

### 4. 実装・機能検証

本研究では、Figure1 に示すアーキテクチャによりシステムの試作を行った。腕のジェスチャー入力はスマートウォッチに搭載された加速度センサで計測した。センサ値からジェスチャー認識を行い、認識されたジェスチャーと対応する時系列の方向コマンド(ステイ・前・左・右の4通り)を用いて、事前に与えた地図上での経路決定を行った。その後、決定された経路がドローンに通信され飛行する。ここで、スマートウォッチ、ドローンにはそれぞれ、Apple Watch Series3, Ryze Tello を用いた。Apple Watch は内蔵センサで加速度・姿勢の情報をリアルタイムに取得できる。また Ryze Tello は小型で前後左右上下 10cm 単位での制御が可能である。

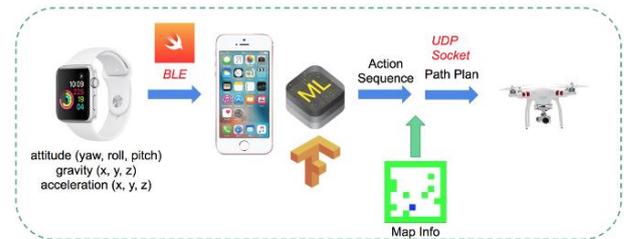


Figure 1 システムアーキテクチャ図

#### 4.1 スマートウォッチによるジェスチャー認識

腕に装着したスマートウォッチから腕の動きを認識し、方向コマンドを推定した。本研究ではドローンへの命令入力としてステイ・前・左・右の4種類の方向を用いた。スマートウォッチで計測した加速度、姿勢をこれらの行動に分類するため本研究では機械学習の手法である Multi-Layer Perceptron を分類器として用いた。

##### (1) 計測

腕による1つの方向の入力は1秒間で行われるものとし、スマートウォッチはその間 10Hz でサンプリングを行った。スマートウォッチの計測項目は加速度 3 次元、姿勢 3 次元の計 6 次元のデータである。すなわち 1つの方向の入力は  $10 \times 6$  次元の行列で表され、これを  $a_{i,k}$  ( $1 \leq i \leq 10, 1 \leq k \leq 6$ ) と表記する。

##### (2) 特徴量作成

上で得たデータから特徴量ベクトル  $f$  を以下によって抽出した。

$$f = (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6)$$

$$f_k = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^7 a_{i,k}$$

以上により 1つの方向の入力の特徴量として 6次元のベクトル  $f$  が得られた。

##### (3) 機械学習

本研究では機械学習を行うため、スマートウォッチを左腕に着け、4.1の要領で計測を行なった。これにより各方向 150個のデータが得られた。これらを train/test=9:1の割合で分割し、機械学習を行なった。用いたモデルは Multi-Layer Perceptron であり、入力層、隠れ層、出力層の次元はそれぞれ 6, 5, 4 であり、活性化関数には ReLU を用いた。

この結果、testデータにおける精度は 93.3% であり、混合行列は Figure2 のようになった。なおラベルは 0: ステイ, 1: 前, 2: 右, 3: 左 という対応順である。例えば、正しくはラベル 1(前)であったが、0(ステイ)と認識したものは 1個存

在した。

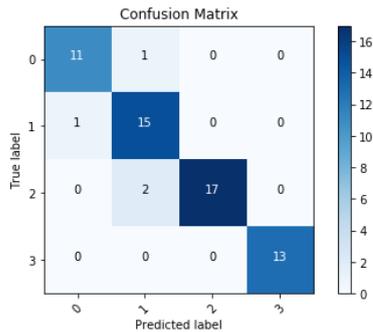


Figure 2 テストデータに対する結果の混合行列

#### 4.2 経路決定

得られた方向コマンド系列と事前に与えられた地図情報から次の流れに従って人の行動意図に近い行動を選択する。これは人が他人に道順を教える際に、「前に行ってから右に曲がって」のように方向コマンド系列を伝達するケースが多く、人の直感的な経路伝達の一つである。まず、地図情報は Figure3 のような 2D グリッド状で与えた。

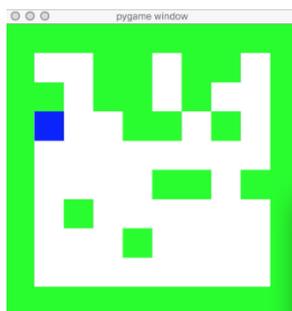


Figure 3 与えた 2D グリッド地図の例

このタスクには、与えられた方向コマンド系列と地図情報からは、経路が一意に定まらない可能性が存在する。本研究では、人が曲がる動作を指示するのは障害物などの角であるという仮説をたてた。Figure4 に経路決定の手順を示す。まず地図上で方向コマンド系列に従う経路を全探索し、その上で、各経路について壁などの障害物のそばで曲がっている回数をカウントし、最大の経路を選択する。回数が最大の経路が複数ある場合はランダムに一つを選択する。

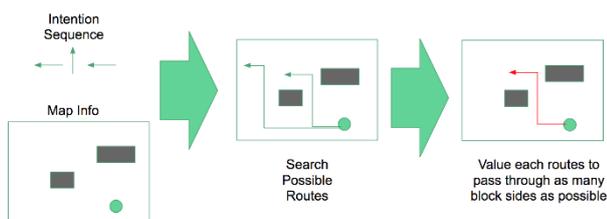


Figure 4 経路決定アルゴリズム

#### 4.3 検証実験

本インタラクションの検証は、4 名を用いて行った。なお、本実験ではスマートウォッチに Apple Watch を用いたが、その性質上、腕の傾き、腕を振る速度によっては本体が sleep してしまう問題があった。そのため、ドローンとのインタラクションを行う前に、Apple Watch が sleep しない腕の動かし方をおよそ 1 分程度で習得してもらった。実験では Figure5 のようなフィールドで、あらかじめ指定した番号を被験者に伝え、その番号付近の上空にドローンが飛行して到達するようにジェスチャー操作を行ってもらった。本実験では入力は 3 秒間のジェスチャー入力、すなわち 3 回の方向コマンドの入力とした。

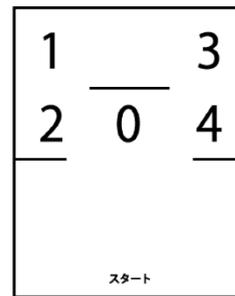


Figure 5 実験に用いた空間の地図

例えば、3 の位置が指定された時、ドローンが到達するには腕のジェスチャーが「前→右→前」と認識される必要がある。一方、4 の位置が指定された時は、「前→ステイ→右」や「前→右→ステイ」という複数の場合で達成される可能性がある。Figure6 に実際の実験で用いたフィールドとその様子を示す。



Figure 6 実験風景。左腕に Apple Watch を装着している。

実験ではジェスチャー認識の成功率、ドローンの到達の成功率の二種類を測った。到達の成功率では、ドローンが正しく目的地付近に到着した場合に成功、そうでない場合を失敗としてカウントした。各被験者につき、目的地は 0→1→2→3→4 の順番に二周行ってもらい、その成功回数を計算したところ Table1 のような結果になった。

Table 1 認識回数/達成回数

目的地	0	1	2	3	4	全体
1 周目	3 / 2	1 / 1	4 / 2	1 / 1	3 / 2	12 / 8
2 周目	4 / 4	3 / 3	4 / 3	3 / 1	4 / 2	18 / 13
全体	7 / 6	4 / 4	8 / 5	4 / 2	7 / 4	30 / 21

## 5. 考察

ジェスチャーの認識率に関しては、全体では  $30/40 = 0.75\%$ 、二周目に限れば  $17/20 = 85\%$ の精度であった。これは被験者は本実験における腕によるジェスチャー入力が初めてであったため、学習時に用いたデータとはやや異なる分布になっており誤認識がおきていたが、慣れるにつれて正しく認識が行われるようになったと考えられる。

一方で正しく目的地にたどり着けた確率はおよそ 50%程度である。これは、ドローンがホバリング中に位置がずれずまい、結果としてずれた場所に辿り着いてしまうことが原因であった。本研究ではドローンのカメラ画像によるフィードバック機構、キャリブレーション機構などを実装していないため、このような認識率と到達率の乖離が生じたと考えられる。

## 6. おわりに

本研究では方向コマンド系列と地図情報から事前に定めたルールに基づいて経路を決定し、その検証を行なった。十分な行動意図の認識精度は達成したが、ドローンの制御面で改良点の残る結果となった。今後は、位置がぶれないためのフィードバック機構を組みこむなど制御面での改良に加え、行動途中への割り込んだ指示、自然言語、視線情報などを用いたマルチモーダルな指示を可能にし、より自然な分身体としてのドローンインタラクションを構築する。併せて、そのようなインタラクションに基づいた、人とドローンが非同期的に協調して特定のタスクへの取り組みを行うシステムを提案したい。

## 謝辞

本研究は JST ERATO JPMJER1701, JSPJ 科研費 JP15H01701 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) Carine Rognon, Student Member, IEEE, Stefano Mintchev, Member, IEEE, Fabio Dell'Agnola, Alexandre Cherpillod, David Atienza, and Dario Floreano: FlyJacket: An Upper Body Soft Exoskeleton for Immersive Drone Control, IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, VOL. 3, NO. 3, JULY 2018.
- 2) Cherpillod, Alexandre & Mintchev, Stefano & Floreano, Dario. (2017). Embodied Flight with a Drone.
- 3) Hakan Erol Joji Asako Soheil Karimi Trivi Tran: Drone Motion

- Piloting a Drone Using Hand Gesture Detection System
- 4) Kathiravan Natarajan, Truong-Huy D. Nguyen, Mutlu Mete. (2018). Hand Gesture Controlled Drones: An Open Source Library
- 5) John Paulin Hansen, Alexandre Alapetite, I. Scott MacKenzie, and Emilie Møllenbach. 2014. The use of gaze to control drones. In Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA '14)
- 6) Jun Hatori, Yuta Kikuchi, Sosuke Kobayashi, Kuniyuki Takahashi, Yuta Tsuboi, Yuya Unno, Wilson Ko, Jethro Tan. Interactively Picking Real-World Objects with Unconstrained Spoken Language Instructions, Proceedings of International Conference on Robotics and Automation (ICRA2018), 2018.
- 7) Shah, Pararth & Fiser, Marek & Faust, Aleksandra & Chase Kew, J & Hakkani-Tur, Dilek. (2018). FollowNet: Robot Navigation by Following Natural Language Directions with Deep Reinforcement Learning.
- 8) Peter Anderson and Qi Wu and Damien Teney and Jake Bruce and Mark Johnson and Niko Sunderhauf and Ian Reid and Stephen Gould and Anton van den Hengel: Interpreting visually-grounded navigation instructions in real environments, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018
- 9) Jessica R. Cauchard Jane L. E Kevin Y. Zhai James A. Landay: Drone & Me: An Exploration Into Natural Human-Drone Interaction, UbiComp '15 Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, 2015