

実飛行軌道データの機械学習を用いた折紙飛行機の軌道推定

寺島 広† 小池 崇文†

法政大学大学院 情報科学研究科†

1. はじめに

近年、乗り物の運動や自然現象のアニメーションを、物理シミュレーションで作成できるようになった。これにより、映像コンテンツで物理シミュレーションを利用した例が増えてきている。例えば、水流の様子や風で木がなびく様子が再現されている。また、これらのアニメーションをリアルタイムで行うことも可能になりつつある。

しかしながら、飛行物体は、空気力学を用いる必要がある。リアルタイムにシミュレーションするのが容易でない。例えば、紙飛行機の飛行軌道を正確にシミュレーションするためには、空気力学を用いる必要があるが、空気力学の場合、正確な飛行軌道をシミュレーションするためには、計算コストが高くリアルタイムに飛行軌道を求めることは困難である。

本研究では、紙飛行機の外形画像と実飛行軌道を用いて機械学習を行い、飛行軌道を予測する。紙飛行機は、形によって飛び方が異なるため、翼の形を用いる必要があると考えた。複雑な形の紙飛行機の飛行軌道を予測することが、本研究の目的である。

2. 関連研究

紙飛行機の飛行軌道予測には、物理シミュレーションを用いることが一般的である。吉川らは、ナビエ・ストークス方程式（以下NS方程式）の粘性項や圧力項を解くことで、紙飛行機のフライトシミュレーションを厳密に行う方法を提案している[1]。NS方程式を解き、紙飛行機の周りの空気の動きを計算することで、再現度の高い紙飛行機のフライトシミュレーションを行っている。しかし、紙飛行機の面積やアスペクト比などを用いているが、翼の細かな形までは把握されていない。

梅谷らは、紙飛行機の翼を短冊形に分割することで、翼を剛体として扱い、飛行軌道のシミュレーションを行っている[2]。紙飛行機の形を用いて、機械学習で揚力係数や抗力係数を求めている。しかし、よく飛ぶ飛行機をデザインすることが目的で、横にそれるような軌道をよしとしないため、2次元の飛行軌道しか計算していない。

本研究では、紙飛行機の外形画像とその紙飛行機の実飛行軌道を用いて、機械学習を行う。また、実飛行軌道は紙飛行機が実際に飛んでいる動画の3次元座標から作成し、3次元の飛行軌道を予測する。

3. 提案手法

紙飛行機の撮影画像を2値化し、外形を求める。その紙飛行機が実際に飛んでいる動画から計測した飛行軌道を用いて、機械学習を行う。機械学習した学習器に紙飛

行機の外形を代入し、任意の紙飛行機の軌道予測を行う。軌道を予測するまでの流れを図1に示す。

まず、紙飛行機は初速を一定にするために専用の紙飛行機ランチャーを製作し、使用して飛ばした。飛行軌道の撮影は、2点（上方から鉛直下向きと横方向）から行った。

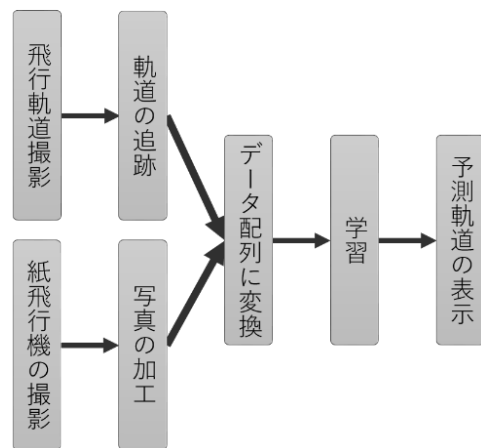


図1: 軌道を予測するまでの流れ

続いて、撮影した動画から飛行軌道をトラッキングする。トラッキングはOpenCVを使用して動体検出を行い、動画の各フレームで紙飛行機の位置を計測する。2つのカメラ映像の位置計測から紙飛行機の3次元位置座標を取得し、各フレームでの位置データを得る。

次に、紙飛行機の外形を撮影し、写真を白黒2値画像に変換する。白黒2値画像を用いるのは、学習の際にかかる計算時間を減らすためである。最終的な出力画像の例を図2に示す。

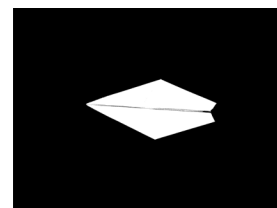


図2: 紙飛行機外形の白黒2値画像

さらに、紙飛行機の飛行軌道データと外形をニューラルネットワーク（以下NN）が学習できるようなデータ配列に変換する。飛行軌道データはデータ長がそれぞれ異なるが、学習時はデータ長を揃える必要がある。よって、一番長い飛行軌道のデータ長さに揃える。入力データは、モノクロビットマップファイルであり、一次元配列に0, 1の値が入っている。また教師データは、飛行軌道のデータであり、各フレームでの紙飛行機の3次元位置座標を一次元配列に順に格納している。

Trajectory Estimation of Origami Airplane with Machine Learning of Actual Trajectories Data

†Hosei University, Takafumi Koike

†Hosei University, Hiromu Terashima

機械学習は Chainer を使用して NN による学習を行った。入力層や隠れ層、出力層に関するハイパーパラメータは学習した結果が良くなるように試行して決めた。

最後に、学習済みの NN に、テスト用の紙飛行機の外形画像を入力することで、飛行軌道を予測した。出力されたデータを、可視化することで、どのような軌道で飛行するかを把握する。

4. 実験と結果

まず、紙飛行機を 47 種類用意して、テストするための 7 種類を抜いて学習を行った。40 種類の紙飛行機で学習した NN を使用し、7 種類の飛行軌道の推定した。推定を行ったところ、7 種類すべての紙飛行機が実飛行軌道と比較して飛行距離が短いことが分かった。そこで紙飛行機全体で飛行距離に関するヒストグラムを作成した。作成したヒストグラムを図 3 に示す。横軸が飛行距離で、縦軸が各区間に含まれた紙飛行機の数を示している。

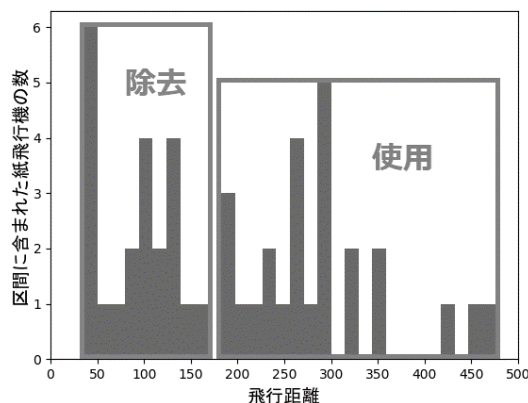


図 3：飛行距離のヒストグラム

ヒストグラムから飛行距離が 33cm 前後の紙飛行機が多いことが分かる。したがって、飛ばない紙飛行機と飛ぶ紙飛行機に分けて、飛ぶ紙飛行機のみで再度学習を行った。飛ぶ紙飛行機は、全部で 25 種類あり、2 種類をテストとして分けた。この 2 種類はランダムに選択した。テストで軌道を推定したときの結果が図 4、図 5 になる。軸の単位は cm である。

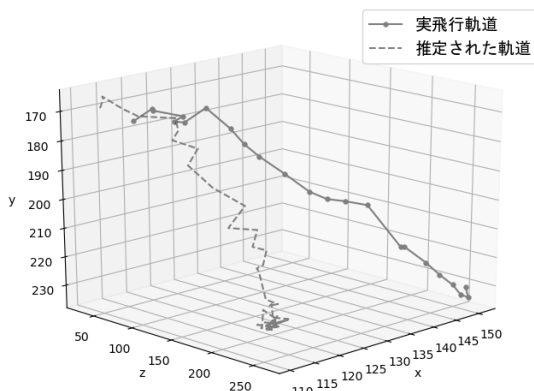


図 4：NN により推定された 1 つ目の飛行軌道

図 4 は、実飛行軌道に近い飛行軌道になった。図 5 は、明らかに軌道が違うものになったが、軌道の形は似ていることが分かった。

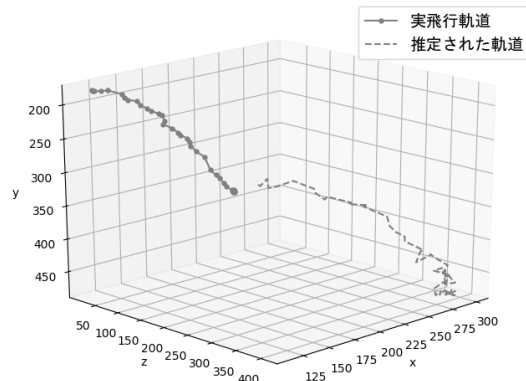


図 5：NN により推定された 2 つ目の飛行軌道

5. まとめと考察

実際の飛行軌道から学習した NN を用いると、紙飛行機の外形を与えるだけで、現実の飛行軌道の形に似た軌道を推測できた。ただし、飛行位置は、全く違う位置で飛ぶことがあった。飛行位置が異なってしまうのは、飛行軌道を推定するうえで好ましくない。飛行位置が異なってしまう要因は次の 2 つが可能性として挙げられる。

1. カメラで撮影を行ったときの測定誤差
2. 学習データ数の不足

これらの要因が、紙飛行機の飛行位置をずらしてしまう原因として挙げられる。1 つ目は、撮影した動画から飛行軌道を作成していたため、測定した値と実際の値に誤差が生じてしまっている。2 つ目は、本来 47 種類で学習をさせようと予定していたが、飛ばない紙飛行機が多かったためデータ数が不足してしまった。

今後の課題は、3 つ挙げられる。1 つ目はカメラキャリブレーションを正しく行うことである。紙飛行機とカメラの距離に関わらず、地面の高さは一定になるように調整する必要がある。2 つ目は、正しく使用できるデータの数を多くすることである。今回は 47 種類の紙飛行機を用意した。しかし、それでもまだデータ数は十分ではない。3 つ目は紙飛行機を飛ばすときの手法を適したものにする。紙飛行機は射出するときの速度で飛び方が左右されてくる。今回使用したランチャーは速度を変えて、射出することが不可能であった。そのため、人が投げた場合は、飛行距離の長い紙飛行機でも飛ばずに落下してしまうことがあった。また、速度を変えて射出できるようにした場合、学習時の入力データとして初速度のパラメータを追加する必要もある。これらの課題を解決することで、より精度の高い推測が可能になると考える。

本研究では、機械学習（シンプルな NN を使ったディープラーニング）によって、実飛行軌道に対する紙飛行機の外形画像を学習させることで、3 次元の飛行軌道を推測することが可能であることが分かった。

文献

- [1] 吉川俊樹, 井ノ本健, 山川勝史, 松野謙一: “紙ヒコーキの飛行シミュレーション”, 航空宇宙技術, Vol.14 pp.145-152, 2015.
- [2] Nobuyuki Umetani, Yuki Koyama, Ryan Schmidt, and Takeo Igarashi: “Pteromys: Interactive Design and Optimization of Free-formed Free-flight Model Airplanes”, SIGGRAPH, 2014.