

ドローンの新しい操作システムの開発と評価

吉田周生^{†1} 畦地大輔^{†1} 松場匠^{†1} 原歩夢^{†1} 角田真和^{†1}
輿石能成^{†1} 佐久間拓也^{†1} 川合康央^{†1}

概要：近年、ドローンの開発が盛んに行われ、誰もが気軽に扱うことができるようになってきた。その一方でドローンによる事故が多発している。ドローンの一般的な操作方法として、コントローラによる操作があるが、この操作方法がドローンの操作方法として適しているか検討した。我々は、簡単な説明を伝えるだけで操作ができる、直感的かつ安全なシステムを開発し、その操作性を評価した。その評価の際に項目を設け、飛行時間や走行経路をデータとして分析、正常に操作が行えるか、正しい動作が行えるかを確認後、操作システムの開発を行った。項目にそってより安全・正確・スムーズ・直感的に操作できるシステムを目指した。また評価におけるシステムとしてMicrosoftのHoloLensを利用した評価システムを開発し、評価を行った。

Development and Evaluation of a New Operation System for Drone

SHUSEI YOSHIDA^{†1} DAISUKE AZECHI^{†1} TAKUMI MATSUBA^{†1}
AYUMU HARA^{†1} MAO TSUNODA^{†1} YOSHINARI KOSHIISHI^{†1}
TAKUYA SAKUMA^{†1} YASUO KAWAI^{†1}

Abstract: In recent years, a drone has actively developed and has become possible for ordinary people to handle it casually. However, accidents caused by drone have occurred frequently. There is an operation by a controller as a general operation method of drone, but it was investigated whether this operation method is suitable. We developed an intuitive and safe system that can be operated just by telling a simple explanation. And the operability was evaluated for the developed system. We analyzed the flight time and the travel route as data and developed the operation system after setting the items of evaluation. It aimed at a system that can operate safely, accurately, smoothly, and intuitively according to the set items. We also developed an evaluation system using Microsoft's HoloLens.

1. 研究の目的と背景

人間の仕事を機械が代行するに伴い、無人飛行機であるドローンに注目が集まっている。航空撮影や建築物・自然環境においての3Dスキャン、貨物輸送、救急医療など、利用される産業分野は多岐にわたり、将来的にはさらなる活用が期待される[1, 2]。このような産業活用が行われている背景から、ドローンの開発が進み、個人でも気軽に利用できるほど低価格になってきた。ここ数年では、ドローンのカメラをヘッドマウントディスプレイに投影しレースを行う、ドローンレースなども開催され、世界的な盛り上がりを見せている。こうした個人利用が行われる一方で、ドローンの関連する事故や迷惑行為が増加している。事実、文化財への衝突や人口過密地域においての飛行、様々な場所での墜落などによる傷害事故などが発生している。そのため、日本ではドローンに対する法整備も進み、ドローンにおける違反などが度々報道されている[3]。このような違反の多くは、ドローンの操縦者の訓練不足が原因とされる場面が多いが、我々は操縦者ではなく操作システムに問題があると考え、新たな操作システムを検討した。

本研究では、ドローンの新たな操作システムの設計、実装を行い、それらのシステムがドローンの操作システムと

して適しているかを、既存の操作システムも交え、あらかじめ用意した評価項目に沿って評価を行った。その評価結果を用いて、直感的かつ安全に操作できるような、よりよい操作システムの開発を目指した。

また評価を行うに従い、評価のシステムの自動化と評価の安全性を考え、MicrosoftのHoloLensを用いた複合現実のシステムを開発した。

本研究を始めるにあたり、既存の操作システムを調査するとともに評価を行った。最も多く利用されているシステムとして、コントローラを用いたものが挙げられ、主にボタンを用いたものと、アナログスティックを用いたものの二つがある。コントローラはコンピュータゲームなどで一般的に扱われている背景から、人間が最も理解しやすく扱いやすいシステムの一つであると考えられる。実際に評価項目に沿った評価を行ってみたところ、総じて優秀な結果を得ることができた。そのうえで、二つの評価結果を比べたところ、斜め方向の入力と入力値の微調整が行えるアナログスティックの操作のほうが、直観的な操作と安全な操作の面で優秀だという結果が得られた。よって本研究では、アナログスティックの操作を基準として、様々な操作システムの優劣を評価することとした。

上記の結果を考慮しつつ、音声認識における操作システ

^{†1} 文教大学
Bunkyo University

ムについて調査を行った。近年、音声認識が注目を集めており、様々なデバイスやアプリケーションに導入されている。そこで今回は、音声認識のコマンド入力における操作システムを評価してみた。その結果、普段から用いる言語で操作ができるため直観性はあったが、コマンドを最後まで発声しないと操作ができない。そのため、ドローンが動作を開始するまでに遅延が発生してしまい、安全性の面で課題が残る結果となった。そのため我々は音を用いたシステムを改良できないかと考え後述のシステムの開発に至った。

2. 操作システムの開発

2.1 共通のシステムと安全対策

本研究では、使用デバイスとして Parrot 社の Mambo を使用し、同社が提供する開発用 SDK を用いて、ドローンへの接続部のプログラムを作成した[4, 5]。また研究の重きをドローンの評価に置いているため、操作の端末として、開発と接続の容易さから Android 端末を採用し、開発を進めた。

操作システムの開発を始めるうえで、基本となるドローンへの命令送信部に、安全対策を施した。まず、Android のライフサイクルに着目し、アプリケーションの動作が停止した場合やほかのアプリケーションが起動した場合、ドローンが飛行した状態のまま操作不能に陥らないように、緊急停止システムを施した。また、各システム開発後に行った評価より、安全対策の見直しを行い、より安全な動作を目指した。

2.2 加速度センサを用いた操作システム

まず我々は、コントローラを用いたシステムを、より直感的なものにできないかと考え、加速度センサを用いたシステムの設計及び実装を行った。本システムは端末の傾きによってドローンを動作させる。端末が地面と平行になったときの出力を 0 とし、XY 軸の傾きを検出後、傾いた方向に出力を与えた。このとき誤作動を防ぐため、一定の傾きは誤差範囲として出力は 0 とした。また、上下への出力は画面上に配置した、ボタンを用いて行った。

上記システムを開発後、評価項目に対応した評価実験をおこなった。その結果、傾いた方向にドローンが進行するのはわかりやすいが、思い通りのスピードでドローンが飛行しない問題が挙げられた。この改善として、傾いた強さを三段階に分け、その強さにより出力の大きさを変化させ



図 1 加速度センサを用いたシステムの遷移図
Figure 1 Transition Diagram of System using Acceleration Sensor

ることにした。その際、前より後ろ、左手の場合左より右、右手の場合右より左のほうが傾けやすい傾向があったため、表 1 のように三段階の分類を、それぞれ違う値とした。さらに、前述の評価の際、端末上のボタンを押すとき、画面を注視しなければならず、安全性に問題があることが分かった。そのため、片手で操作できるように、端末の側面に配置されている音量ボタンで上下の移動をすることとした。

表 1 加速度センサにおける出力値の分類

Table 1 Evaluation Items		
方向	傾きの強さ	出力値
前	1	0
前	2~4	20
前	5~7	50
前	8~9	100
後	1~2	0
後	3~5	20
後	6~8	50
後	9	100

2.3 音声解析を用いた操作システム

前述の評価の結果、音声解析を用いた新たなシステムを設計した。ドローンは X, Y, Z の三軸方向に出力を与えることで操作が可能となる。我々はこの三軸の出力を、音を解析して得られる値により行うことが可能ではないかと考えた。まず音データにフーリエ変換などを行い、周波数成分と各周波数における音圧データを抽出した[6]。その後、基音の周波数、音圧並び、母音を求め、これら三つの値を三軸操作に割り当てた。上下が周波数、左右が音圧、前後が母音のようにそれぞれの値を三軸に分け、一定以上の音圧を検出したら操作が可能といったシステムを設計した。

上記システムを評価したところ、斜めなどの出力はでき

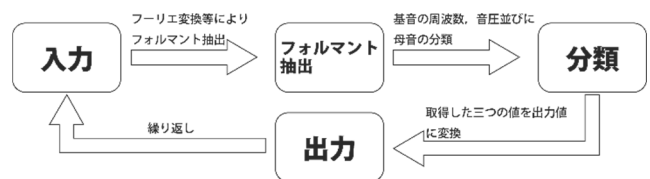


図 2 音声解析を用いたシステムの遷移図

Figure 2 Transition Diagram of System using Speech Analysis

たものの、三軸の操作を一度に行う理由から、安全な操作が不可能だった。そのため操作方法を修正し、出力方向を母音で指定したうえで、周波数でマイナス方向かプラス方向かを決め、音圧で出力のオンとオフを切り替えるシステムを設計した。このシステムについて評価を行った結果、直感的かつ一定の安全を保った状態で飛行ができた。よって、後者のシステムについての評価を繰り返し、よりよいシステムの設計に取り組んだ。

2.4 筆跡を用いた操作システム

直感性の面から、筆跡を用いたドローンの操作システム

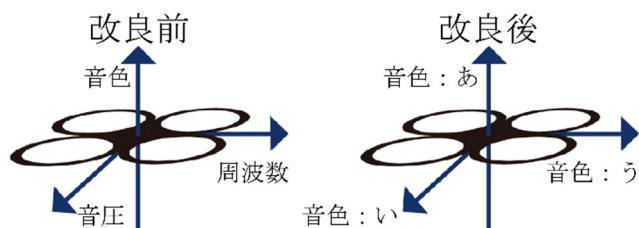


図 3 音操作時の値の割り当て

Figure 4 Assigning Values during Sound Operation

を開発した．本システムでは，端末上に線を描画し，描画した線の軌跡に沿ってドローンを飛行させる．端末上に線を描画後，一定時間ごとに線の座標を取得し，出力形式に変換した後，二次元配列に格納し，出力命令を送信している．計算方法として，取得した X, Y 座標データを図 4 のように逆三角関数を持ち， θ ラジアンを出力する．その後，ラジアンを角度に変換し出力方向を確定後，命令の出力を行っている．

上記システムの評価結果から，出力のベクトルを変化させるとき，もとの出力方向に対して加速が発生し，方向転

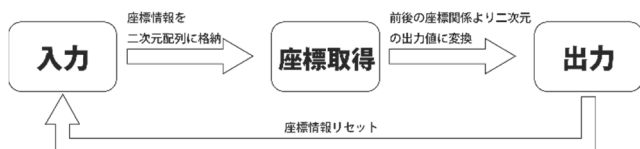


図 4 筆跡を用いたシステムの遷移図

Figure 3 Transition Diagram of System using Handwriting

換させる際に，もとの出力方向に偏ってしまう問題点があった．そこで加速の計算をし，方向転換するとき，逆方向に一定時間出力を偏らせることにより，飛行を安定させた．その結果，動作の改善が見られ，スムーズな動作が可能となった．また安全な飛行できるよう，線を出力命令へ変換する際，チェックボタンを設けるとともに，ドローンへ命令を送るごとにチェックをすることにより，誤作動を防止した．

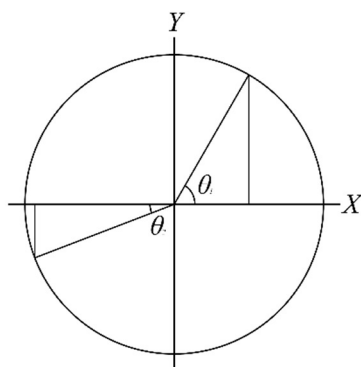


図 5 座標の出力値への変換

Figure 5 Convert Coordinate to Output Value

3. 評価

3.1 評価方法

システムの開発をしたあと，それぞれのシステムに対して評価実験を行い，そのデータをもとに開発を進めてきた．我々は，本研究の目的として，直感的かつ安全な操作システムを開発することとした．そのため，目的を基準に評価項目を制定した．また，幾度かの評価の結果，項目についての見直しも行き，よりよい評価基準になるように改善もおこなった．評価データを取得する際，ある程度練習を行った評価者と初めて行う人を分け，それぞれの視点から評価を行った．

表 2 評価項目

Table 2 Evaluation Items

評価基準	評価項目
安全なシステム	それぞれのシステムで緊急停止
安全なシステム	アプリケーションの動作が正常に行えない場合の緊急停止
安全な操作	5m の直線状に 1m 間隔で障害物を設置し，左右によけながら目標地点を通過するまでに，所要した時間
直観的な操作	初期地点から 4m 前方，2m 右方，3m 後方，3m 左方に移動したときに，所要した時間
適切な操作	5m 前進するのに，所要した時間
適切な操作	目標に地点への着陸が可能か

3.2 HoloLens を用いた評価システムの開発

評価をはじめた当初，評価をするごとに長さを測り，机やいすなどを配置し，評価場所を作成していた．しかし，毎回これを行うのは，慎重な計測が必要なため大変である．さらに初めて評価を行う方がいた場合に，その方のみで評価場所をつくり，評価を行うのは難しいと思われた．本研究では，評価場所をすぐに用意でき，操作が不慣れな方々にも評価を行ってもらうため，評価実験のシステム化を行った．また，動作が安定していないシステムを評価したとき，用意した机やいすなどにあたり，とても危険であった．そこでドローンがうまく制御できず，評価が危険なものにならないようにするように，システム化に際して我々は，複合現実を用いて実装し，Microsoft の HoloLens を用いた．

まず表 2 の評価項目にあるドローンの動作を実現させるために，それぞれの項目に適したステージを制作した．初めに，評価者の足元にボックスを表示し，そこをドローンの初期配置位置とした．また，今回の評価項目において，項目によっては障害物を用いなければならない．しかし，あまり大きなオブジェクトを置いてしまうと，かえって評価などが行いづらいことが分かった．そこで，本評価システムにおいては，ステージ内にボールを設置することにより，わかりやすくかつ，評価の行いやすいステージ作成を

心掛けた。

4. 考察

本研究で開発したシステムは、評価の結果を考慮し、最終的に実装しなかったものも含め、計7つのシステムを開発した。そのなかで最も直感的にかつ安全に扱えたシステムは、加速度センサを用いたシステムだという評価結果が得られた。音のシステムに関しては、音の高さが変化し



図 6 HoloLens を用いた評価システムの遷移図

Figure 6 Transition Diagram of Evaluation System using HoloLens

たときの母音の分類の精度が高くない問題があったが、この操作方法是手が扱えない状況で、スムーズに操作できるシステムであるという結論に至った。また、筆跡を用いたシステムでは、ドローンの加速の影響で、進行方向の転換部がうまく動作しなかった。また、線を描画する画面において、縮尺の考慮をしなかったため、線を長く書きすぎると壁に衝突してしまう問題があった。そのためドローンからのフィードバック情報の活用や、縮尺の概念を描画面面に取り込むことにより、直感的な操作にすることが課題となった。HoloLens を用いたシステムにおいても、ドローンの位置情報を取得し、よりスムーズに評価を行えることを目指すとともに、操作システムへのフィードバックを行えることが必要と考えられる。

表 3 評価結果

Table 3 Evaluation Results

評価基準	音声解析	加速度センサ	筆跡	コントローラ
安全なシステム	○	○	×	○
安全な操作	×	○	○	△
直観的な操作	×	○	○	△
適切な操作	○	○	×	○

5. まとめ

本研究では、ドローンの新たな操作システムを設計、実装を行い、それらのシステムがドローンの操作システムとして適しているかを、既存の操作システムも交え、あらかじめ用意した評価項目に沿って評価を行った。評価の結果加速度センサを用いたシステムが、最も直観的かつ安全に動作した。しかしながら、加速度センサのシステムと筆跡のシステムにおいては上下の移動の実装ができていなかった。今後としては、上下移動も組み込み、さらなる発展が必要だと考えられる。

参考文献

- [1] 浜中雅俊, 塩見英樹. ドローン飛行網の最適設計手法. 第 78 回全国大会講演論文集. 2016, vol. 1, p. 279-280.
- [2] 前田祥太郎, 田村仁. ドローンを使用した無人航空機捕獲システム. 第 78 回全国大会講演論文集. 2016, vol. 1, p. 295-296
- [3] “無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルール”. http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html, (参照 2017-12-17).
- [4] “Parrot BEBOP DRONE for Developers”. <http://developer.parrot.com/docs/SDK3/?java#general-information>, (参照 2017-12-19)
- [5] “Parrot for Developers”. <https://github.com/Parrot-Developers/>, (参照 2017-12-19)
- [6] “汎用 FFT (高速フーリエ/コサイン/サイン変換) パッケージ”. <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~ooura/fft-j.html>, (参照 2017-12-24).
- [7] Patel, Hardikkumar Prakashbhai, et al. 2015. Design and Development of Multi-Copter. *International Journal* 1: 166-169.
- [8] Agrawal, Kanaiya, and Punit Shrivastav. 2015. Multi-rotors: A revolution in unmanned aerial vehicle. *International Journal of Science and Research* 4.11: 1800-1804.