

拡張現実に基づく視覚的な ドローン操縦の実現

平山研太郎¹ 謝浩然¹ 宮田一乗¹

概要：本研究では、AR空間に生成したオブジェクトの動きをドローンが認識し、いかなる場所においても自動的な飛行を可能とする。また、オブジェクトの表示によって飛行経路を可視化する。さらに、タッチ操作のみでドローンが飛行する場所を指定し、操縦を簡略化することで、ユーザビリティの向上を目指す。

キーワード：ドローン, 拡張現実, 自動化, ユーザビリティ

Visual Drone Control Based on Augmented Reality

KENTARO HIRAYAMA¹ HAORAN XIE¹
KAZUNORI MIYATA¹

Abstract: This thesis proposes a system that flies the drone following the generated object in the virtual space. In addition, the path of the flight is allowed to check with visualization result. Furthermore, we aim to simplify the design interface for the flight path authoring touching on a tablet.

Keywords: Drone, Augmented Reality, Automation, Usability

1. はじめに

現在、ドローンは映像制作、建築物の点検、農薬散布など様々な事例において活用されている[1]。ドローンのあらゆる方向へ自由自在に飛行可能な点は長所である。しかし、操縦者が向いている方向とは異なる上下、前後、左右移動の方向を同時に認識しながら(図 1a)、視認することが難しい離れた位置で操縦することが複雑である点は短所である(図 1b)。その為、複雑な操縦を自動化することで省力化する様々な手法が考案されている。

Global Positioning System(以降、GPS)によってドローンの自己位置を計測し、指定した座標の経路を飛行する方式がある[2]。しかし、GPSは衛星からの電波を受信できない屋内や地下、または屋外であっても電波が遮断される高い建造物に囲まれた場所では使用できない[3]。

ドローンに搭載されたカメラで床に配置したマーカーを画像認識する方式(図 2)では、マーカーの場所へ自動的に着

陸させる研究[4]がある。着陸させるだけでなく、マーカーの周囲を旋回させる機能を備えた市販の製品もある。GPSの電波を受信できない場所でもドローンを自動的に飛行させることが可能であるが、マーカーを配置することが困難な場所や状況では使用できない。また、ドローンが風などの外的要因によって飛行場所から外れてしまい、マーカーを見失う恐れがある[5]。

コンピュータ上でドローンの飛行をシミュレーションする方式では、飛行する場所を3次元再構成する。その空間に飛行経路となる線を描き、障害物やドローンのカメラで撮影する物体と適切な距離を保ちながら飛行させる[6]。視覚的な操縦が可能な手法であるが、3次元再構成されていない場所では使用することができない。

¹ 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology



図 1 ジョイスティックによるドローンの操縦
Figure 1 Piloting a drone with a joystick

2. 関連研究

(1) 三人称視点から操縦する手法

Temma ら[7]は、ドローンを操縦する際の視点が機体に搭載されているカメラからの一人称視点では、飛行している場所の状況認識を欠くと指摘する。解決策として、二機目のドローンを操縦しているドローンと一定の距離を保ちつつ自動的に飛行させ、その周辺を撮影することで三人称視点からの操縦を実現する手法を提案した。三人称視点はドローンの模型を動かす簡単な操作で視点を変更しながら、進行方向の確認や障害物を確認することで回避が容易になるとしている。

(2) 拡張現実の空間を活用してドローンを操縦する手法

Erat ら[8]の研究も三人称視点からドローンを操縦しており、閉鎖的な空間で安全な飛行を実現する手法を提案している。ドローンが X 線を使用して障害物を検知しつつ SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術で空間を観測した後、3D モデル化することにより仮想現実を構築する。操縦者は頭部装着ディスプレイで構築された空間を視認しつつ、その空間でドローンを模した 3D オブジェクトを移動させることで、現実空間におけるドローンの飛行経路とする。

Chen ら[9]の研究では配置したマーカーをドローンの下部に搭載されているカメラと、操縦者のデバイスで画像認識して拡張現実の空間を構築する。認識したマーカーの情報を基にしてタブレット型コンピュータをタッチ操作し、線を描いたり GUI を移動させたりすることでドローンを操縦する。

(3) コンピュータ上で飛行する経路を構築する手法

Benjamin ら[10]の研究は、ドローンで空撮した画像による建築物の精細な 3D モデルを生成する手法を提案している。まず、操縦者が衛星地図上で撮影する建築物の領域と高さ

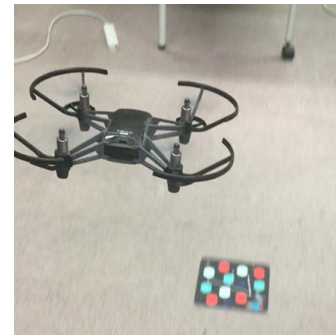


図 2 マーカーを認識して飛行するドローン
Figure 2 A drone that recognizes the marker and flies

を指定する。その範囲内にある建築物の上空をドローンが自動的に飛行し、その建築物の占有空間とその周囲にある障害物をコンピュータ上に記録する。記録した情報から撮影に適した場所と効率的な飛行経路を割り出した後、2 回目の自動的な飛行をドローンにさせる。1 回目の飛行経路で障害物や建築物の位置関係を割り出しているため、2 回目の飛行経路は 1 回目の飛行と比較して、建築物に対してより低空かつ近距離で飛行することができる。このことにより、正確な 3D モデルの生成に必要な詳細な画像を空撮することが可能である。

(4) 本研究の位置づけ

本研究では先行研究と比較して、以下に示すような利点がある。1) 事前に飛行経路をデザインし、飛行させる場所で位置合わせ等の微調整をするだけで、操縦者が任意の経路で飛行させる。2) 単機のドローンで三人称視点から操縦し、必要な機材の数を減らす。3) 飛行する場所を 3D 再構築ではなく拡張現実の空間で認識し、GPS もマーカーも使用しないことで、準備時間の短縮とあらゆる場所での自動的な飛行を可能にする。GUI(Graphical User Interface)を数回タッチする容易な操作で、ドローンを自動的に飛行させる(図 3)

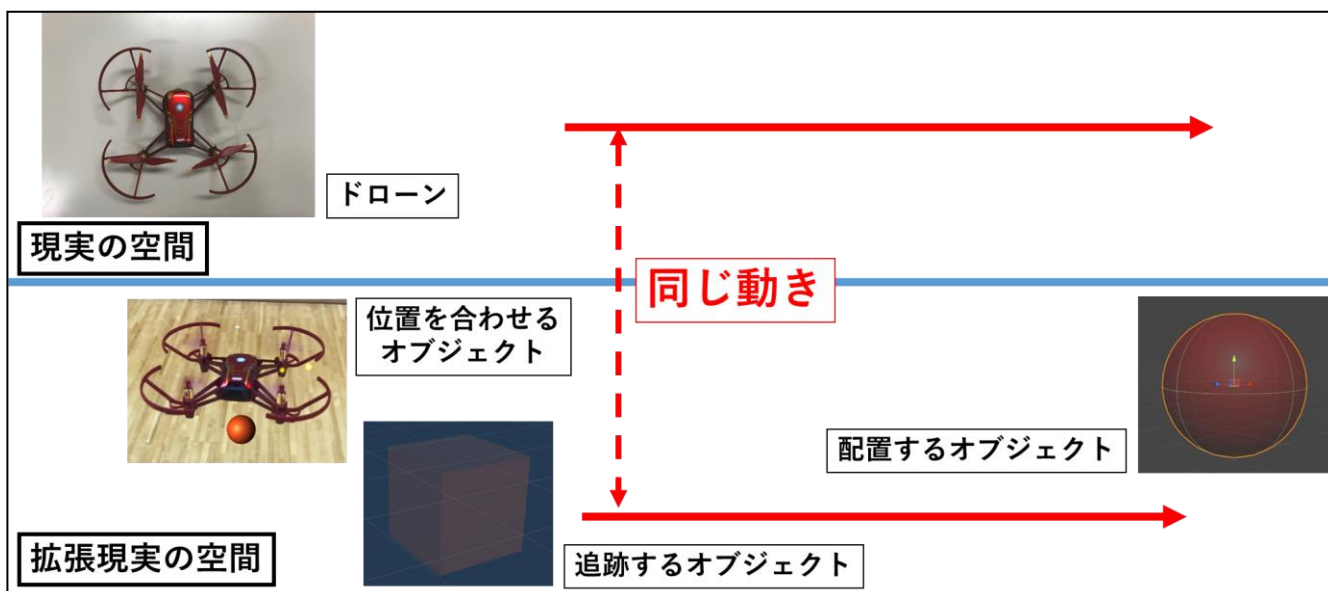


図 3 システムの概要
 Figure 3 System overview

3. 提案手法

提案手法は、拡張現実の仮想空間に生成したオブジェクトの動きにドローンが追従し、任意の場所で自動的に飛行させる。また、オブジェクトの表示によって飛行経路を可視化する。さらに、タブレット型コンピュータを使用したタッチ操作のみでドローンが飛行する場所を指定し、自動的に操縦することで、ユーザビリティの向上を目指す。

3.1 システムの構成

現実空間で飛行しているドローンの位置と同じ位置で、拡張現実の空間へ位置合わせオブジェクトを生成する。次に、操縦者が、拡張現実の空間へ配置オブジェクトの場所をタッチ操作で指定する。配置したと同時に、位置合わせオブジェクトから、配置オブジェクトを追跡するオブジェクトが生成される。すると、現実空間のドローンは、拡張現実の空間で追跡オブジェクトと同じ経路で飛行する。

3.2 物体認識

ドローンを物体認識して位置を把握するためには、機体形状を撮影して割り出す特徴点のデータが必要である。データは ARKit Scanner[11]により作成する(図 4)。

まずタブレットのカメラを物体へ向ける(図 4a)。画面には黄色い立方体の枠が表示されおり、枠をタッチ操作で引き延ばし物体を囲む。その後、物体を全周囲から撮影すると、黄色い点で表示されている特徴点を記録する(図 4b)。記録された特徴点のデータによって、自動的に拡張現実の空間で認識した位置を表示する(図 4c)。物体認識に必要な特徴点の数は特に指定されていないが、枠の中に表示される黄色い点の数が多いほど認識精度は向上する。

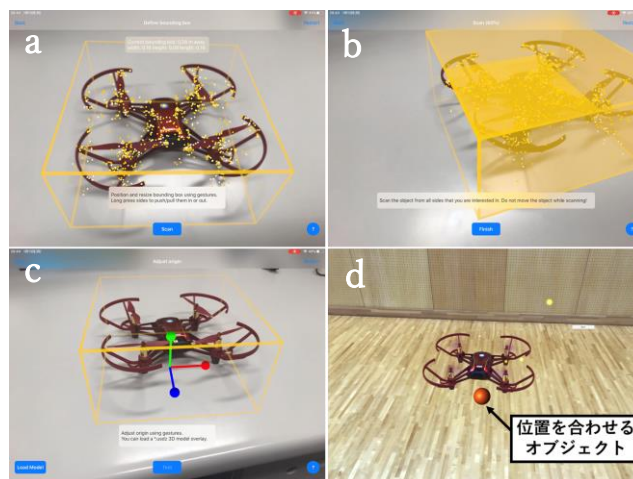


図 4 ARKit Scanner で特徴点を検出する
 Figure 4 Detect feature points with ARKit Scanner

3.3 位置合わせオブジェクト

ARKit Scanner で検出した特徴点の情報をゲームエンジンの Unity へインポートすると、毎回スキャンする手間を省き物体認識ができる。タブレットのカメラをドローンに向けて、拡張現実の空間でドローンの位置と同じ位置へオレンジ色の球体状のオブジェクトを生成し、ドローンが物体認識されたと一目でわかるようにした(図 4d)。

3.4 配置オブジェクトの製作

本項目ではドローンの操縦者が飛行経路として拡張現実の空間へ配置するオブジェクトについて述べる(図 5)。

まず、本研究では一例として円状に移動する球体のオブジェクトを制作する(図 5a)。円状の飛行は警備[11]や農業散布[13]を想定した動きである。

球体のオブジェクトは Unity の 3D オブジェクトを作成する機能で制作する。Y 軸を軸として回転する立方体の 3D オブジェクトを座標(0,0,0)の地点へ別に作成する(図 5b)。その

オブジェクトの動きと連動させることで、球体のオブジェクトは円状に移動する(図 5c,d)。

回転する立方体との距離を調節することによって、円状に移動する球体の旋回半径や高さを編集する。Unity 上では 1 単位 1m であることを念頭に置き、拡張現実の空間で配置する際の旋回半径を X 座標で、飛行高度を Y 座標で入力あるいはカーソルで調整する(図 5e,f)。

3.5 オブジェクトの配置

用意した配置オブジェクトは拡張現実の空間に、ドローンの操縦者が配置する。配置する場所はタブレットのカメラを通して ARKit[14]が地面の特徴点を検出し、平面検知した範囲として表示される水色の枠線内から一か所を選択する。タブレットで表示されている枠線内の場所をタッチして配置を完了する(図 6)。配置オブジェクトの大きさや、タッチした地点からの高さは Unity で調整する。

4. ドローンの自動的な飛行

本項目では拡張現実の空間と連携したドローンの自動的な飛行について述べる

4.1 追跡オブジェクト

配置オブジェクトはタッチ操作により拡張現実の空間へ配置されると、同時に生成されるオブジェクトに追跡される(図 7a)。追跡オブジェクトはドローンを物体認識した位置に生成された位置合わせオブジェクトから、配置オブジェクトに向かってドローンが飛行する速度と同じ秒速 1.5m で移動する(図 7b)。また、追跡オブジェクトがあまりにも急旋回するとドローンが動きに対応できないので、ドローンの性能に合わせて $2\pi/7$ (ラジアン/秒)の角速度で回転するスピードとした。

4.2 当たり判定

追跡オブジェクトが拡張現実の空間で進行方向を変えると、ドローンも同じ進行方向へ自動的な飛行をするようにコマンドをタブレットから送信するシステムを制作した。

図 7 に示すように、追跡オブジェクト(図 7c)から棒状のオブジェクトを正の Z 軸方向へ一本(F)、負の Z 軸方向へは Y 軸を軸にそれぞれ逆方向へ傾かせて二本(B1,B2)突き出す(図 7e)。傾きは追跡オブジェクトが 180 度回転した際、正の Z 軸側を正面として左右へ配置されている板状のオブジェクト(R,L)にちょうど接触する角度とする(図 7e)。また、板状のオブジェクトを上下(U,D)、前後(F1,F2)、左右(L,R)へ取り囲むように配置し回転させず随伴させる(図 7d,e)。これは、オブジェクト F が進行方向によって、接触する板状のオブジェクトとの当たり判定が発生するごとに、ドローンへ同じ方向に飛行させるコマンドを WiFi 経由で送信することを目的としている。

しかし、この方法では追跡オブジェクトが 180 度回転した際、板状のオブジェクト R と L の当たり判定が現実世界で飛行しているドローンの向きと逆になってしまう。そこ

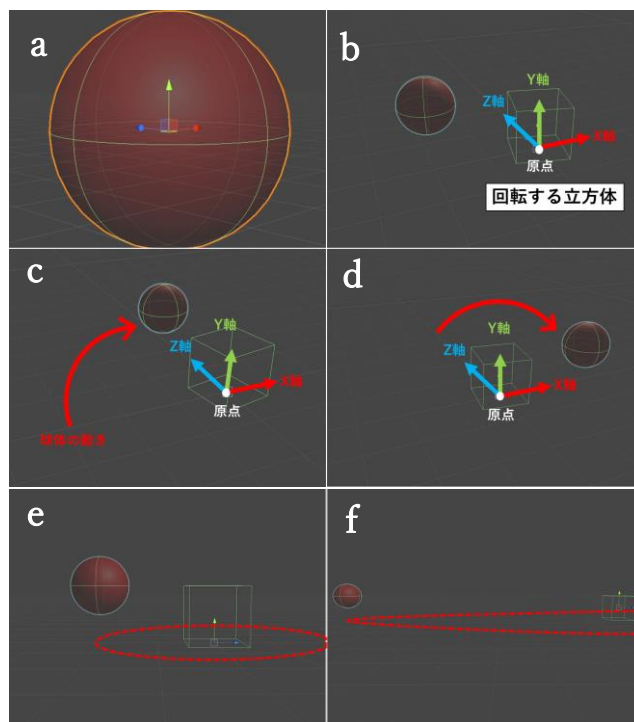


図 5 配置オブジェクトの製作
 Figure 5 Creating objects to place

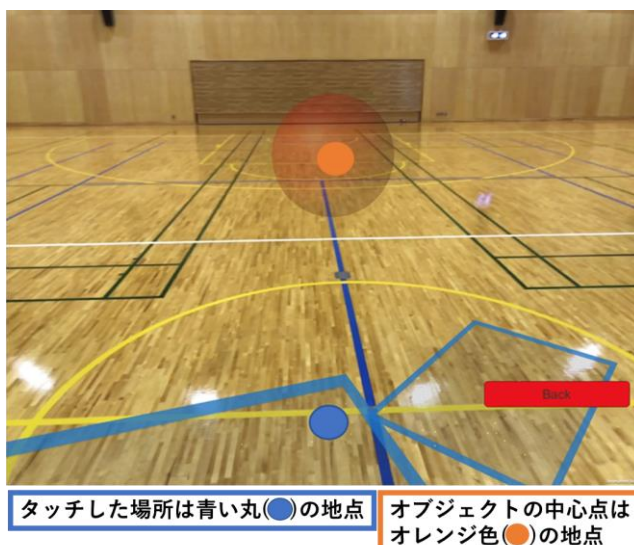


図 6 オブジェクトの配置
 Figure 6 Placing object

で 180 度回転して棒状のオブジェクト(B1,B2)が R と L の板に接触すると、右と左の判定を逆とする対策をしている(図 7f)。

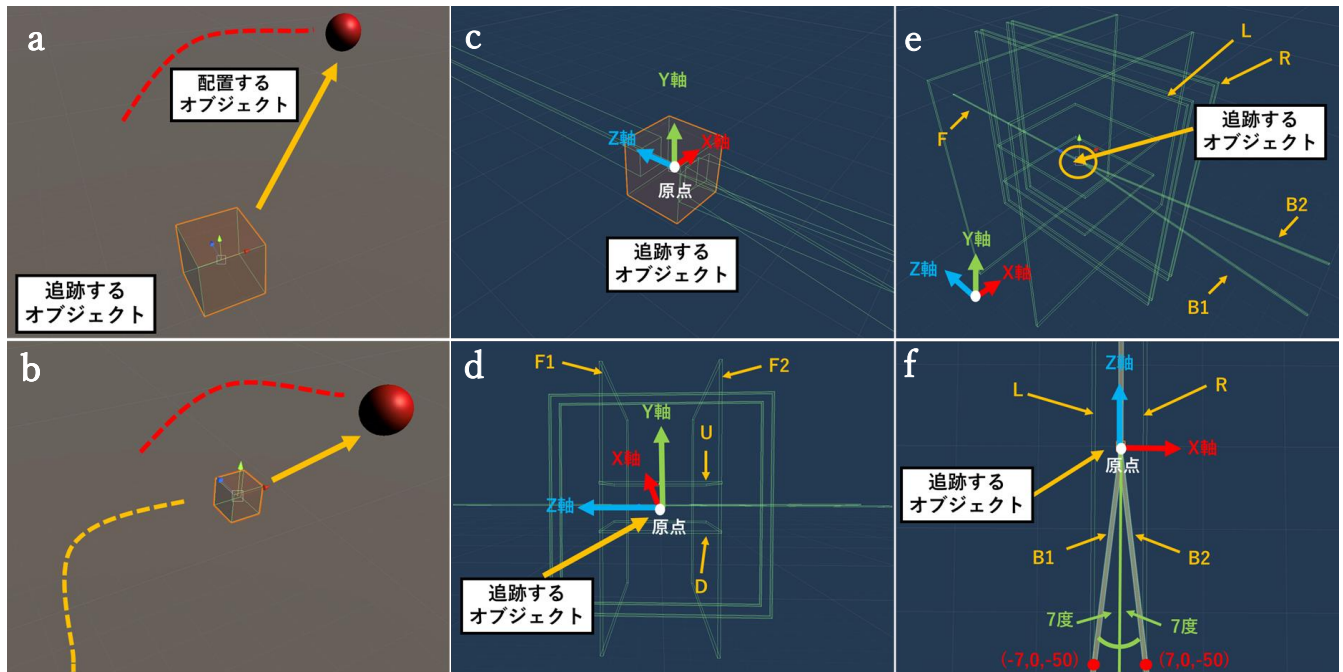


図 7 追跡するオブジェクトと随伴するオブジェクト群
 Figure7 Objects to be tracked and accompanying objects

5. システムの構築

本章では、構築したシステムを紹介する。まず、GUI(図8)について述べ、つぎにドローンに円運動をさせるモード、壁面に沿って飛行するモード、最後に複雑な動きに合わせて飛行するモードについて説明する(図9)。

5.1 GUI

ドローンに飛行させるモードを選択する画面を制作する。画面左側にはドローンを離陸させる”TakeOff”ボタンと着陸させる”Land”ボタンを配置する。

画面右側へ円状に飛行するモードへの遷移”Circular Motion”(5.2で説明)、壁面に沿って飛行するモードへの遷移”Wall Inspection”(5.3で説明)、複雑な動きに合わせて飛行するモードへの遷移”Moving 3D Model”(5.4で説明)を指示する各ボタンを作成した。

ドローンに飛行させたい経路を文字で説明するだけではなく、ボタン付近にそれぞれのモードで表示するオブジェクトを配置する。文字とオブジェクトの両方を操縦者は確認することで、押すべきボタンが一目瞭然なGUIとする。

5.2 円状に飛行するモード

Circular Motionのボタンをメニュー画面でTake Offボタンを押した後に選択する。タブレットのカメラが起動したら、離陸しているドローンを物体認識して位置合わせオブジェクトを生成させる。生成を確認したら円状に飛行させたい場所で平面検知し、青い枠が表示された場所をタッチする。タッチした場所に円状に移動する赤い球体の配置オブジェクトが拡張現実の空間に生成され、ドローンがそのオブジェクトと同じ動きで自動的に飛行する(図9a)。移動半径や高さはUnityで予め調節する。

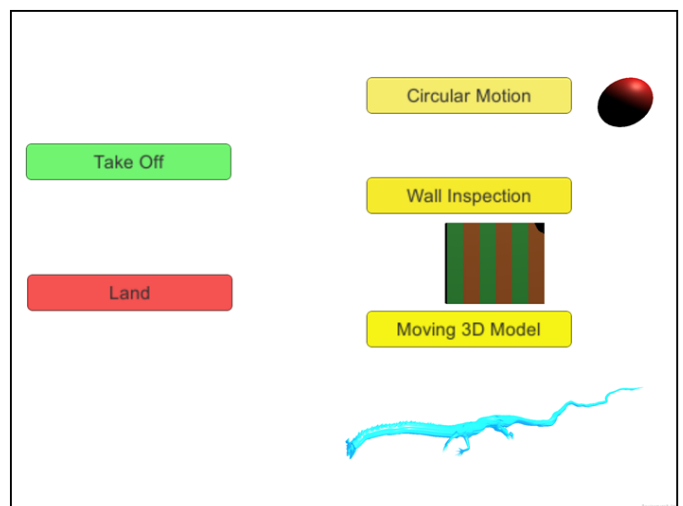


図 8 ドローンの飛行経路を選択する GUI
 Figure 8 GUI to select drone flight path

5.3 壁面に沿って飛行するモード

メニュー画面で Take Off ボタンを押した後に Wall Inspection のボタンを選択する。タブレットのカメラが起動したら、離陸しているドローンを物体認識して位置合わせオブジェクトを生成させる。生成を確認したらドローンを飛行させたい壁面の近くで平面検知し、青い枠が表示された場所をタッチする。タッチした場所に壁を模した配置オブジェクトが拡張現実の空間に生成され、ドローンがそのオブジェクトの前で上下運動しながら横方向へ自動的に飛行する(図9b)。上下運動する幅や移動の速度はUnityで予め調整する。壁面に沿った飛行は、建築物の点検を想定した動きである。ドローンは橋梁やトンネルの点検へ活用し、作業工数を縮減することが期待されている[15]



図 9 システムの動作画面
 Figure 9 System operation screen

5.4 複雑な動きに合わせて飛行するモード

メニュー画面で Take Off ボタンを押した後に Moving 3D Model のボタンを選択する。タブレットのカメラが起動したら、離陸しているドローンを物体認識して位置合わせオブジェクト生成させる。生成を確認したらオブジェクトを出現させたい場所で平面検知し、青い枠が表示された場所をタッチする。タッチした場所に Autodesk 社製の 3DCG ソフトである MAYA で制作した不規則に動く配置オブジェクトが拡張現実の空間に生成され、ドローンがそのオブジェクトと同じ動きで自動的に飛行する(図 9c)。これは、実写映像の動きと 3D オブジェクトの動きを合成させることを想定したものである。

6. 実験

6.1 実験の目的

実験(表 1)では被験者として本大学院の学生 10 名に、ドローンを本研究の提案手法とジョイスティックによる手動での操縦で飛行させる(図 10,11)。同一の経路を飛行させて、その様子を動画撮影した映像からタイムを計測(図 12)、比較し、アンケート調査を実施することで提案手法の有効性を検証する。

6.2 実験 1

実験 1 はドローンを円状に飛行させる。飛行経路はバスケットコートに描かれた半径 1.8m の円(図 10a)を目安とし、カメラを進行方向へ向けつつ 3 周する(図 10b)。

6.3 実験 2

実験 2 はドローンを体育館の壁面に沿って上下運動させながら操縦者から見て右方向へ飛行させる(図 11b)。上下運動の範囲は壁に走っている二本の線(図 11a の赤線)、右方向への移動は 15m とする。

表 1

被験者	本大学院の学生 10 名	
実験機材	ドローン	TELLO IRON MAN EDITION
	タブレット型コンピュータ	iPad Pro
実験場所	北陸先端科学技術大学院大学 体育館	

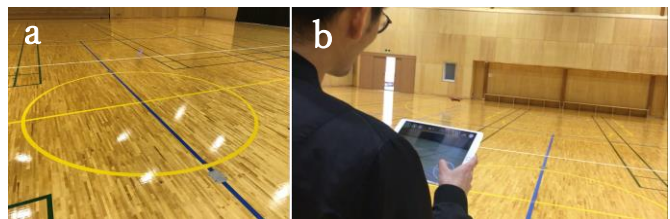


図 10 実験 1
 Figure 10 Experiment1

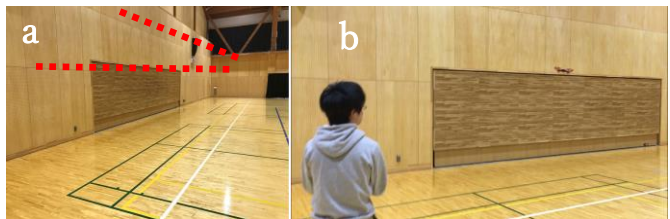


図 11 実験 2
 Figure 11 Experiment2

7. 実験の結果

実験で計測した手動による操縦と、提案手法による操縦のタイムを比較する。同じ経路を飛行した場合、提案手法が手動と比較して短いタイムを記録した。

また図 12 の箱ひげ図から、手動の場合被験者ごとでタイムの差が大きい反面、提案手法ではタイムの差が 2 秒以内であり個々人のスキルによって差が出ないといえる。

被験者の中には手動での操縦が困難な人も含まれていた。実験で指定した飛行経路からドローンが逸脱してしまい、復帰させることもできなかった。そのような人は手動での操縦を途中で断念している。しかし、手動での操縦を断念した人でも提案手法ではドローンを飛行させており、ドローンを指定した経路で飛行させることが可能であると図 13 が示している。

被験者へアンケート調査も行った(図 14)。手動での操縦と本研究の提案手法を比較してもらい、ユーザビリティに関する質問をそれぞれ 5 段階で回答してもらった。箱ひげ図から、全体的に高い評価を得た(図 15)

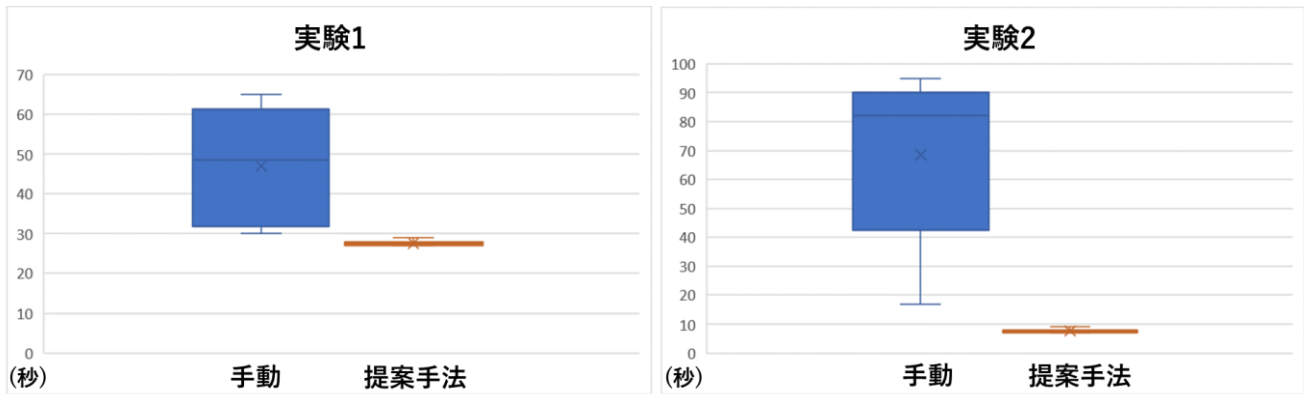


図 12 計測したタイム
 Figure 12 Measurement time

実験1			実験2		
	手動での操縦	本研究の提案手法		手動での操縦	本研究の提案手法
被験者1	47	28	被験者1	20	7
被験者2	53	28 失敗(1)	被験者2	65	9 失敗(1)
被験者3	30	27	被験者3	17	8
被験者4	断念	27 失敗(2)	被験者4	82	7
被験者5	断念	断念	被験者5	90	8
被験者6	断念	28 失敗(1)	被験者6	84	7
被験者7	30	29 失敗(1)	被験者7	90	8
被験者8	64	27 失敗(1)	被験者8	74	7
被験者9	65	28 失敗(2)	被験者9	断念	8
被験者10	50	27	被験者10	95	7
平均	47.0	27.7	平均	68.6	7.6

図 13 実験を断念した被験者
 Figure 13 Subjects who abandoned the experiment

8. まとめ

本研究では拡張現実の空間で移動するオブジェクトの経路を、ドローンの飛行経路とする手法を提案した。GPS が使用できない環境下や、マーカーの配置が困難な場所、あるいはコンピュータ上に 3D 再構築されていない空間においてもドローンを自動的に飛行させた。

拡張現実の空間をタブレット型コンピュータから視認しながら、タッチ操作でドローンを自動的に飛行させることで、手動による操縦が困難な人でも簡単に任意の経路を指定可能とした。

研究の提案手法で実験した際システムが正常に動作せず、拡張現実の空間でオブジェクトが移動している経路をドローンが認識しない場合があった。原因は、システムの処理落ちであると推察する。拡張現実の空間における当たり判定をタブレット型コンピュータで検知し、飛行させる方向を指示するコマンドをドローンへ通信しているが、当たり判定の処理はコンピュータに大きな負荷がかかる。その為、継続的な通信が阻害され、拡張現実の空間で移動するオブジェクトと現実の空間で飛行するドローンとの間で位置の差異が発生したと考えられる。

システムの処理落ちは拡張現実の空間に配置されたオブジェクトを、タブレット型コンピュータへ表示する際にも大きな障害となった。オブジェクトの配置はドローンが飛

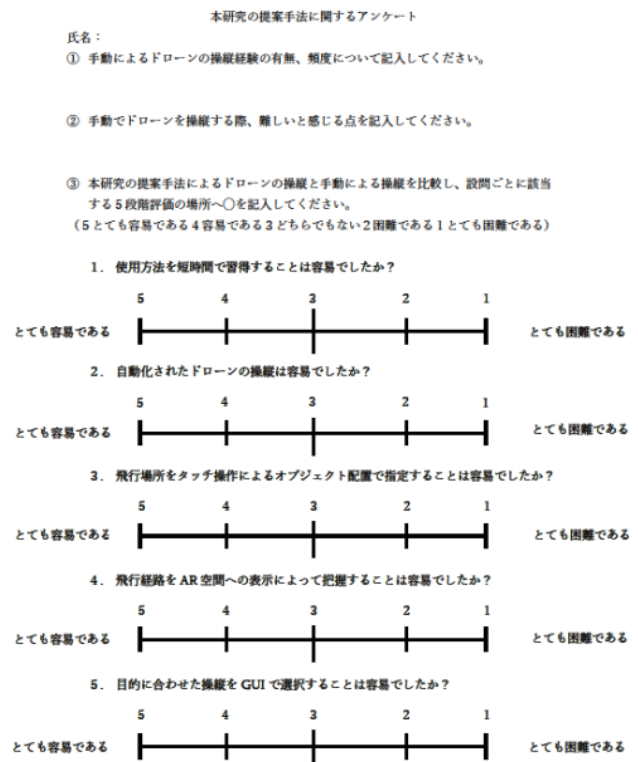


図 14 アンケート調査
 Figure 14 Questionnaire survey

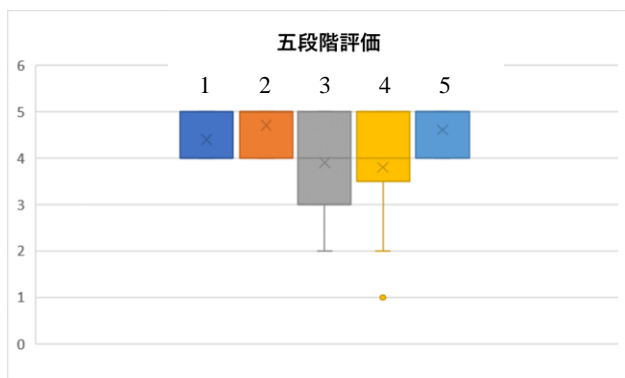


図 15 アンケート調査の結果
 Figure 15 Questionnaire survey results

行する経路を操縦者へ表示する重要な要素であるが、処理落ちによってカメラ映像のフレームレートが低下し、表示を認識することが困難となった。被験者へのアンケート調査で表示に関する設問③4の平均値が最も低い値であり、提案手法における重大な課題となっている。

本研究は拡張現実の空間におけるオブジェクトの動きのみから、ドローンを自動的に飛行させている。その為、現実空間に存在する障害物に対応していない。ドローンに搭載されているカメラからの映像を画像認識することや、赤外線センサーを活用することで障害物を自動的に回避する機能を実装し、飛行の安全性を向上させたい。また、位置ズレの修正への活用にも期待する。

構築したシステムは一機のドローンにのみ対応しているが、複数機体の操縦へ対応させることで編隊飛行を実現したい。編隊飛行によって広範囲を飛行することや、物体の撮影や点検に要する時間を短縮すること、指定した地点や物体を取り囲む様にドローンを配置させることが可能となる。

拡張現実の空間を複数人で共有し、飛行しているドローンの情報を多人数へ伝達したい。1つのドローンを共同で使用することや、飛行経路を確認し合うことで集団における作業の効率化や安全性を向上させたい。

参考文献

[1]特許庁,平成 30 年度 特許出願技術動向調査 ―ドローン―,
https://www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/30_05slide.pdf

[2]下ノ村 和弘,ドローンの技術的側面 現状および課題と展望,IATSS Review,Vol. 44,No. 2,pp.16-23(2019)

[3]GPS 技術入門,坂井 丈泰,東京電機大学出版局(2003)

[4]Mohammad Fattahi Sani, Ghader Karimian, "Automatic Navigation and Landing of an Indoor AR. Drone Quadrotor Using ArUco Marker and Inertial Sensors",IEEE, 2017 International Conference on Computer and Drone Applications,pp102-107 (2017)

[5]菊池 慶仁,加島 正爽,AR マーカーに基づくドローンの自立飛行,工学研究: 北海学園大学大学院工学研究科紀要 (18),pp.33-37(2018)

[6]Christoph Gebhardt, Benjamin Hepp, Tobias Naegeli, Stefan Stevsic, Otmar Hilliges, " Airways: Optimization-Based Planning of QuadrotorTrajectories according to High-Level User Goals",the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp1-12(2016)

[7]Ryotaro Temma,Kazuki Takashima,Kazuyuki Fujita, Koh SuedaYoshifumi Kitamura, "Third-Person Piloting: Increasing Situational Awareness using a Spatially Coupled Second Drone", Human-Robot Interaction,pp507-519(2019)

[8]Okan Erat, Werner Alexander Isop, Denis Kalkofen and Dieter Schmalstieg, "Drone-Augmented Human Vision: Exocentric Control for Drones Exploring Hidden Areas",IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp1437-1446(2018)

[9]Linfeng Chen,Akiyuki Ebi,Kasuki Takashima,Kazuyuki Fujita,Yoshifumi Kitamura," PinpointFly: An Egocentric Position-pointing Drone Interface using Mobile AR",SIGGRAOH Asia 2019 Emerging technologies,pp34-pp35(2019)

[10]Benjamin Hepp,Matthias Nießner,Otmar Hilliges, "Plan3D: Viewpoint and Trajectory Optimization for Aerial Multi-View Stereo Reconstruction",ACM Transactions on Graphics,vol.38,no.1,pp4:1-4:17(2017)

[11]Apple,ARKit Scanner,
https://developer.apple.com/documentation/arkit/scanning_and_detecting_3d_objects

[12]警察庁 人口減少時代における警備業務の在り方に関する有識者検討会,人口減少時代における警備業務の在り方に関する報告書(2018)

[13]農林水産省,農業用ドローンの普及に向けて (農業用ドローン普及計画) (2019)

[14]Apple,ARKit,
<https://developer.apple.com/jp/documentation/arkit/>

[15]国土交通省 公共事業企画調整課,次世代インフラ用ロボットの開発・導入について,
https://www.zenken.com/kensyuu/kousyuukai/H30/651/651_kondo.pdf