

FlyingDisplay: 飛行可能な公共ディスプレイシステム

野崎 大幹^{1,a)} 興野 悠太郎^{2,b)} 小川 正幹² 米澤 拓郎² 中澤 仁¹ 高汐 一紀¹ 徳田 英幸²

概要: 近年, インターネットの発展により, 爆発的に情報量が増加してきている. それにともない, 情報をどのようにして現実社会に対して伝えるか, 提示するシチュエーションやメディアが多様化してきている. その一例として, 駅やショッピングモールなどの公共空間においてディスプレイを用いたデジタルコンテンツが普及している. しかしながら, ディスプレイによる情報提示は, 様々な問題がある. 本稿では, 無人飛行器を用いた飛行可能な新しい公共ディスプレイ, FlyingDisplay を提案する. 本ディスプレイモデルでは, いつでもどこでも情報を提示することを可能にし, 既存の公共ディスプレイモデルと全く違う新たなモデルを提案する. プロトタイプを実装し評価実験を行い, 本研究で提案した FlyingDisplay の飛行持続性と将来像を示した.

キーワード: 公共ディスプレイ, 情報伝達, ヒューマンコンピュータインタラクション, ユビキタスコンピューティング

FlyingDisplay: A Movable Display Pairing Projector and Screen in the Air

Abstract: We developed FlyingDisplay, a novel movable public display system, which can provide information to the people anywhere at anytime. This system consists of two UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) with a projector and a screen. FlyingDisplay achieves moving freely and keeping stable in 3-D space. FlyingDisplay moves closer to people and gives information directly to them. To evaluate performance of FlyingDisplay, we performed two experiments for adapting a flying control algorithm. We also showed the stability of FlyingDisplay systems by trajectories of each UAV. This paper highlights the performance of FlyingDisplay and discusses the FlyingDisplay's potential for public displays in physical space.

Keywords: Flying Display, Movable Public Display, UAV, Mobile Contents, Social Robot

1. はじめに

近年, インターネットの発展や Facebook や Twitter といった SNS の台頭により, 爆発的に情報量が増加してきた. それに伴い, 現実社会でどのように情報をユーザに伝えるのか, 提示するシチュエーションやメディアが多様化してきている. 例えば, 以前までの公共空間での情報提示手段は広告や看板, ポスターの紙媒体が主であった. しかし, 現在ではディスプレイを利用したデジタルサイネージが普及しており, デジタルコンテンツの伝達は人々の日常空間, 公

共空間に大きく入り込んでいる [2], [8]. 特に駅やショッピングモールでは, ディスプレイによるサービス提供やナビゲーションが可能になり, 私たちは公共空間において様々なコンテンツを授受している.

しかしながら, 公共空間でディスプレイから遠く離れた場所では, どのように情報を取得することができるだろうか. 既存のディスプレイは床や壁, 天井といった面に接した状態で配置するため, 物理的に 1 地点に固定される. ディスプレイは固定された 1 点から情報伝達可能な範囲内を通過するユーザに対してのみ情報を提示する. そのため, 潜在的にサービスを必要としている全てのユーザに対する情報提供サービスの実行は難しいという問題点が上げられる.

本投稿では, 公共ディスプレイの新しいモデルである飛行可能なディスプレイ, FlyingDisplay を提案する. ディスプレイが移動能力を持つ場合, 潜在的にサービスを必要とす

¹ 慶應義塾大学 環境情報学部
Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

² 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

a) chacha@ht.sfc.keio.ac.jp

b) kyopan@ht.sfc.keio.ac.jp

るユーザに対して積極的なサービス提供が期待できる。本システムでは物理的な制約を軽減し、実空間においてどのような時、どのような場所においても情報を提供することを可能にする。また、飛行移動能力を獲得することにより、既存のロボットによる2次元的な平面移動だけでなく、3次元的な自由な立体移動を目指す。FlyingDisplayは情報配信側により、人々に対して物理的なアプローチを行う。空中を自由に飛行移動する機能により、図1のようにFlyingDisplayの情報伝達可能な範囲は拡張される。既存ディスプレイでの情報伝達可能な範囲から遠く離れた歩行者に対しても積極的にサービス提供を行う。一方で、FlyingDisplayは既存のディスプレイの到達不可能な地点へのディスプレイ設置を可能にする。都市空間において、迅速で柔軟な情報伝達を行うことができる。

本稿では、新しい公共ディスプレイシステムであるFlyingDisplayを提案する。本提案を検証するために、FlyingDisplayのプロトタイプを実装し、その飛行持続可能性について評価実験を行った。結果として、安定した飛行移動可能なディスプレイを実現した。

本稿の意義は以下の3点である。

- 公共空間における新しいディスプレイモデルとしてFlyingDisplayを提案したこと
- FlyingDisplayのプロトタイプを実装し評価実験によりその有効性を示したこと
- 実社会においてFlyingDisplayによるインタラクションの将来のモデルを示唆したこと

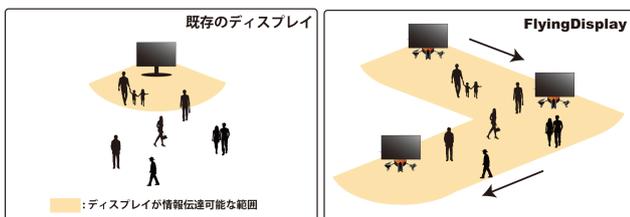


図1 ディスプレイの情報伝達可能な範囲

2. 関連研究

現在、人間と対話を行うロボットの研究は進められており、実世界において移動可能なロボットによる情報提示手法の研究は数多く行われてきた[11]。神田ら[3]は、移動可能なロボットを用いてユーザに対して適切な情報提供を行うために、歩行者の移動軌跡を蓄積し、解析した。どのようにロボットが歩行者に対して接近していくかについて、空間の利用状況や人々の行動パターンを抽出する方法の研究を行った。佐竹ら[12]は、潜在的にサービスを要求している歩行者に対して移動するロボットによるサービスの提供を提案した。まず、対話可能な歩行者を見つけ、それぞれの歩行者毎に対してどのようなサービス提供が適してい

るか、位置情報を利用したコンテキストの推定を行っている。これらの研究は、現実社会において移動可能なロボットが人間へ接近し、サービス提供を目指すという点においては、本研究の目的と似ている。しかし、これらのロボットは2次元的な平面において移動することを前提としており、FlyingDisplayでは3次元的な空間においてのアプローチ方法について考慮する必要がある。

また、近年プロジェクタの小型化、安価化により、コンパクト且つ輝度の高いピコプロジェクタが注目を集めている。ピコプロジェクタを用いることにより、壁や地面などの表面にプロジェクションを投影することで移動性のあるコンテンツが可能になる。Karlら[9]はプロジェクタに赤外線に関するマークとカメラを取り付けることにより、複数のプロジェクタにおける相対的な位置を計測可能にした。この研究では複数のモバイルプロジェクタの投影によるインタラクションを提案している。また、プロジェクションとユーザによる実世界の動きについて研究が進められており、モバイルプロジェクタによるデータの交換や投影された映像やキャラクタ同士のインタラクションが提案されている[10]。

一方で、UAVを組み合わせることにより、実世界での移動可能なコンテンツ、ディスプレイが提案されている[13]。Jurgenら[4]はピコプロジェクタとUAVを組み合わせることにより、公共空間において飛行移動可能なコンテンツを伝達するシステム、Displaydroneを提案した。このシステムでは、屋外において建物の壁や人の集まる地面のような平らな面に対してプロジェクションを可能にしており、複数のユーザが投影されたコンテンツを介してインタラクションを行う。この研究は、UAVとプロジェクタを用いることで3次元空間での移動可能なサービスの提供を目指すという点は、本研究の目的と似ている。しかしながら、Displaydroneは壁や地面をスクリーンとして移動可能なディスプレイを実現しているため、建物や地上から遠く離れることができないという物理的な制約を受けてしまう。本研究ではスクリーンも同様に飛行移動させることにより、3次元空間上でのどの地点においても到達が可能であるという点で異なっている。

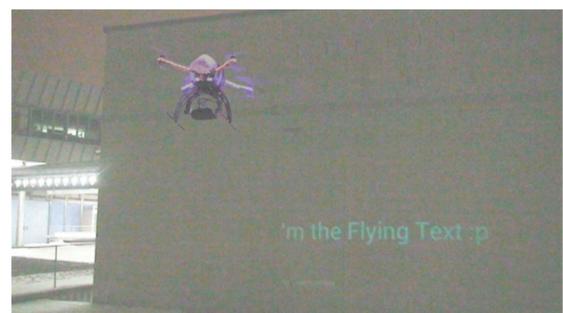


図2 UAVにプロジェクタを搭載したDisplaydrone[4]

3. FlyingDisplay

本研究では、空中において自律的に自由な動きを行う公共ディスプレイシステム、FlyingDisplay を提案する。FlyingDisplay は都市空間において素早く柔軟性の高いディスプレイ配置を可能にするシステムである。地上から離れた上空でのディスプレイを実現し、物理的制限を克服する。

3.1 概要

近年、UAV のようなフライングロボットについては軍事を目的とした研究から、公共におけるユーザを対象とした研究にシフトしてきている。例として、カメラを搭載することにより既存のカメラでは到達不可能な視点からの撮影やジャグリング [6] を行うフライングロボットのような屋内での使用に焦点を当てた研究も進められている。本研究において、FlyingDisplay を実現するために UAV を用いることにより、3次元空間上での自由なディスプレイを可能にする。

しかしながら、UAV は搭載可能な重量の制限があるため、既存のディスプレイを直接運ぶことは難しい。スマートフォンやタブレットなどの軽量かつ小型のディスプレイを搭載することはできるが、公共空間での情報提示に適したサイズとは言えない。そこで、ディスプレイの機能をイメージの投影機能とスクリーンの被投影機能の2つに分割することにより、重量制限を考慮しながら広画面を実現する。それぞれ2台の UAV にプロジェクタとスクリーンを搭載することで、投影機能とスクリーン機能を実現する。また、2台の UAV を空中においてペアリングコントロールすることにより、2台においても安定したディスプレイを提供可能にする。

3.2 コンセプト

FlyingDisplay は、既存ディスプレイとは異なり、自ら飛行移動することで能動的な情報提示も可能になる。そのため、通常のディスプレイでの情報提示可能な対象範囲から外れた人に対しても FlyingDisplay はサービス提供を行う。素早く移動して近づくことが可能になり、広範囲のユーザに対してサービス提供を行う。また、FlyingDisplay はいつでもどこでも使用することが可能であり、屋内においても屋外での使用にも対応する。FlyingDisplay はプロジェクタとスクリーンの角度をそれぞれコントロールすることで、図3のように歩行者目線と垂直にディスプレイを実現可能であり、新しいモバイルディスプレイを提案する。

3.3 研究課題

FlyingDisplay を実現するために、以下の2つの研究課題があることを示す。

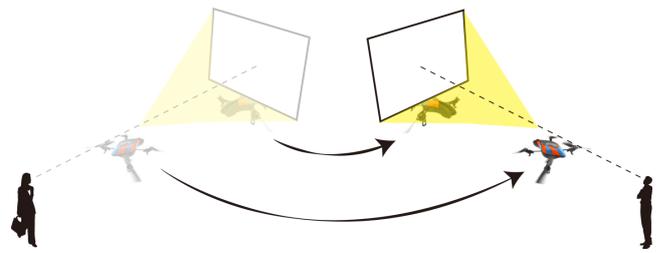


図3 FlyingDisplay のコンセプト

課題1: drone 同士のインタラクション

2台の drone 同士のインタラクションの定義は、安定したディスプレイの供給において重要なポイントである。まず、初期調査としてそれぞれの drone にプロジェクタとスクリーンを搭載し、安定した浮上することが可能かどうか確認しなければならない。次に、飛行移動時においても、2台の drone をペアリングさせることにより、安定したプロジェクションをスクリーン上を実現することを目指す。

課題2: 人間と FlyingDisplay のインタラクション

FlyingDisplay を用いて人々に対してどのようなインタラクションをとるべきか考察しなければならない。人間と FlyingDisplay のインタラクションは、一人のユーザに対してアプローチする場合と複数のユーザに対してアプローチする場合の2通りに区別することができる。一人のユーザの場合においては、まず FlyingDisplay がユーザにどのように近づくのか、次にどのようなインタラクションを行うのか、最後にどのように立ち去るのかという3つのフレーズの流れとして考える必要がある。複数のユーザに対しては、情報提示をユーザ全員に対して効率的に行うためにはどのような飛行ルートをとるのか、どのようなスピードで移動するべきか、どのような高さでコンテンツを配信するのか考える必要がある。

4. プロトタイプ

本章では、FlyingDisplay のプロトタイプにおける実装について述べる。本プロトタイプの実装にあたり、Parrot 社の AR.Drone2.0 [1] を用いた。AR.Drone2.0 は、先端に設置された HD 画質の 720p-30fps のフロントカメラと背面に設置された SD 画質のボトムカメラを利用して、飛行中のライブストリーミングを行う。また、AR.Drone2.0 には 3軸ジャイロスコープ、3軸加速度計、圧力センサ、対地高度測定用超音波センサなど、様々なセンサを搭載されており、その情報にアクセス可能である。本プロトタイプにおける機能要件を次に示し、それぞれの要件に対するアプローチを示す。

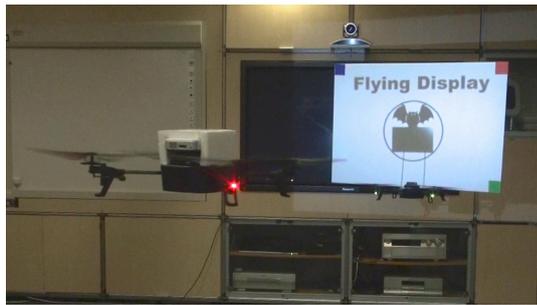


図 4 FlyingDisplay のプロトタイプ

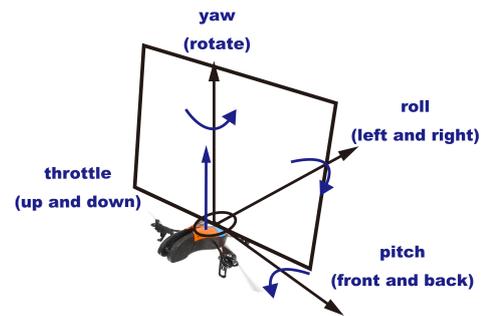


図 5 機体の状態センシングに基づいたコントロール

4.1 機能要件

本研究では、前章で定義したチャレンジにおいて、安定した FlyingDisplay を実装することに焦点を当てる。本プロトタイプにおける機能要件を以下に2つ示す。

1. 各々の drone に対してプロジェクタとスクリーンを搭載した状態での安定したホバリング飛行
2. 2 台による drone の飛行移動中にスクリーンへの安定したプロジェクション

4.2 ホバリング安定化機構

4.2.1 設計

安定したホバリング飛行を実現するために、ハードウェアとソフトウェアの2つの観点から設定する。ハードウェア面として、AR.Drone に搭載するプロジェクタとスクリーンの選定を行う。それぞれの物体は、AR.Drone2.0 の積載許容量である 200g 以下である必要があり、その制限下において最適なプロジェクタとスクリーンを用いる。また、飛行時において空気抵抗を最小化するため、機体のどの部分に装着するべきか考慮する。ソフトウェア面では、オブジェクトを搭載した drone が安定したホバリングを実現するために、機体のバランスのコントロールを行う。

4.2.2 実装

- ハードウェア

プロジェクタは重量の軽さ、輝度の高さを基準に TOP-ONE CO. の epico を用いた。epico は 125mm x 65mm x 25mm で 150g ほどの重さで、50ANSI ルーメンという高輝度のモバイルプロジェクタである。写真や画像、映像といったコンテンツを投影することが可能である。また、スクリーンは重量の軽さ、幅の薄さ、丈夫さを基準に白色の発砲板を用いた。プロトタイプでは、最大 100 インチ (A1 サイズ相当) の発砲板を搭載した。次に、安定したホバリング飛行を行うために、プロジェクタとスクリーンをそれぞれ AR.Drone の上部に装着した。特にスクリーンはその表面積が大きくなるため、自身が起こす風によって機体が不安定に陥りやすく、上部に装着することで風の影響を最小化した。また、機体全体の重心バランスが整うようにそれぞれ物体の装着する箇所を考慮した。

- ソフトウェア

図5のように AR.Drone に標準搭載された 3 軸ジャイロスコープを通じて、常にヨー角、ロール角、ピッチ角をモニタリングする。センシングしたデータを基に、機体がどの方向に傾いているのかをリアルタイムに検知し、閾値を超えた傾きを検知した場合、その反対側に機体を傾かせることで安定したホバリングを実現した。

4.3 同期飛行制御機構

4.3.1 設計

それぞれプロジェクタとスクリーンを搭載した 2 台の drone を同一のネットワークにつなぎ、ペアリングコントロールすることにより飛行移動中においても、安定したプロジェクションを可能にする。2 台の drone にマスター/スレーブモデルを適用させ、スクリーン drone をマスター、プロジェクタ drone をスレーブとする。そのため、プロジェクタ drone は、スクリーン drone の位置を推測し続け、自身の飛行移動を決定している。その際に高度と角度の同期、前後左右の移動決定の 2 つの要素を考慮しながら、ペアリングさせ、安定したプロジェクションを提案する。

4.3.2 実装

- 高度と角度の同期

2 台の AR.Drone を同じネットワーク環境に接続し、スクリーン drone での高度と角度を連続して取得すると同時に、プロジェクタ drone の高度と角度を合わせる。特に、スクリーンに対して垂直にプロジェクションを実現するため、2 台の drone は常に向かい合うように高度と角度を調整する。

- 前後左右の移動

プロジェクタ drone がスクリーン drone の位置を検出するために、スクリーン上に 3 つのビジュアルマーカを設置した。プロジェクタ drone の先頭に搭載されたカメラからマーカを検知することにより、プロジェクタ drone はスクリーン drone との相対的な位置を把握することができる。そのため、スクリーン drone の動きに応じて、プロジェクタ drone がどの方向に動くべきか判断する。

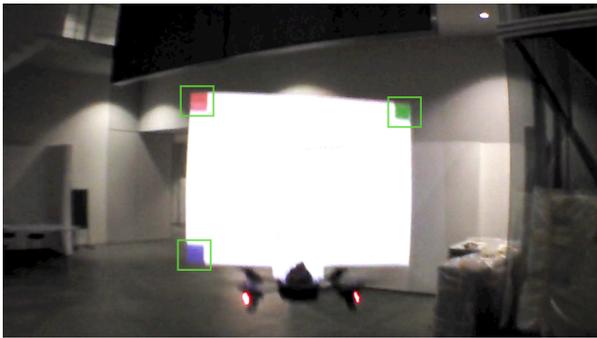


図 6 フロントカメラからスクリーンに搭載したマーカの検出

5. 評価実験

本章では、各機能要件に対してアプローチが行えたかどうか2つの評価実験を行った。評価1では、プロジェクタとスクリーンを搭載した各々の drone が安定したホバリング飛行の評価を行った。評価2では、プロジェクタ drone とスクリーン drone が飛行移動の際にスクリーン上での安定してプロジェクションの評価を行った。

5.1 安定したホバリング飛行の評価

本評価では、プロトタイプに実装したホバリング安定化機構を用いた (A) スクリーン drone と (B) プロジェクタ drone, ホバリング安定化機構を用いず (C) 何も搭載しない標準の drone をそれぞれホバリングさせ軌跡を取得し、観察した。

5.1.1 実験手順

実験手順は以下の通りである。

実験手順

- (1) 各 drone のホバリング飛行
- (2) キャプチャによる各軌跡を取得
- (3) 各スタート地点からの距離の分布算出

まず、ホバリング安定化機構を用いた (A) スクリーン drone, (B) プロジェクタ drone, ホバリング安定化機構を用いていない (C) 何も搭載していない標準の drone を、それぞれ屋内において1点上に100秒間ホバリング飛行する。次に、ホバリング飛行時に、定点カメラによりキャプチャし続ける。0.5秒毎に機体の位置を解析し、プロットする。最後に、各 drone の位置から各スタート地点までの距離を計算し、分布を示す。

5.1.2 実験結果

各 drone のホバリング飛行した軌跡と各位置からスタート地点までの距離の分布を図に示す。各 drone における軌跡結果から、プロジェクタとスクリーンを搭載した drone (A) と (B) は、ホバリング安定化機構を用いることにより、標準 drone (C) のホバリングと同等かそれ以上に安定していたと言える。また、スタート地点からの距離の分布から、(A)

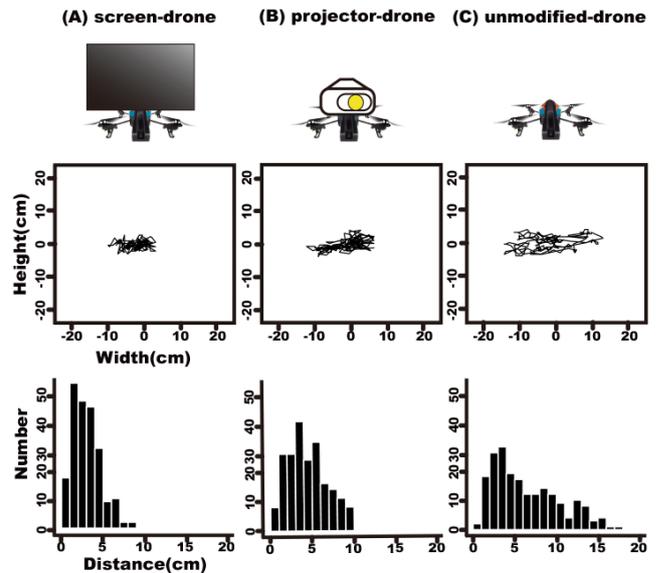


図 7 各 drone の軌跡とスタート地点からの距離分布

と (B) は (C) に比べてスタート地点を中心にホバリングしていることがわかる。

5.1.3 実験考察

通常の標準 drone よりも安定してホバリング飛行を行うことができた。ソフトウェアの観点から、機体のバランスをコントロールする実装を利用することで安定したホバリングを実現した。また、ハードウェアの観点から、プロジェクタとスクリーンの重心を考慮した設置により、スタート地点から移動せずに、安定して1点に留まることを可能にしていると考えられる。(A), (B), (C) とともにおよそ20cmの許容範囲内に留まることを観測でき、実空間においても有効であると推測できる。

5.2 飛行移動時のプロジェクション精度の評価

本評価では、同期飛行制御機構を用いた2台と用いてない2台の drone について飛行移動時にスクリーン上でのプロジェクション精度を観察した。

5.2.1 実験手順

実験手順は以下の通りである。

実験手順

- (1) ペアリングテクニックを用いた2台の drone による飛行移動
- (2) スクリーン上でのプロジェクション精度の計測
- (3) ペアリングテクニックを用いていない2台の drone による飛行移動
- (4) スクリーン上でのプロジェクション精度の計測

まず、スクリーン drone を2地点間を1.5往復させるようにプログラム飛行させる。それに伴い、プロジェクタ drone は (A) 同期飛行制御機構を用いた追跡させ、(B) 同期飛行制御機構を用いずにプログラム飛行の2通りについて

評価実験を行う。2地点間は5mあり、スクリーン drone は20秒かけて合計15mを飛行移動する。次に、スクリーン上に対してどの程度プロジェクションを行えたかを定量的に計測するために、スクリーンに9つの点を配置させ、各時点で何個の点をプロジェクションによりカバーできていたか観察する。プロジェクタ dronen の先端カメラを利用して、20秒間0.25秒毎に計測を行い、80ステップにおいて9つの点がいくつカバーできていたかを計測する。本評価における精度の最大スコアは720(20秒間 x 4fps x 9点)であり、各飛行移動においてスコアを比較する。

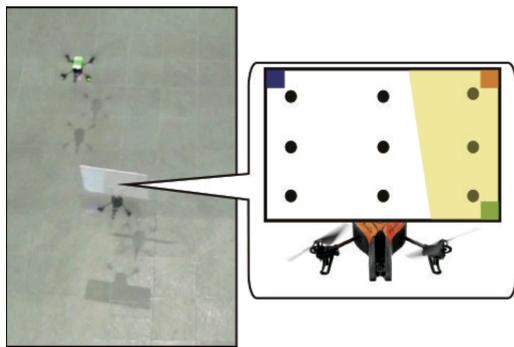


図8 スクリーンに設置した9つの点

5.2.2 実験結果

プロジェクタ drone を同期飛行制御機構を用いた飛行と用いていない飛行でのプロジェクションのスコアを表1に示す。(A)においては、飛行移動間に73%のプロジェクション精度であった。(B)においては、飛行移動間に54%のプロジェクション精度であった。

表1 各飛行移動時におけるプロジェクションの精度

	hit	miss	精度
(A) 同期飛行制御機構を用いた場合	528	192	73%
(B) 同期飛行制御機構を用いていない場合	393	327	54%

5.2.3 実験考察

ペアリングすることにより2台の飛行移動時において安定したプロジェクションを提供できることを観察した。実験開始直後5mでは、(A)と(B)のどちらもスクリーン drone とプロジェクタ drone の位置関係を保ち、安定したプロジェクションを行っていた。しかし、同期飛行制御機構を用いていない(B)は、切り返しを1回、2回と重ねていく毎に2台の位置関係がずれていくことを観察した。屋内でFlyingDisplayを利用することを想定すれば、短い距離で方向転換を行う必要があると考えており、その際に精度の高いプロジェクションを提供するためには、飛行時に位置修正を行う同期飛行制御機構が必要になるだろう。

6. 議論

FlyingDisplay の設計実装および実際に実社会において実現するためには様々な点について注意を払いつつ、議論する必要がある。

6.1 今後の課題

UAVを用いたアプリケーションの研究は盛んに行われているが、バッテリーによる飛行時間の制限という問題点がある。今回プロトタイプに用いたAR.Droneでは、10-20分間での飛行が限界であり、長時間ディスプレイを飛行維持するためには、解決する必要がある。これらの問題点において、が適用可能である[5], [14]。地上の電源装置にdroneを接続し給電することにより、半永久的な飛行を実現しており、この技術をFlyingDisplayにも応用できると考えている。

一方で、実際にFlyingDisplayを実世界において利用するためには、技術的な問題だけでなく社会的な問題にも注目する必要がある。特にUAVによるアプリケーションにおいては、実世界において人間とのインタラクションにおける安全性について考慮しなければならない。FlyingDisplayの存在に気づいていない歩行者に対しては、不用意に近づかないようにするなど、公共空間における環境情報を理解することで安全なアプローチ手法が実現できるだろう。

6.2 人とディスプレイのインタラクション

技術的な問題解決することで安定した飛行移動が可能なディスプレイの実現により、FlyingDisplayと人間のインタラクションについて議論する必要がある。

● 個人とディスプレイのインタラクション

一人のユーザに対してFlyingDisplayがサービスを提供する流れを(1)ユーザに近づく、(2)インタラクション、(3)ユーザから離れるという3つの場面に分ける。(1)では、どのような方向からどのような動きでユーザに近づくのか、またユーザからどの程度距離と高さの地点に設置するか決定しなければならない。(2)では、それぞれのユーザ毎にどのようなサービスを提供する必要があるのか考える必要があり、(3)では、インタラクションが終了した後、どのようにその場から去るのか考慮する必要がある。

● 群衆とディスプレイのインタラクション

複数のユーザに対してFlyingDisplayがサービスを提供する際に、ユーザ全員に対して高い情報伝達率を維持しながら、様々なコンテンツを提供するかは重要なポイントである。そのためには、どのようなコンテンツをどのようなスピードでどのような飛行ルートを描くのかを考慮する必要がある。

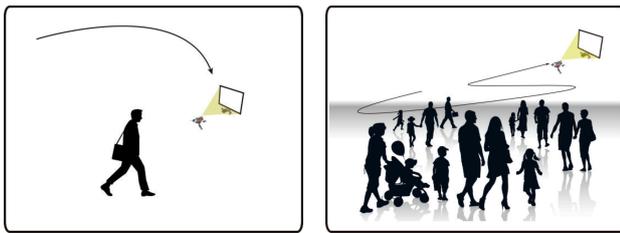


図 9 個人とディスプレイ, 群衆とディスプレイのインタラクション

6.3 アプリケーション

FlyingDisplay を新しい公共ディスプレイのモデルとして提案されており, 新しい広告モデルの潜在能力を持っている. 実際に 2013 年 11 月 22, 23 日に東京ミッドタウンで開催された Open Research Forum では, 飛行中に多くの観客を集めることに成功した. UAV を用いた新しいディスプレイは人々の関心や興味を引きつけるのに重要な役割を担うと推測する.

一方で, 本提案のディスプレイは緊急事態においても効果を発揮する. 例えば, 火事の場面においては, 既存のディスプレイや平面移動ロボットでは到達不可能な場所が多く, 迅速に必要な情報を提供することは難しい. 地震によって建物から脱出しなければならない場面においても, 大勢の人間に対して効率よく柔軟に情報を伝達するだろう.

7. おわりに

本稿は, 実空間において飛行移動可能なディスプレイシステム, FlyingDisplay を提案した. 2 台の UAV にそれぞれプロジェクタとスクリーンを搭載し, ペアリングすることで公共空間での迅速かつ柔軟なディスプレイを実現した. また, 実際に安定したディスプレイの提供が可能かについて 2 つの評価実験をおこなった. 初めの評価では, プロジェクタとスクリーンを搭載した drone が, 何も搭載されていない標準の drone と同等以上の安定したホバリング飛行を観測した. 次の評価では, 私たちの提案したペアリングテクニックにより, 飛行移動時においても安定してスクリーン上にプロジェクションが行えたことを観測した. 2 つの評価実験により, 3 次元空間上での自由な飛行をするディスプレイの実現が可能であることを示した.

謝辞 本研究の一部は, 独立行政法人情報通信研究機構に支援頂いた.

参考文献

- [1] Ar.drone 2.0 parrot new wi-fi quadricopter. <http://ardrone2.parrot.com>.
- [2] Vogel, Daniel; BALAKRISHNAN, Ravin. Interactive public ambient displays: transitioning from implicit to explicit, public to personal, interaction with multiple users. *In: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 2004. p. 137-146.
- [3] Kanda, et al. Who will be the customer?: a social robot

- that anticipates people's behavior from their trajectories. *In: Proceedings of the 10th international conference on Ubiquitous computing*. ACM, 2008. p. 380-389.
- [4] Scheible, Jurgen, et al. Displaydrone: a flying robot based interactive display. *In: Proceedings of the 2nd ACM International Symposium on Pervasive Displays*. ACM, 2013. p. 49-54.
- [5] Kyono, Yutaro, et al. EverCopter: continuous and adaptive over-the-air sensing with detachable wired flying objects. *In: Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication*. ACM, 2013. p. 299-302.
- [6] Muller, Mark; Lupashin, Sergei; D'andrea, Raffaello. Quadrocopter ball juggling. *In: Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2011. p. 5113-5120.
- [7] Wilson, Max L. , et al. Pico-ing into the future of mobile projector phones. *In: CHI'10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2010. p. 3997-4002.
- [8] Muller Jorg, et al. Requirements and design space for interactive public displays. *In Proceedings of the international conference on Multimedia*. ACM, 2010. p. 1285-1294.
- [9] Wills, Karl DD, et al. SideBySide: ad-hoc multi-user interaction with handheld projectors. *In: Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*. ACM, 2011. p. 431-440.
- [10] Wills, Karl DD; Poupyrev, Ivan; Shiratori, Takaaki. Motionbeam: a metaphor for character interaction with handheld projectors. *In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2011. p. 1031-1040.
- [11] Gockley, Rachel; Forlizzi, Jodi; Simmons, Reid. Natural person-following behavior for social robots. *In: Proceedings of the ACM/IEEE international conference on Human-robot interaction*. ACM, 2007. p. 17-24.
- [12] 佐竹聡, et al. 環境情報を理解してサービス提供を行うロボットの實現. *インタラクション*, 2009, 173-180.
- [13] Schneegass, Stefan, et al. Midair displays: exploring the concept of free-floating public displays. *In: CHI'14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2014. p. 2035-2040.
- [14] 興野悠太郎, et al. EverCopter: 着脱可能な有線給電式空中センシングプラットフォーム. *情報処理学会研究報告, MBL, [モバイルコンピューティングとユビキタス通信研究会研究報告]*, 2014, 2014. 26: 1-7.