

UAV コンピューティングの提案とその要素技術の検証

Proposal of UAV Computing and Its Feasibility Study

吉本英樹^{*1}

Hideki Yoshimoto

堀浩一^{*2}

Koichi Hori

^{*1}東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻

Department of Aeronautics and Astronautics, School of Engineering, University of Tokyo

^{*2}東京大学先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

We present the idea of UAV Computing, which proposes UAV(Unmanned Aerial Vehicle) as a platform of communication and representation of people. People send their messages with mobilephones, PC or more physical interfaces such as acceleration sensor, and the UAV represents the messages through display, speaker or it's own movement. We aim that this interaction enables people to feel the sky more familiarly.

1. 動機

UAV とは、Unmanned Aerial Vehicle、すなわち無人航空機のことである。UAV に関する研究は主に航空工学とロボット工学の分野で盛んに行われており、その利用方法もさまざまに提案されている。航空工学分野では、災害など緊急時の活躍や高精度の観測を目指し、機体の航空性能や制御システムの向上を主眼とする研究が多い。しかしながらそれらは非常に専門的かつ大規模なため、一般の人々からは身近な存在ではない。一方ロボット工学分野では、ペットロボットやナビゲーションロボットなど人と協調するような空中ロボットの研究が進んでいるが、そのほとんどが室内型に限られている。[1, 2, 3, 4]

我々はこれら二つのアプローチを融合し、すなわち屋外使用にも耐えうる航空性能を持ち、人々のコミュニケーションやメディアのプラットフォームになり得るような新しい UAV の活用モデルを提案し、UAV コンピューティングと呼んでいる。これにより人々が UAV を、ひいては空をより身近に感じ、表現のフィールドとして利用できるような世界を目指す。

2. フィジカルコンピューティング

UAV コンピューティングの概念を構成する上で、我々はフィジカルコンピューティング [5, 6] と呼ばれる既存のアイデアに注目した。フィジカルコンピューティングとは、従来のディスプレイ・マウス・キーボードというコンピュータの型を破り人の動きや空間のイルミネーションなど実世界への入出力を伴ったシステムを実装するアイデアで、デザインやアートの分野では新しい表現方法として注目されている。UAV コンピューティングは、UAV をプラットフォームとするフィジカルコンピューティングの実装といえる。

3. UAV コンピューティング

UAV コンピューティングの最も基本的なアイデアは、UAV を情報発信のプラットフォームとして解釈するというものである。既存の飛行船広告サービスは UAV からの情報発信を実現している数少ない好例であるが、我々はさらに、人と UAV の

間にインタラクティブな情報のやりとりを実現することにより、より動的で多様な表現やコミュニケーションの実現を目指している。どのような情報を扱うか、どのような入力・出力デバイスを用いるか、などによって実践例はさまざまに考えられる。

4. アプリケーションの提案

ここではコンセプトを具現化して、UAV コンピューティングの実践例を提案する。

4.1 UAV を通してメッセージを発信する

携帯電話や PC などの既存の端末から UAV 上のデバイスにアクセスすることにより、ネットワークを通して UAV にメッセージを送信し表現するシステムを、現在開発中である。5 × 7 の LED 配列をディスプレイとして UAV に搭載し、テキストメッセージを表示する。メッセージの入力には PC を用い、PC から UAV には無線 LAN あるいは Blue Tooth によるシリアル無線通信で情報を送信する。今後はさらに携帯端末からの入力やインターネットを介したやりとりも可能なシステムに拡張していく。

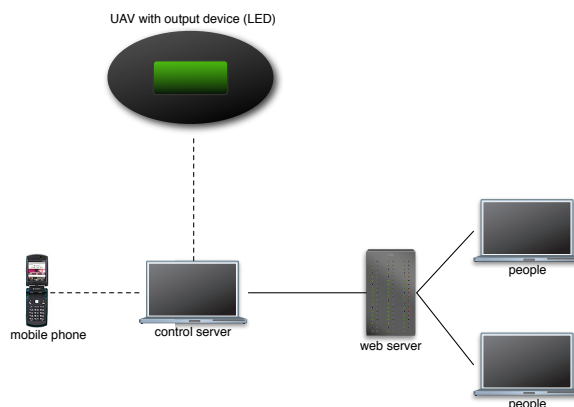


図 1: UAV を通したメッセージの発信

連絡先: 吉本英樹, 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻 知能工学研究室, yoshimoto@ai.rcast.u-tokyo.ac.jp



図 2: えんがわワークショップ風船

4.2 より直感的なインターフェースを用いたパフォーマンス

上述のシステムはテキストメッセージをやりとりするものであるが、より直感的・身体的な操作により UAV の操作やメッセージの表現などのパフォーマンスを行うシステムも提案している。具体的には加速度センサや光センサなど各種センサを用いて取得した人の身体的動作や、マルチタッチディスプレイや画像認識などの技術を用いたシンプルな操作デバイスからの入力を、UAV 上の出力デバイスあるいは UAV の制御そのものにマッピングする。従来研究においても直感的でインタラクティブなインターフェースの研究は活発で、フィジカルコンピューティングとも非常に近い立場にある。[8, 9, 10, 11] 我々は、それらのインタラクションに UAV が介在したときどのような表現が可能になるのかを検証していく。

5. 学環えんがわワークショップ

5.1 概要

2008 年 3 月に東京大学情報学環にて開催された学環えんがわワークショップ [12] にて、フルカラー LED を搭載した動力無しの風船を用いたデモを行った。このワークショップは、市民のメディア表現活動を豊かに展開するためのプラットフォームづくりの実践的研究として、一般の人々から携帯やコンピュータで投稿されたメッセージ付き写真 (画文) をキーワードや色調などにより様々にアーカイブし、そこから生まれる物語を可視化するという試みで、メディアエクスプリモ [13] が主催したものである。我々は、投稿された最新の画文の色調を取得し、アドバルーンとして設置した風船の LED をその色味に光らせるというシステムを作成した。市民からのメッセージ情報を空から発信するという意味で、今後の UAV コンピューティングへの足がかりとなるシステムである。

5.2 システム

サーバサイドで Perl により投稿写真の RGB の値を取得し、それを XML として出力する。クライアントではその値を Flash で取得し、Open Sound Control のプロトコルを用いて Max/MSP [14] に送信する。Max/MSP では RGB の最大値と最小値の平均を閾値としてそれぞれの色の On/Off を決定し、I/O モジュール TELEO [15] に信号を送信し、TELEO が LED への電力供給を制御する。

6. オープンソース化

6.1 情報の公開

多くの人々が UAV コンピューティングに参加し、また実践できるよう、機体設計からシステムのソースまで全ての情報をオープンソースとして公開していく。[7] 航空工学は高度な専門知識が必要なため、従来、パフォーマンスに UAV を使用するには技術的な障壁があった。本研究をオープンソースとして

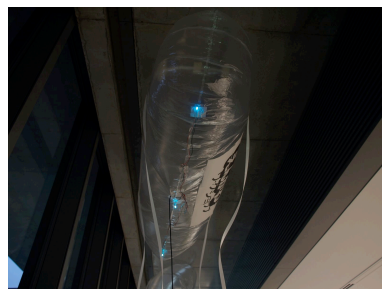


図 3: 風船 LED

進めていくことで、UAV を気軽に、安価に利用できる方法の人々に提供し、空をフィールドとした表現活動を活性化することを期待している。

6.2 オープンアーキテクチャとしての機体設計

オープンアーキテクチャとしての機体の設計要求は、

- 低コストであること
- 安全であること
- 製作・保管が容易であること
- 特別な材料や加工を必要としないこと

である。

6.3 試作機

本研究では市販のラジコン飛行機用の材料を用いて飛行船型 UAV を試作した。それゆえ、コストや信頼性は一般に普及するラジコン飛行機と同程度である。また本機は複数の小さな風船モジュールから成り、容易に分解・組み立てができるため、製作・保管も容易である。



図 4: 試作機

7. 試作機力学モデルの考察

7.1 運動方程式

試作した機体について力学モデルを設定し、運動を解析した。Azinheira ら [16] によると、風速を考慮した運動方程式は

次のように表される。これを含めた以降の式は、すべて機体固定座標系でみたものとする。

$$\overline{M}_a \dot{x} = \overline{F}_a + \overline{F}_g + \overline{F}_p + \overline{F}_k + \overline{F}_w \quad (1)$$

\overline{M}_a は、質量と慣性モーメントに関する付加質量を含んだみかけの質量行列である。付加質量とは飛行船の運動に影響を与える周りの空気質量であり、飛行船のように空気質量が機体質量に比べて無視できず周りの空気の慣性力が無視できない場合は、付加質量を考慮したモデルを考えなければならない[17, 18, 19]。 \overline{F}_a は空気力ベクトル(浮力と抗力)、 \overline{F}_g は重力ベクトル、 \overline{F}_p はプロペラによる推力ベクトル、 \overline{F}_k は慣性力ベクトル、 \overline{F}_w は風力ベクトルをそれぞれ表す。また x ベクトルは、速度と角速度からなるベクトルである。

7.2 解析モデル

機体の質量行列その他のファクタを推算し、風に対する挙動を解析した。速度 8m/s で進む UAV に対し、機体座標系で x 、 y 、 z 方向から 2m/s の風が吹くモデルを設定した。根軌跡に関しては、風速を 0 から 4m/s まで変化させたときの軌跡(図中の点が風速 0 の状態)を示した。また垂直尾翼の有る場合と無い場合を想定し、その効果による違いを検証した。

7.3 解析結果と考察

垂直尾翼を考慮しない場合、

- 縦 (x 、 z 方向) の風に対して鉛直面内の挙動は安定
- 水平面内の挙動は、下 ($-z$ 方向) からの風に対して安定、それ以外は不安定
- 横 (y 方向) の風に対しては不安定

との結果を得た。

これに垂直尾翼の効果を考慮した場合、縦風に対する挙動は鉛直・水平面内とも安定化した。横風に対する挙動は不安定なままであった。

垂直尾翼を考慮することで、通常は風見安定と呼ばれる効果が得られる。これは、風見鳥の原理で機体が風に対して風上を向くように方向転換する効果である。すなわち、通常の地面固定座標系でランダムに風が吹いた場合、機体から見れば最終的には風見安定により、前後方向と上下方向の風のみが吹く状態になる。従って上述の縦風に対する挙動のみが安定との解析結果は、UAV の安定な飛行を示すものであり、妥当な結果といえる。

なお、機体座標系で常に横風が吹き続けるモデルというのは、横風に吹かれながらも流れず方向を保ち続けるという状況である。本試作機程度の推力の飛行船では、2m/s 程度の風に対して流れずに飛行する事は不可能であることがわかる。

8. 結論

UAV を用いた、空をフィールドとする新たなコミュニケーションとメディア表現を提案し、オープンアーキテクチャによる UAV 設計・試作、力学モデルの解析を行った。またオープンソース化を踏まえた web サイトを公開した。現在はテキストメッセージをやりとりするシステムを開発中であり、今後はその他のインターフェースの開発も併せてよりインタラクティブなシステムの実装を進めていく。現在ラジコンで行っている制御通信システムも、無線 LAN や Blue Tooth などの通信規格や I/O モジュールのさまざまな組み合わせを検証した上で、最適なシステムを設計する必要がある。

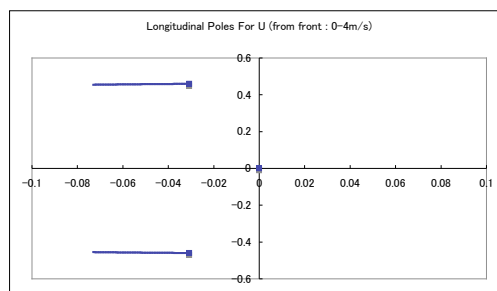


図 5: 縦の根軌跡 (前方からの風)

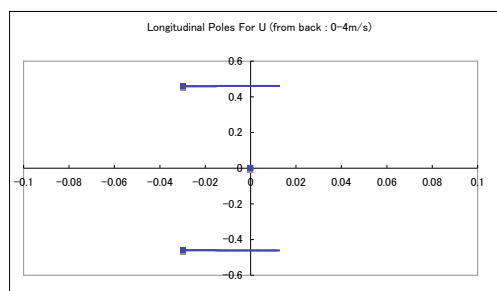


図 6: 縦の根軌跡 (後方からの風)

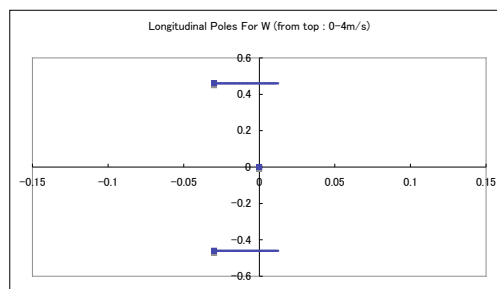


図 7: 縦の根軌跡 (上方からの風)

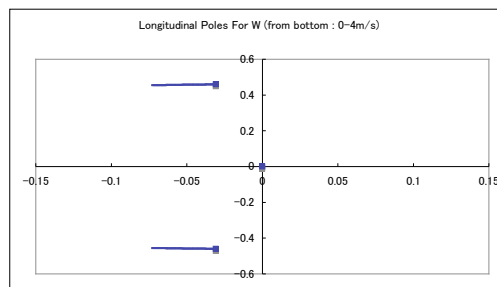


図 8: 縦の根軌跡 (下方からの風)

参考文献

- [1] 東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻、鈴木・土屋研究室 <http://www.flight.t.u-tokyo.ac.jp/index.html>

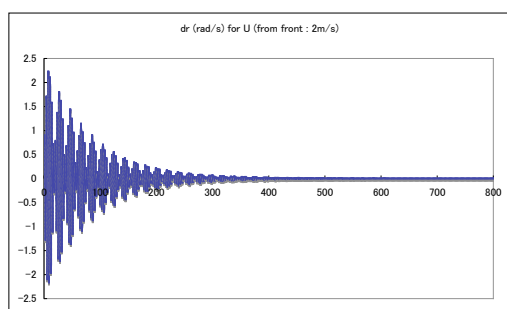


図 9: 水平面内角速度の挙動:尾翼あり (前方からの風)

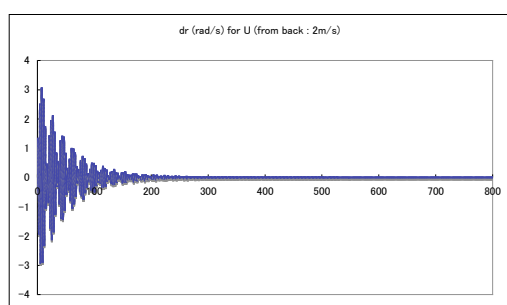


図 10: 水平面内角速度の挙動:尾翼あり (後方からの風)

[2] 宇宙航空研究開発機構、航空プログラムグループ、無人機・未来型航空機チーム
<http://www.jaxa.jp/projects/aero/future/index.html>

[3] 川村秀憲、角田久雄、山本雅人、高谷敏彦、大内東「ホバリング制御に基づくエンタテインメントバルーンロボットの開発」(知能・情報・ファジイ学会論文誌、Vol. 17、No. 2、pp. 29-37、2005)

[4] 独立行政法人、新エネルギー・産業技術総合開発機構、アクロバット飛行船ロボット AAR
<http://www.nedo.go.jp/expo2005/robot/prototype/kouen001.html>

[5] Dan O'Sullivan、Tom Igoe "Physical Computing" (Thomson Course Technology)

[6] Tom Igoe "Making Things Talk" (O'reilly, 2007)

[7] ニールガーシェンフェルド、糸川洋(訳)「ものづくり革命 パーソナルファブリケーションの夜明け」(ソフトバンククリエイティブ)

[8] 石井裕、タンジブル・メディア・グループ、マサチューセッツ工科大学メディアラボ「タンジブル・ビット 情報の感触 情報の気配」(NTT 出版)

[9] Ishii, H. and Ullmer, B. "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms"(Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '97), (Atlanta, March 1997), ACM Press, pp. 234-241.)

[10] Jorda, S. Kaltenbrunner, M. Geiger, G. Bencina, R. "The reacTable"(Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC2005), Barcelona (Spain))

[11] Patten, J., Recht, B., Ishii, H. "Audiopad: A Tag-based Interface for Musical Performance"(Proceedings of Conference on New Interface for Musical Expression (NIME '02), (Dublin, Ireland, May 24 - 26, 2002))

[12] 学環えんがわワークショップ <http://engawa.ai.rcast.u-tokyo.ac.jp/>

[13] メディアエキスプリモ <http://www.mediaexprimo.jp/>

[14] Max/MSP <http://www.cycling74.com/products/maxmsp>

[15] TELEO <http://www.makingthings.com/teleo/>

[16] Jose Raul Azinheira, Ely Carneiro de Paiva, Samuel Siqueira Bueno "Influence of Wind Speed on Airship Dynamics" (Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol.25, No.6, November-December 2002)

[17] 山崎武志「小型飛行船の動特性について」(自律飛行船制御技術研究交流会「AFO'05 in Hakodate」)

[18] Horace Lamb "Hydrodynamics" (Cambridge at the University Press, 1930)

[19] 東昭「航空工学」(裳華房、1989)