2013-Interaction (13INT012)
2013/3/1

Flying Head: 頭部動作との同期による無人航空機の操作メカニズム

樋口 啓太[1,2,a)]　暦本 純一[1,3,b)]

概要：本研究では，人間の頭部動作と無人航空機（UAV）を同期する操作メカニズムを提案する．遠隔操作型ロボットは，遠隔コミュニケーションや災害救助支援などの分野において発展しており，操作性は重要である．UAV も遠隔操作型ロボットの一種であり，災害地の監視や映像コンテンツ撮影などの分野で運用されている．UAV を制御するためには複数の制御パラメータを同時に入力する必要がある．これまでの代表的な UAV の操作デバイスに，R/C プロポーショナルシステムやジョイスティックがあるが，複数のレバーやボタンを使用して機体を制御しなければならないため，正確な操作には長期の訓練が必要である．本研究では UAV 制御の入力操作として，人間の歩く，屈むといった身体動作を採用した．身体動作を利用することにより，前後左右への移動や回転といった制御パラメータを並列的に決定することができる．また，実際に身体を移動させるため，UAV の移動距離を身体感覚から見積もることができる．本手法の操作性検証として，静止オブジェクトと移動体を撮影する評価実験を実施した．検証の結果，ジョイスティックによる操作と比較したとき，本手法の方が有意に良好な結果を出した．最後に，本研究の成果を応用したアプリケーションについても議論した．

Flying Head: A Head Motion Synchronization Mechanism for Unmanned Aerial Vehicle Control

Keita Higuchi[1,2,a)]　Jun Rekimoto[1,3,b)]

Abstract: We propose an unmanned aerial vehicle (UAV) control mechanism, called a “Flying Head”, which synchronizes human head and robot motions. Previous telepresence research has centered on the use of robots that move along the ground using wheels or legs. Recently, telepresence research has expanded to include the use of remote flying robots. The accurate manipulation of such robots, is difficult, as their control typically involves hand-operated devices such as proportional R/C systems or joysticks. Using the Flying Head system, we can incorporate a robot control using human motions such as walking, looking around and crouching. Our system synchronizes the operator and UAV positions in terms of the horizontal and vertical positions and the yaw orientation. The operator can use the UAV more intuitively, as such manipulations are more in accord with kinesthetic imagery. The results of a user study shows that this method makes controlling the robot easier than with a joystick. In this paper, we also discuss flying telepresence applications such as capturing platforms, teleoperation, and sports training.

1 東京大学
The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo, Japan
2 日本学術振興会
Japan Society for the Promotion of Science, Chiyoda, Tokyo, Japan
3 ソニーコンピュータサイエンス研究所
Sony Computer Science Laboratory, Shinagawa, Tokyo, Japan
a) khiguchi@acm.org
b) rekimoto@acm.org

1. はじめに

遠隔操作型のロボットは遠隔コミュニケーション [1] や災害救助支援 [2] などの分野で発展している．遠隔操作型ロボットを有効に活用するために，テレプレゼンスの研究が進んでいる．テレプレゼンスの目的の中に，遠隔操作型ロボットを自分の体のように扱うというコンセプトがあ

© 2013 Information Processing Society of Japan

り，Fernando らは，オペレータの身体により直接操作する，ヒューマノイドロボットを開発した [3].

無人航空機（UAV）は遠隔操作型ロボットの一種であり，空中を移動するため路面環境に依存せずに運用することができる．2011 年の東日本大震災では，遠隔操縦されたヘリコプタが福島第一原発の状況を撮影した．また，UAV に搭載されたカメラで撮影した映像から 3 次元再構成をするための研究も盛んになりつつある [4].

しかし，UAV は複数の制御パラメータを同時に操作しなければならないため，安定した運用は地上移動型のロボットよりも難しい．現状の UAV は，R/C プロポーショナルシステムやジョイスティックなど，手動のデバイスにより操作される．このような操作デバイスでは，複数のレバーやボタンを同時に操作しなければならない．また，レバーの操作量に対して，UAV が実際に移動する距離を把握することは難しい．そのため，正確に操作できるようになるためには，長期の訓練を必要とする．

本研究では頭部動作との同期による UAV の操作メカニズムである “Flying Head” を提案する（**図 1**）．本メカニズムは人間の歩行，見回す，屈むといった身体動作を UAV の操作として取り入れることにより，直感的な操作を実現する．本研究は人間と異なる身体性を持つ UAV を，オペレータが自分の体のように操作できる “Flying Telepresence” を目的としている．Flying Telepresence の実現のためには，UAV を身体動作により操作するための環境と，オペレータと UAV 間にある身体性のギャップを埋める手法が必要である．

本研究では Flying Head のプロトタイプシステムを構築した．オペレータの移動や回転を UAV への制御パラメータに変換する操作方法を実現した．本システムはカメラを搭載した UAV と，オペレータに映像を提示するヘッドマウントディスプレイ（HMD），位置を測定するための光学式モーションキャプチャから構成される．人間と UAV の身体性ギャップを埋めるために，一部の操作においてデバイスを併用し，UAV の遅延を提示するための技術を開発した．Flying Head メカニズムの操作性検証のために，2 つの評価実験をした．比較対象としては UAV 操作デバイスとして代表的なジョイスティックを選択した．その結果，2 つの実験とも Flying Head が有意に良好な結果を得た．最後に，開発したプロトタイプシステムの制限事項と解決案，本操作手法が有効なアプリケーションを議論した．

2. Flying Head メカニズム

Flying Head は，オペレータと UAV の動作を同期させる操作メカニズムである．オペレータは HMD を装着し，身体動作により UAV を操作する．身体動作は歩行や，屈む，見回すといった，日常で使われる自然な動きである．オペレータが歩行したときの移動距離を UAV の移動量にマッピングする．また，オペレータが屈んだときに UAV を下降し，オペレータが振り向いたときに UAV が回転する．

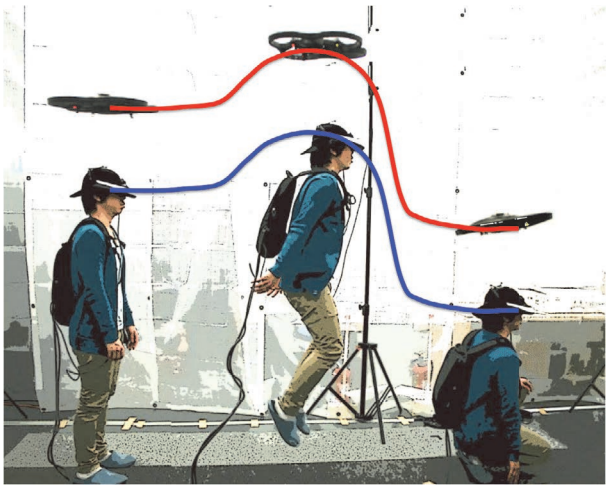

図 1 Flying Head メカニズム: 無人航空機（UAV）をオペレータの身体動作により操作する

2.1 身体動作による操作の優位性

Flying Head メカニズムによって身体動作で UAV を操作する利点を以下に示す．

- 複数の制御パラメータを頭部動作で同時に決定できる
- 身体感覚から移動量を見積もることができる

オペレータの歩行や見回し，屈むなどの身体動作に伴う頭部の移動により UAV の制御パラメータを決定できる．UAV には複数の制御パラメータがあるため，デバイスなどで同時に決定することは難しい．対して，人間は歩きながら周囲を見回すなど，複数の身体動作を同時にできるため，複数の制御パラメータを並列に決定することができる．

乗り物や遠隔ロボットを操作するとき，操作量に対して実際の移動量がどの程度変化するのかを見積もることは難しい．レバーを押し込む操作が，ロボットの移動にどの程度マッピングされているかを知るためには，訓練が必要なためである．Flying Head は人間の移動距離を，UAV の移動距離にマッピングすることができるため，オペレータは移動した際の身体感覚から，容易に UAV の移動した距離を見積もることができる．

2.2 身体性のギャップ

人間と UAV は，それぞれ異なる身体性を持つため，オペレータが自分の体のように UAV を操作するためには，解決しなければならない問題がある．例えば，UAV の飛行可能高度は人間の身長よりも高いため，単純な頭部位置とのマッピングでは，UAV の性能を活かすことができない．また，身体動作で操作する場合，UAV が動作に対して遅延するため，操作の阻害となってしまう場合がある．本研究では身体性ギャップが存在していても操作できるよう，別の操作方法と組み合わせることや，遅延を明示的に

© 2013 Information Processing Society of Japan

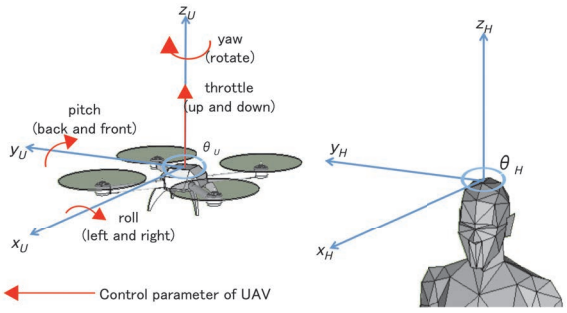

図 2 Flying Head の操作モデル：オペレータの頭部位置姿勢を UAV の制御パラメータ（*pitch*, *roll*, *yaw*, *throttle*）に変換する

提示する方法を採用した．

3. プロトタイプシステム

Flying Head のプロトタイプシステムは，オペレータの頭部と UAV の x, y, z 座標，yaw 角を同期させる（**図 2**）．プロトタイプの目的は，人間の移動量と UAV の移動量が 1 対 1 でマッピングされる環境を構築することで，本手法の有効性を検証するためである．また，人間と UAV の身体性のギャップを埋める手法を実現した．本システムでは，身体動作とデバイスを併用することで，オペレータの身長を超えた高度に UAV を移動させることができる．また，オペレータに UAV の遅延を通知するために，映像の形状変形による遅延提示を実現した．

図 3 にプロトタイプシステムの構成を示す．本システムは，カメラを搭載した UAV と，オペレータに装着したヘッドマウントディスプレイ（HMD），位置を測定するための光学式モーションキャプチャから構成される．オペレータと UAV に取り付けられた再帰性反射材マーカを 8 台の赤外カメラにより撮影し，位置を計算している．本システムではオペレータと UAV，それぞれの移動可能範囲を 3 m × 1.5 m に設定している．また，UAV は最大 2.8m まで上昇することができる．

3.1 UAV

本システムでは，UAV として Parrot 社のクアッドコプタである AR. Drone を採用した．クアッドコプタは，4 枚の回転翼を持つヘリコプタであり，それぞれの回転翼の出力を調整することで，安定かつ柔軟な飛行を実現することができる．AR. Drone は前方と下方にカメラを搭載しており，Wi-Fi 経由で毎秒 30 フレームの QVGA（320×240）映像を送信できる．AR. Drone の上部に再帰性反射材マーカを取り付けることで，x, y, z 座標および姿勢情報を取得している．

AR. Drone には *pitch*, *roll*, *yaw*, *throttle* という 4 つの制御パラメータがあり，Wi-Fi で接続したコンピュータから 30ms ごとに制御命令を受け取る．*pitch* は前後移動の

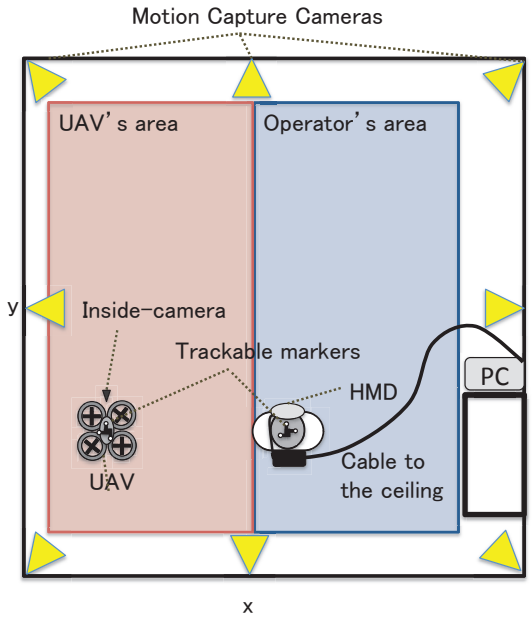

図 3 プロトタイプシステム環境：UAV とヘッドマウントディスプレイ（HMD），8 台のモーションキャプチャカメラから構成される

パラメータであり，*roll* は左右移動のパラメータである．*yaw* はその場での回転をするための制御パラメータであり，*throttle* は上下移動のためのパラメータである．

3.2 HMD への映像提示

オペレータは UAV が撮影した映像をリアルタイムで見るために，HMD を装着する．HMD としては，Sony HMZ-T1 を採用した．HMD は 12m のケーブルでコンピュータと接続されている．ケーブルはオペレータの身体動作の阻害にならないように，天井を通して接続されている．さらに，オペレータの頭部位置を計測するために，再帰性反射材マーカを頭頂部に取り付けた．

3.3 水平方向への移動制御

本システムはオペレータが移動したとき，その位置 (x, y, z) と方向（θ）を，UAV の位置と方向に同期する．水平方向を同期するために *pitch*，*roll*，*yaw* の 3 つの制御パラメータを計算する．時間 i において，本システムは HMD の位置姿勢 H_i と UAV の位置姿勢 U_i から，その差分 D_i を計算する．

$$\mathbf{H}_i = \{x_i, y_i, \theta_i\} \quad (i = 0..n) \tag{1}$$

$$\mathbf{U}_i = \{x_i, y_i, \theta_i\} \quad (i = 0..n) \tag{2}$$

$$\mathbf{D}_i = \mathbf{H}_i - \mathbf{U}_i \tag{3}$$

pitch，*roll*，*yaw* は以下のように計算する．

$$\begin{pmatrix} pitch \\ roll \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cos\ \theta_U & sin\ \theta_U \\ -cos\ \theta_U & sin\ \theta_U \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_D \\ x_D \end{pmatrix} \tag{4}$$

© 2013 Information Processing Society of Japan

$$yaw = \frac{\theta_D}{\pi} \tag{5}$$

UAV の位置を高速に収束させるために，式 6 から UAV の一定時間後の位置を推定する．求めた未来位置が目的とする位置を通り過ぎる場合には，式 8 により制御パラメータを変更する（C は定数）．

$$\mathbf{F}_{i+1} = \mathbf{U}_i + (\mathbf{U}_i - \mathbf{U}_{i-1})\Delta t \tag{6}$$

$$pitch = -pitch \times C \tag{7}$$

$$roll = -roll \times C \tag{8}$$

3.4 高さ方向の制御

オペレータの身長を超えた位置への UAV 移動を実現するために，頭部運動による制御と，デバイスによる制御という 2 つの手法を組み合わせる．頭部運動による制御では，オペレータの頭部位置と UAV の高さが同じになるように移動する．オペレータが 20cm 屈めば，UAV も 20cm 下降するため，オペレータ自身の身体感覚により操作することができる．しかし，この方法ではオペレータの身長を超えた位置には UAV を移動させることができない．そのため，デバイスによる高さ制御と併用することで，身長を超えた位置にも移動させつつ，身体感覚を使った制御も可能にする．

デバイスのボタンを操作することにより UAV を上下移動させることができる．デバイスには Wii リモコンを採用し，Bluetooth 経由でコンピュータに命令を送信する．デバイスが指定する初期の高さ h_d は 0 であり，Wii リモコンの上下矢印キーを操作することで値が変化する．オペレータの身長を h_s，オペレータの現在の頭の高さを h_o とするとき，目標とする高さ h_g は式 9 のように計算される．

$$h_g = h_d + h_s - h_o \tag{9}$$

UAV の高さ方向の制御パラメータ $throttle$ は h_g と現在の UAV の高さ h_c から，式 10 のように計算される．

$$throttle = h_g - h_c \tag{10}$$

3.5 遅延提示

本システムは，オペレータに UAV の移動がどれだけ遅れているかを知らせるために，HMD に表示される映像の形状変形によって遅延を提示する．UAV の移動制御は，オペレータの移動に続いて開始するため，オペレータの位置と UAV の位置に遅延が発生してしまう．遅延はオペレータが操作する上で，正確な制御の阻害になるといわれている．しかし，物理的なオブジェクトを移動させるため，遅延は完全になくすことはできない．そのため，本研究では提示する映像を遅延状態に合わせて変形させた．

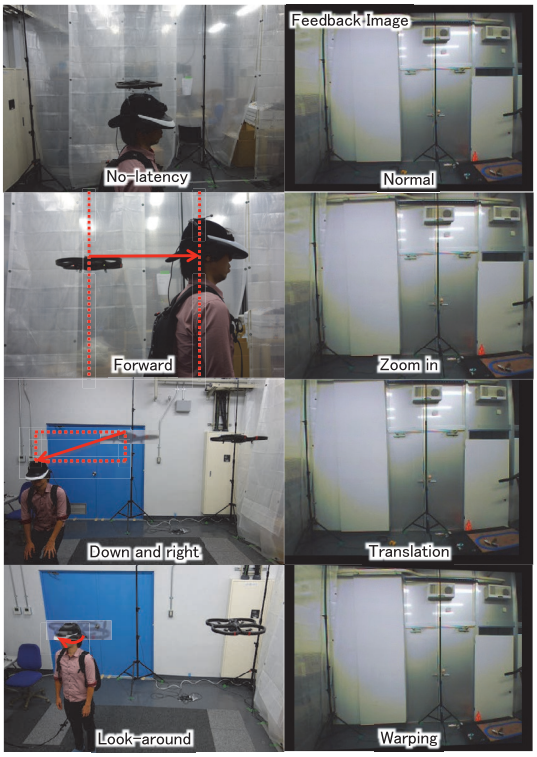

図 4 遅延提示手法: オペレータの動作に対し発生する UAV の遅延を映像の変形により提示する

図 4 に映像変形による遅延提示を示す．オペレータと UAV が同じ位置にいるときは画像を変形せず，遅延が発生しているときのみ変形させる．オペレータが UAV の位置よりも前にいる場合には画像を拡大し，後ろにいる場合は画像を縮小する．左右上下への遅延は，画像位置を移動することにより表現する．図 4（Warping）のように，yaw 回転の遅延は，画像を横方向に回転させている．複数の遅延が発生している場合には，拡大縮小，移動，回転を組み合わせて提示している．

4. 評価実験

Flying Head メカニズムの操作性検証のために評価実験をした．本手法は UAV による撮影を実現するための操作メカニズムであるため，2 つの撮影実験を実施した．比較対象として UAV 操作デバイスとして代表的なジョイスティックを採用した．実験 1 は，空間中に取り付けられた 4 つのマーカを撮影する実験である．実験 2 は，移動体に取り付けられたマーカを撮影し続ける実験である．被験者は 6 人（年齢 23-25 歳，身長 161-175cm）で 2 つの操作手法で，2 つの実験をそれぞれ実施した．6 人のうち 3 人は Flying Head を最初に実験した．他の 3 人は先にジョイスティックを実験した．

ジョイスティックは 1 つのレバーと，いくつかのボタンで UAV を操作する．提案手法と公正に比較するため，ジョイスティックの操作により UAV の目標座標を移動させる

© 2013 Information Processing Society of Japan

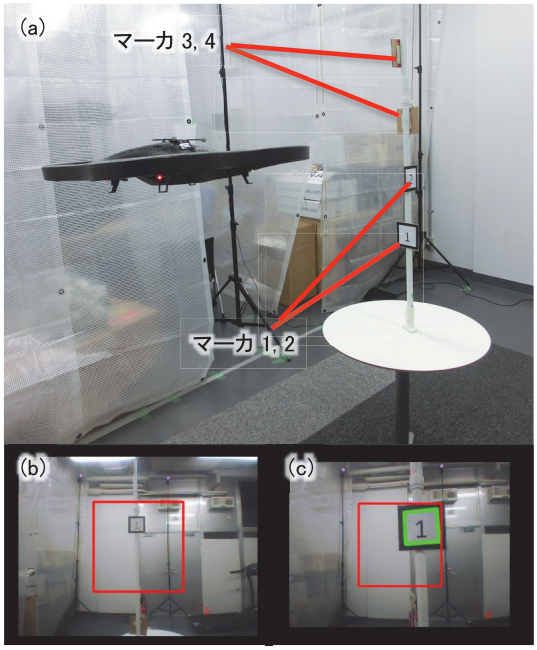

図 5 実験 1 の環境: 被験者は Flying Head とジョイスティック，2 つ操作手法により設置されたマーカを撮影する．4 つのマーカを撮影するまでの時間を測定した

ことで，3.3 章と同様の制御をした．従って，コンピュータが UAV を安定して飛行させるための支援をしている．被験者はジョイスティックによる操作の際も，HMD を装着した．また，遅延提示も Flying Head と同様に与えた．

4.1 実験 1:静止したマーカの撮影

実験 1 は，遠隔地における探索タスクを想定しており，捜索対象の位置が不明な状況での発見速度を計測している．本実験は 4 つのマーカを撮影するまでのタスク完了時間を，それぞれの手法で 3 セッションずつ計測した．**図 5** (a) のように，天井に伸びたポールの周囲に反時計回りで 1 から 4 までのマーカが配置されている．被験者はそれぞれの操作手法により，マーカを数値順に撮影する．マーカが配置される高さは事前に知らされておらず，それぞれのセッションで異なる高さで 80 から 230cm の間に設置した．実験 1 はそれ以降に比べて難易度が簡単なマーカ配置にし，実験 2,3 は難易度が同様になるよう配置した．図 5 (b) のように，被験者に提示される映像中には四角い枠があり，その枠内に一定以内の距離からマーカを撮影することで，マーカを認識し，次のマーカの撮影に移行する．図 5 (c) はマーカが認識されたときの様子である．

4.2 実験 1 の結果と考察

図 6 に実験 1 の結果を示す．3 セッションすべてにおいて，Flying Head メカニズムの方がタスク完了時間が短かった．本手法の 3 セッション平均時間は 40.8 秒となり，ジョイスティックの平均時間 80.1 秒と比較して，約半分の時間だった．それぞれの被験者の 3 セッション平均値から

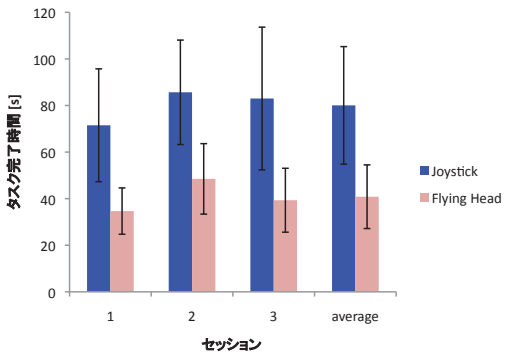

図 6 実験 1 の結果: タスク完了時間は短い方が良い結果である．グラフのエラーバーは標準偏差を示している

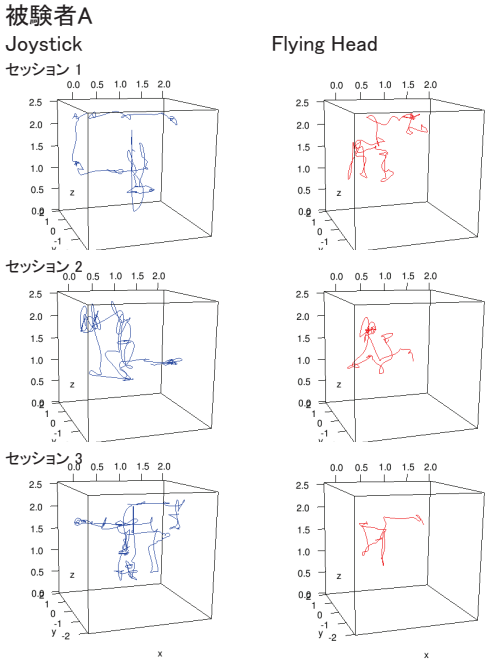

図 7 実験 1 における UAV 移動経路の比較

t 検定をした結果，p 値が 0.007 となり，本手法の方が有意にタスク完了時間が短かった．

図 7 に実験 1 での UAV の移動経路の比較を示す．ジョイスティックでは直線的な移動が多く，各セッションにおいてあまり長さが変化していない．これは，ジョイスティックでは複数のパラメータを同時に操作することは難しいことを示している．本手法では前後移動や上下左右が組み合わさった経路となっており，セッションを重ねるごとに経路が短くなっている．これは，本手法では複数の制御パラメータを同時に入力することが容易であり，セッションごとにユーザが操作に慣れてきていることを示している．

4.3 実験 2:移動体の撮影

実験 2 はスポーツシーン撮影などの，撮影する対象が移動している環境での撮影能力を計測するのが目的である．本実験では，移動体に取り付けたマーカを UAV 搭載カメ

© 2013 Information Processing Society of Japan

図 8　実験 2 の環境: 被験者はプラレールの周回コースを移動する車両に取り付けられたマーカを撮影する．Flying Head とジョイスティックの両手法で実験をし，マーカの撮影成功率を比較した

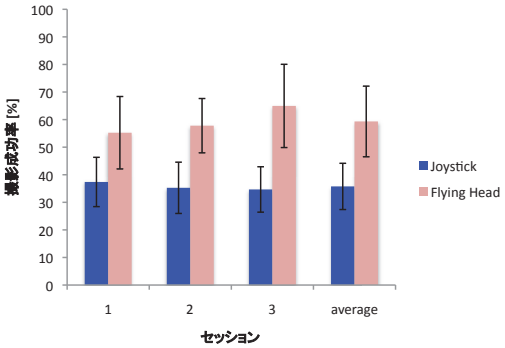

図 9　実験 2 の結果: マーカ撮影成功率が高い方が良い結果である．グラフのエラーバーは標準偏差を示している

ラにより撮影することができた時間を比較した．**図 8**（a）のように，プラレールの周回コースを走る車両にマーカを設置し，UAV でマーカを追跡するように撮影する．実験では，プラレールが 5 周する間にどれだけ撮影することができたかを，3 セッション測定した．撮影成功率 P_s は各セッションの実験時間 T_{all} と，実際に撮影できた時間 T_s から，式 11 のように求めた．

$$P_s = \frac{T_s}{T_{all}} \tag{11}$$

撮影時間の評価は記録した映像から目視で評価した．図 8（b）のようにマーカが映像中に移っているときは，撮影成功とし，図 8（c）のようにマーカが完全には映っていないときは撮影失敗とした．コースの全長は 221cm であり，プラレールは秒速約 13.8cm で移動するため，各セッション約 80 秒である．被験者はセッションが始まる前の 3 周の間にスタート位置を決定する．

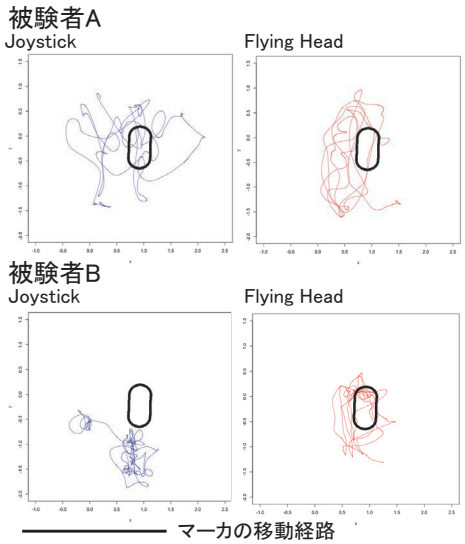

図 10　実験 2 における UAV 移動経路の比較（グラフは上方から見た移動経路）

4.4　実験 2 の結果と考察

図 9 に実験 2 の結果を示す．Flying Head メカニズムはジョイスティックと比較して，高い撮影成功率となっている．本手法における 3 セッションの平均は 59.3% となり，ジョイスティックは 35.8 %という結果になった．各被験者の 3 セッション平均値を t 検定したところ，p 値は 0.012 となり，本手法が有意に良好な結果であったといえる．

図 10 は実験 2 における UAV の移動経路である．本手法では，プラレールの周回経路に沿って UAV を移動させることができていることがわかる．ジョイスティックでは，プラレールの周回経路から大きく外れたルートを通ったり，スタート位置からほぼ動かったりとなっている．この結果から，本手法の方が容易に UAV の位置や方向を決定できていることが示唆される．

本手法では，多くの被験者がセッションを重ねる毎に，撮影成功率が上昇した．一方，ジョイスティックではセッションを重ねても撮影成功率が変わらない，もしくは低下することが多かった．本実験では移動体を撮影するため，1 セッション目より以降のセッションの方が，UAV の適切な移動経路を理解した上で操作することができる．本手法では UAV を思い通りに操作できたため，結果がセッションを重ねる毎に良好になっているのだと考えられる．ジョイスティックでは理想の移動経路を辿ろうとすると，操作に混乱が生じてしてしまい 2，3 セッションの方が結果が悪くなってしまう場合があったと考えられる．

4.5　アンケート

各操作手法を被験者の主観的な観点から評価するために，アンケートを実施した．アンケートのタイミングはそれぞれの操作手法による実験が終了したときである．質問項目は **表 1** に示す 8 つであり，1 から 5 の 5 段階で評価

© 2013 Information Processing Society of Japan

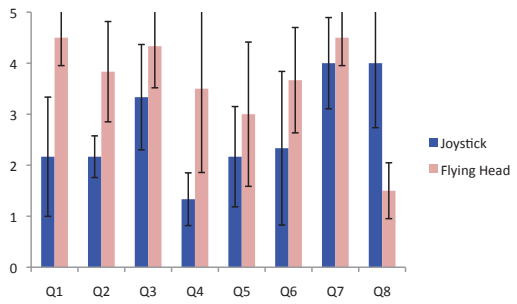

図 11 アンケートの結果: 各質問項目は 1 から 5 のスコアで評価した．すべての質問項目において高いスコアが良い結果である．グラフのエラーバーは標準偏差を示している

表 1 質問項目

Q1	操作は単純でしたか?
Q2	思い通りに操作できましたか?
Q3	評価実験 1 は簡単でしたか?
Q4	評価実験 2 は簡単でしたか?
Q5	遅延提示は適切だと思いましたか?
Q6	遅延は操作の邪魔になりましたか?
Q7	実験は楽しかったと感じましたか?
Q8	実験は疲れませんでしたか?

した．すべての項目において，数値が高いほど良好な結果である．**図 11** にアンケートの結果を示す．

アンケート Q8 の結果から Flying Head では，オペレータは疲労を感じていたことがわかった．本手法はデバイス操作に比べて運動量が大きくなるため，長時間の使用には向かない可能性がある．そのため，本手法は他の操作方法と併用するべきである．本手法は人間の細かい判断が必要なときに有効であるため，決められた目的地への移動をする場合には，その他の手法に切り替えることでオペレータの疲労を抑えられると考える．

5. 議論

本章では現状のプロトタイプシステムの制限事項とその解決案，Flying Head メカニズムによる UAV 操作が有効なアプリケーションについて議論する．

5.1 制限事項

屋外環境においては光学式モーションキャプチャを利用できないため，他の位置測定技術を導入しなければならない．今後は GPS や ultra-wideband による位置測定を可能にして，屋内外問わず本手法を利用できるようにしたい．また，前方と下方に設置されたカメラやセンサ情報から UAV の移動量を推定することによっても，本手法を環境に依存せずに実現することができる．

本研究では，同一の部屋で移動量のマッピングが 1 対 1 のときの操作性を検証した．しかし，遠隔地の監視やスポーツ撮影においては，移動量を 1 対多でマッピングするべき場面も存在する．例えば，UAV の方がオペレータよりも広い空間にいる場合には，オペレータが 1m 移動したときに，UAV が 3m 移動しなければならない場面もある．さらに広大な環境では，本手法と移動範囲に制限のない操作手法を切り替えながら操作可能にする必要がある．

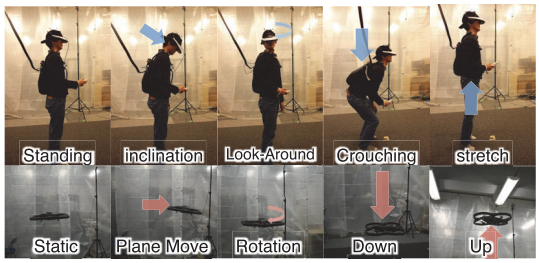

図 12 Flying Head と組み合わせる操作手法: この手法では人間の頭の傾きを UAV の移動にマッピングしている

5.2 頭部動作と連動するもうひとつの操作手法

そのため，Flying Head と組み合わせることができる操作手法のひとつとして，人間の頭の傾きをヘリコプタの移動にマッピングする手法を開発した．本手法は Wii リモコンの A ボタンを押すことで，Flying Head と切り替えながら UAV を操作することができる．図のように，切り替えた最初の位置より人間が前方に体を傾けると，UAV が前進する．最初の位置より，頭を上下することで，UAV を上下方向に移動させることができる．また，人間の向いている方向（*yaw*）は，Flying Head と同じように同期される．本手法ではヘリコプターの位置を測定する必要がないため，UAV の移動範囲に制限がない．また，*yaw* 角の同期は UAV に搭載されたジャイロや電子コンパスで実現できる．そのため，UAV の位置測位ができる環境では Flying Head を，位置測位できない環境では本手法を利用するという運用も可能である．

5.3 撮影プラットフォーム

VR システムにおいては仮想カメラの位置と方向を，直感的に決定する方法が研究されている．Ware らは手に持った仮想カメラによって，仮想世界のカメラ位置姿勢を決定した [5]．映像産業では，コンピュータグラフィックスのカメラワークを，実際のカメラ型のデバイスを操作することにより決定している．以前，著者らは UAV により現実世界で空間的な制約のないカメラワーク実現に関する研究をした．その研究により，自律飛行の UAV により撮影対象を追跡しながら撮影することを実現した [6]．しかし，実際の映像撮影においては，どのようなカメラワークで撮影するかは人間が決定する必要がある．本システムを UAV による自律撮影と組み合わせることにより，単純なシーンは自律的に，複雑なシーンは人間の身体動作により撮影するといった，新しい映像コンテンツ制作が可能になる．

© 2013 Information Processing Society of Japan

5.4 遠隔地での作業

遠隔ロボットが活躍する代表的な場面として，被災地における救難活動の支援がある．クレーン型やハンド型のマニピュレータにより，オペレータは遠隔地からロボットを操作し，捜索活動をすることができる．通常，UAV にはマニピュレータはついていないため，障害物の除去などはできない．Lindsay らは，UAV に小型のクレーンを取り付けることにより，UAV による構造体構築のデモを可能にした．今後，UAV にマニピュレータが取り付けらることになれば，Flying Head では体の移動と首の動きで移動を実現できるため，移動とマニピュレータの操作を平行作業することが可能だと考える．

5.5 エンターテインメントとスポーツトレーニング

Flying Head は体外離脱体験のように，自分の体を外側からみることもできる．TEDxUTokyo における Flying Head の展示において，50 人以上の観客が体験した．多くの体験者が，UAV のカメラが自分の後ろ姿を撮影した映像を HMD で見たときに「自分の姿を客観的に見るという体験はいままでしたことがない」という感想を話していた．本手法による UAV 操作体験の新しさから，エンターテインメントを提供できる可能性がある．

Flying Head によりスポーツトレーニングを支援することも考えられる．競技者が鏡やビデオを用いて自分の姿を確認しながら，トレーニングをすることは一般的である．本システムを用いれば，UAV が競技者を任意の視点から撮影し，自分の姿をリアルタイムに確認するというトレーニングも実現できる．また，サッカーなどのチーム競技のトレーニングにおいて，UAV で撮影した上空からの俯瞰視点を複数人で共有することにより，フォーメーションチェックなどのトレーニングが可能になる．

6. 関連研究

UAV の操作系に関する研究は，近年盛んになりつつある．吉田らはジェスチャによる UAV の操作手法を提案している [7]．これらの研究はデバイスのボタンやレバーなどへの入力を，ジェスチャにマッピングしている．Quigley らは UAV の制御パラメータを操作するための方法として，PDA やジョイスティック，音声認識や模型コントローラなどを評価した [8]．模型型コントローラは UAV の移動方向を直感的に決定できるが，移動距離などの操作量を推測することが難しい．Vries らは頭部運動追随型カメラを取り付けた UAV を開発した [9]．Giordano らは CyberMotion simulator により座席を動かすことで，UAV の移動状態をオペレータに提示することを可能にした [10]．本研究では，オペレータの身体動作により動いた位置や姿勢を UAV の制御パラメータに直接変換している．そのため，訓練なしでも UAV を思い通りに操作することができる．また，本研究では移動に伴う身体感覚や映像の変形により，UAV の移動状態と遅延をオペレータに提示することができる．

7. まとめ

本研究では，頭部動作と UAV を同期させる操作メカニズムである Flying Head を提案した．オペレータは身体動作を使って操作することができるため，UAV の持つ複数の制御パラメータを並列に決定することができる．また，身体感覚から UAV の移動量を簡単に見積もることができる．本研究では，オペレータと UAV の身体性ギャップを埋めるための手法を実現した．2 つの撮影実験により，Flying Head の有効性を示した．本研究の成果により，人間とは異なる身体性を持つ UAV を，オペレータが自分の体のように操作できるメカニズムを実現できた．

謝辞 本研究は，日本学術振興会特別研究員奨励費 24-10424 の助成を受けた．塩崎光氏には実験環境に関する助言を頂いた．

参考文献

[1] Lee, S.: Automatic gesture recognition for intelligent human-robot interaction, *Automatic Face and Gesture Recognition, 2006. FGR 2006. 7th International Conference on*, Ieee, pp. 645–650 (2006).

[2] Kamegawa, T., Yamasaki, T., Igarashi, H. and Matsuno, F.: Development of the snake-like rescue robot, *Robotics and Automation, 2004*, Vol. 5, pp. 5081–5086 (2004).

[3] Fernando, C. L., Furukawa, M., Kurogi, T., Hirota, K., Kamuro, S., Sato, K., Minamizawa, K. and Tachi, S.: TELESAR V: TELExistence surrogate anthropomorphic robot, *SIGGRAPH 2012 Emerging Technologies* (2012).

[4] Wendel, A., Maurer, M., Graber, G., Pock, T. and Bischof, H.: Dense reconstruction on-the-fly, *Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1450–1457 (2012).

[5] Ware, C. and Osborne, S.: Exploration and virtual camera control in virtual three dimensional environments, *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 24, No. 2, ACM, pp. 175–183 (1990).

[6] Higuchi, K., Ishiguro, Y. and Rekimoto, J.: Flying eyes: free-space content creation using autonomous aerial vehicles, *Proceedings of the 2011 annual conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, ACM, pp. 561–570 (2011).

[7] 吉田成朗，鳴海拓志， 橋本直，谷川智洋，稲見昌彦，五十嵐健夫，廣瀬通孝：ジェスチャ操作型飛行ロボットによる身体性の拡張，インタラクション 2012.

[8] Quigley, M., Goodrich, M. and Beard, R.: Semi-autonomous human-UAV interfaces for fixed-wing mini-UAVs, *Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, Vol. 3, IEEE, pp. 2457–2462 (2004).

[9] Vries Sjoerd C, P. P.: Steering a simulated unmanned aerial vehicle using a head-slaved camera and HMD: effects of HMD quality, visible vehicle references, and extended stereo cueing, *Proc. SPIE*, Vol. 3362, pp. 80–91.

[10] Giordano, P., Deusch, H., Lächele, J. and Bülthoff, H.: Visual-Vestibular Feedback for Enhanced Situational Awareness in Teleoperation of UAVs, *66th Annual Forum and Technology Display* (2010).

© 2013 Information Processing Society of Japan