

固定されている事により、即時的、且つ相互作用的な行為が要求されるスポーツ体験を創造することはできない。

2 システム説明

市販されているドローンの一人称視点システムにおける遅延は重大な問題ではない。しかし、ドローンに乗り移って飛行しているかのような経験をする時、撮影された両眼立体視の映像が地上にいるユーザに即時性を伴いフィードバックされる必要がある。また、ユーザが自発的な動きによってドローンを制御しているという感覚を得るため、地上にいるユーザの頭部の位置と方向は、正確にドローンの動きと一致している必要がある。視覚情報の伝送（ストーリーミング）システムにおける目標は、能動的な視点移動、運動視差、両眼立体視のように、通常の人間の視覚に相当する視覚情報を提供する事である。

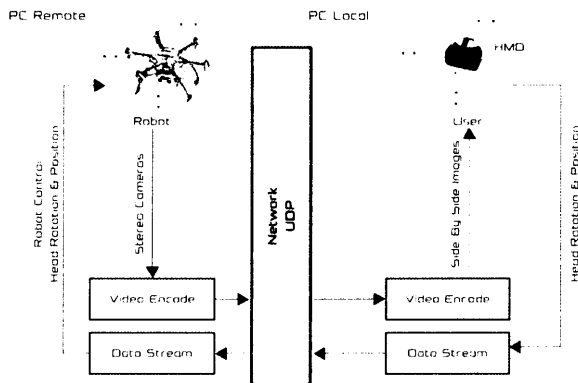


Fig.2 システム・ブロック図

Figure 2は、飛行型トレイグジスタンスシステムの全体的なシステム構成を示している。被写界深度 (DoF (Tilt)) ロボットヘッドは、ヘキサローターのドローン (型番: DJI F550 Flame Wheel ARF) に搭載されている。空からの広い視野 (Field of View: FoV (HV: 128×72))、[9]を撮影するため、広角レンズ (x0.5) を装着した2つのUSBカメラ (型番: Logitech C615) を用いている。視覚情報伝送システムの構成は、ドローンに搭載されたオンボードPC (Intel NuC D53427RKE) によって30FPSの速度で取得され、H.264で符号化した後、GStreamerの伝達経路を用い地上のユーザに送り返される。本システムで構成されている要素の全てが100mの範囲内に存在している時、ビデオにおける1周期の遅延は150ミリ秒であると測定される。ユーザの動きがOculus DK2 (位置、方向) から取得され、高度、ロール、ピッチ、パン、ティルト (1 DoF ロボット) を制御するため、PPS (Pulse Per Second) 信号としてドローンに送られる。市販されている高出力の無線LANルータ (型番: WZR-1750DHP, IEEE802.11ac ch110, BW: 40MHz, Burst: 600Mbps) は、ドローンに同一線上に搭載された5GHzの2つのアンテナから送信されたデータを受信するために使用されている。オンボードPC、25分間の飛行を行うための電池や電源供給源を運ぶ事を目的とし、本システムは特殊なモータ、カーボンファイバー製プロペラ等によって変更された。本システムは4.0kgのペイロードを持ち上げる事が可能であり、現在のシステムにおける総ペイロードは3.3kgであると計測されている。本システムの設計や構造の検証のため、3DCADソフトウェアを用いモデリングを行った。Figure 3はどのようにモデリングが行われたかを示している。

3 空中スポーツ体験

前章で説明した様に、飛行ユニットは、ユーザの動きに応じ、従う事ができる。Figure 4(a)Drone Ping-Pong, (b)Earthlon,

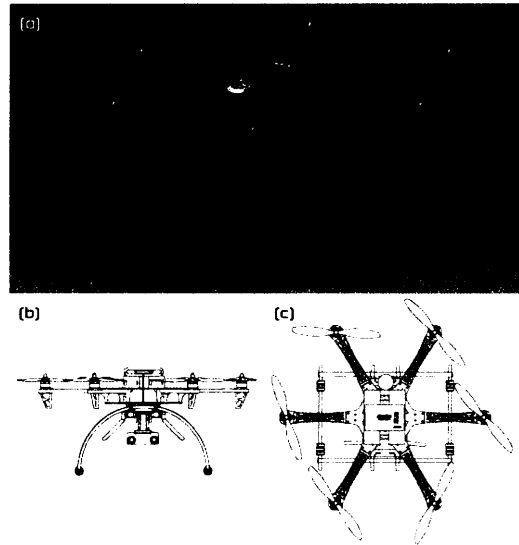


Fig.3 Telexistence Drone システム設計 (a) レンダリング・モデル (b) アウトライン・モデル (ダイアゴナル・ビュー) (c) アウトライン・モデル (トップ・ビュー)

(c)Aerial Ball では、空中スポーツにおける3種の競技コンセプトを示す。

3.1 Drone Ping-Pong

例えば、1対1で行われる地上スポーツとして、卓球が挙げられる。卓球はユーザが卓球台を挟むような形で存在し、ユーザは片手でラケットを持ち、ラケットでピンポン球を打つスポーツの競技である。相手ユーザが左右に打ち分ける球を、ユーザは卓球台の端を左右に動き回ることによって球に追いつき、打ち返すことができる。空中スポーツに置き換えると、「Drone Ping-Pong」が考えられる。飛行型トレイグジスタンスロボット同士の場合、ユーザの手は使わず飛行ユニットに取り付けられたラケットのみで球を打ち返す。飛行ユニットは左右だけでなく、垂直方向への移動も可能であったり、その他環境が多様に変化したりする事で、ユーザだけでなく、観客にとってもエキстрイムな体験ができる。また、飛行型トレイグジスタンスロボットとユーザが協力する卓球の場合、プレイの幅が広がるだけでなく、従来不可能であったような戦術によって試合が展開される可能性を示唆している。

3.2 Earthlon

トライアスロンは、1人のユーザが1つの試合の中で、自転車、水泳、長距離走の3つの異なるステージをプレイし、合計の時間で他の選手と競争するものである。トライアスロンの概念に類似している様な「Earthlon」は、1つの試合の中で異なるステージが存在し、1人のユーザが長距離走と飛行をそれぞれするために、人間とドローンとが協力する空中スポーツである。前半部分ではユーザが通常のレースの様に自身の足を使い、地上で走る。後半部分では空中に設計されたコースを通り、ゴールに向かって飛行するため、ユーザのTelexistence Droneを利用する。空中に設計されたコースを通るために、速さ、且つ正確さが要求される。ユーザは、地上で見える事のできる街並みと空中からの景観をそれぞれ楽しみながらプレイする事が可能となる。

3.3 Aerial Ball

ドローンは自らの機体を浮上させ自由に飛行する事を可能にする揚力を得るため、機体の上方から空気を取り込み、下方に対して吐き出す。この原理を利用し、球体状のプロペラガードを装着したドローンに対しユーザがボールを投げ、プロペラガードの表

面に吸い付かせる。「Aerial Ball」とは、1人のユーザが、自身の手足を有効に使いながら、乗り移ったドローンでもプレイし、相手の身体とドローンの妨害を避けながらゴールへとボールを運ぶ空中スポーツである。従って、ドローンがボールを運搬する時、自らの機体のみでボールを保持する事となる。スポーツを行うためのフィールドの中において、ボールを保持しながら自由に移動する事が可能となる。さらに、ボールを投げるユーザが HMD を装着し、ビデオシースルービューとドローンビューを切り替えながら、ユーザの頭部動作でドローンを操作する事によって、地上と空中を行き来する様な、フィールドを大きく使った白熱した試合展開が予想される。

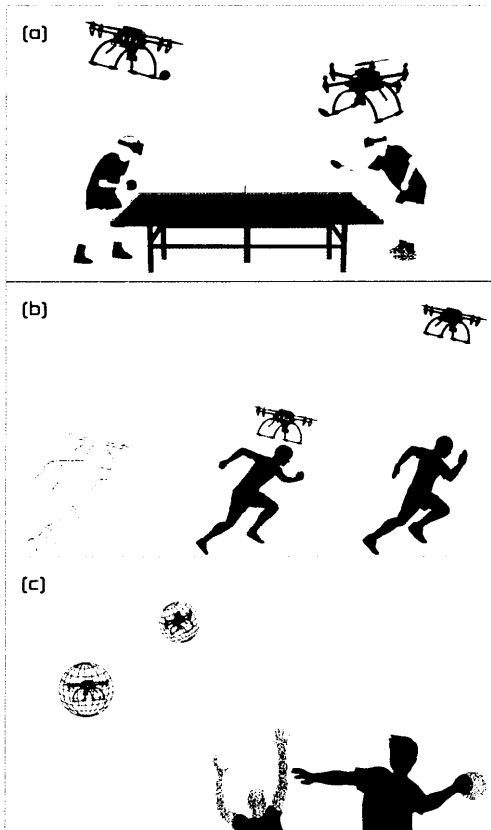


Fig.4 空中スポーツ・コンセプト (a)Drone Ping-Pong (b)Earthlon (c)Aerial Ball

3.4 ユーザテスト

本システムは、初期段階にある。しかしながら、Figure 5 で示した試験飛行は、システムの性能、並びにドローン飛行体験を評価するために実施した。

試験飛行中、ユーザの自然な動きでドローンを制御し、要求された経路の中で駆動する事ができた。前章で述べた様に、本システムで構成されている要素の全てが 100m の範囲内に存在している時、ビデオにおける 1 周期の遅延は 150 ミリ秒である。しかし、本システムにおける視覚情報の遅延は、飛行体験をする上で許容されるという意見を得る事ができた [12]。

4 考察

空中スポーツを楽しむためには、飛行ユニットを自由に制御しながら、安全にプレイできる様なシステムが要求される。ユーザテストを行った結果を受け、以下のような 2 つの問題点が挙げられる。



Fig.5 システムを用いたユーザテスト

- 安全面への配慮
- 環境による影響

空中スポーツを行う際、人や物との接触、若しくは至近距離への接近をする様な局面が想定される。現在、プロペラガードが設計されていないため、ドローンと人やドローン同士の接触、フィールドや観客への衝突等により、人や物を損傷させる事が考えられる。従って、人や物の近くで飛ばす事は非常に危険である。これではスポーツへの応用だけでなく、あらゆる局面においてドローンの飛行が危険である。改善策として、球体状のプロペラガードを設計、装着する事で他との接触による損傷を防ぐだけでなく、機体の保護も可能となる。また、風が吹いた時にロボットが流されてしまうため、正確な制御が要求される様な局面において、ドローンと人間とが協力して行う様なプレイは困難である。外部からの影響をシステムにフィードバックし、反力を作用させるシステムを開発する事により、安定した制御を実現する。

5 結論

本稿は、空という新しいフィールドで楽しむことを目的とし、人間とロボットが協力して行う新しいスポーツのジャンル「空中スポーツ」について紹介した。本システムの有効性は、ヘキサコプターと立体視を行うこと目的としロボットに搭載したカメラヘッドによって構成されている Telexistence Drone を実装する事で実現している。いくつかの飛行試験は、ユーザの自発的な動きを通し、身長や体格などの物理的な制限を超えた楽しさとシステム性能を評価するために行われている。今後は、飛行型空中スポーツの妥当性を検討する。

6 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (26240030) の支援を受けて行われた。

References

- [1] S.Tachi, "Telexistence," World Scientific, 2010, <http://www.worldscibooks.com/compsci/7079.html>.
- [2] Susumu Tachi, Hirohiko Arai, and Taro Maeda, "Telexistence Master Slave System for Remote Manipulation (II)," Proceedings of the 29th Conference on Decision and Control, pp.85-90, December, 1990.
- [3] Max Rheiner, "Birdly an Attempt to Fly", August, 2014.
- [4] Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatashi Kurogi, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi, "Design of TELESAR V for Transferring Bodily Consciousness in Telexistence", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.5112-5118, October, 2012.

- [5] MHD Yamen Saraiji, Yusuke Mizushina, Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Yuichi Kamiyama, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi, "Enforced telexistence", SA'14 SIGGRAPH Asia 2014 Emerging Technologies", August, 2014.
- [6] Kei Nitta, Keita Higuchi, and Jun Rekimoto, "HoverBall: augmented sports with a flying ball", AH'14 Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference, 2014.
- [7] Keita Higuchi, Tetsuro Shimada, and Jun Rekimoto, "Flying sports assistant: external visual imagery representation for sports training", Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference, 2011.
- [8] Thomas Ameye, Bieke Gils, and Pascal Delheye, "Daredevils and Early Birds: Belgian Pioneers in Automobile Racing and Aerial Sports During the Belle Époque", The International Journal of the History of Sport, pp.205-239, 2011.
- [9] Karlene K. Ball, Bettina L. Beard, Daniel L. Roenker, Richard L. Miller, and David S. Griggs, "Age and visual search: expanding the useful field of view", JOSA A, 1988.
- [10] Keita Higuchi, and Jun Rekimoto, "Flying head: a head motion synchronization mechanism for unmanned aerial vehicle control", CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 2013.
- [11] Eberhard Graether, and Florian 'Floyd' Mueller, "Joggebot: A Flying Robot as Jogging Companion", CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.1063-1066, 2012.
- [12] 竹下佳佑, 渡邊孝一, 佐藤克成, 南澤孝太, 舘暲, "テレイク" システムの研究 (第 63 報) -TELESAR3 において許容される通信遅延の検討-, 第 15 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.146-149, 2010