

会議の包括性向上を目的としたドローンを用いたハイブリッド会議システム

山田 朝陽* 長谷川 実紀† 川口 一画‡

概要. 会議では、参加者の貢献の機会および発言の公平性の度合いである包括性が重要である。しかし、ハイブリッド会議ではローカルユーザに比べてリモートユーザの包括性が低いという課題がある。この課題に対し、リモートユーザに物理空間内での自身を含めた配置の把握と、主体的に移動できる能力を与えることで包括性を高められることが示されている。我々はドローンによるアプローチによって、この2つの能力をリモートユーザに与えることができると考えた。そこで、本研究ではドローンを活用したハイブリッド会議システムを提案する。リモートユーザはドローンを操作して会議室内を自由に飛び回ることができ、ドローンに内蔵されたカメラと空間音響化された音声によってローカルユーザとインタラクションが行える。今後は、実装した提案システムを用いて、リモートユーザの包括性に与える影響を調査する予定である。

1 はじめに

会議では、包括性（参加者が自分には貢献する機会があり、全ての声が等しく重視されていると感じる度合い [3, 6]）が重要であることが知られている [4]。しかしハイブリッド会議では、リモートユーザが現地の物理空間を把握したり主体的に移動したりすることが困難であることから、リモートユーザの包括性が低下する [10]。

この課題を解決するため、リモートユーザに対して、現地側の空間内を主体的に移動して映像・音声を取得できる機能を提供し、現地の状況把握を支援するハイブリッド会議システムが提案されている [10]。しかし、移動できる地点はあらかじめ機材が設置された場所に限定されるという制約があった。

我々は、ドローンによるこの課題へのアプローチに注目する。人間とドローンとのインタラクションに関する研究は多く [5, 13]、Hanieh らは、ドローンを用いることによって遠隔地から操作するユーザの社会的存在感を高めることを示した [12]。しかしながら、ハイブリッド会議においてドローンを使用するシナリオに関して調査した研究はまだない。

そこで、本研究では、ハイブリッド会議におけるリモートユーザの包括性向上のためのアプローチとして、ドローンによるハイブリッド会議システムを提案する。ハイブリッド会議においてドローンを活用すると、リモートユーザの包括性が低い要因である、物理空間内での自身を含めた配置の把握が難しい点および、主体的な移動ができない点の両方を克服できると考えられる。前者はドローンが物理的な実体

として会議室に存在し、リモートユーザの視点・聴点を担うことで、リモートユーザの空間共有感を高められると考えられる。そして、後者はドローンを操作して自由な位置に移動できることで達成される。

2 関連研究

2.1 ハイブリッド会議システムに関する研究

ハイブリッド会議システムの研究は多数存在する [10, 8]。Payod らの Hybridge[10] では、ローカルの会議室にディスプレイ・マイク・スピーカーのセットを置いた座席を複数用意して、リモートユーザが会議室の俯瞰視点の画面を経由しながら自由に座席移動することができる。このシステムは、リモートユーザに俯瞰視点と座席移動の主体性を与えている。これによりリモートユーザの包括性を高めたが、移動が事前定義された座席間に限られるため主体性は限定的である。

2.2 社会的ドローンに関する研究

ドローンは配送 [7] や消防 [2] に加え、操縦者の社会的存在感を高める研究も存在する。Hanieh らの TeleDrone[12] は、ディスプレイ付きドローンと空間音響を用いて、屋外活動（ハイキング）での社会的存在感と空間認識を向上させた。楽しむことが目的である屋外活動よりも、リモートユーザの社会的存在感がより重要となるハイブリッド会議では、ドローンが有効に働く可能性がある。しかし、ハイブリッド会議においてドローンを用いた場合の影響を調査した研究は行われていない。

3 システム

2 節で得られた知見を基に、我々はハイブリッド会議におけるリモートユーザの包括性の向上を目的とする、ドローンを活用したハイブリッド会議シス

Copyright is held by the author(s). This paper is non-refereed and non-archival. Hence it may later appear in any journals, conferences, symposia, etc.

* 筑波大学 情報学群 情報科学類

† 筑波大学 情報理工学位プログラム

‡ 筑波大学 システム情報系

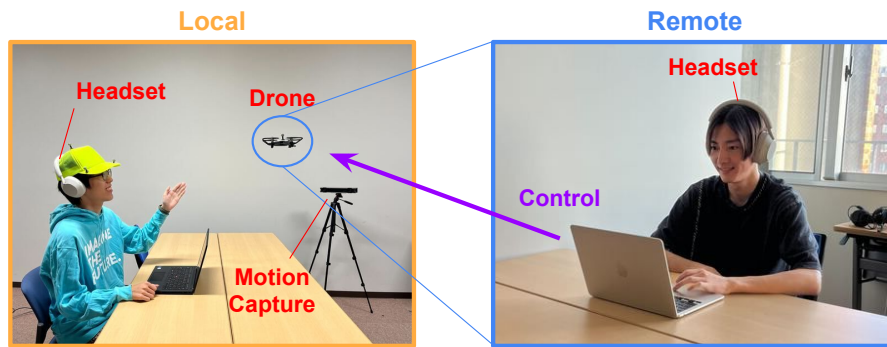


図 1. 提案システムを使用している様子

テムを提案する．提案システムを使用している様子を図 1 に示す．本システムでは，リモートユーザがドローンを用いてローカルの会議室内の定められた範囲を自由に飛び回ることができ，ドローンに搭載されたカメラを通じたローカル環境の映像と，空間音響化された音声での会話によってローカルユーザとのインタラクションが行える．

本システムは React と Typescript を用いた Web アプリケーションとして実装されている．また，空間音響とドローンの制御のため，モーションキャプチャである OptiTrack Duo 3[1] を用いている．モーションキャプチャ用のマーカーは，ドローン，ドローンが飛行できる領域を指定するためのオブジェクト，および，ローカルユーザが装着する帽子に取り付ける．リモートユーザの操作するドローンは DJI Tello[11] を用いている．

詳細なシステム図は図 2 に示した．

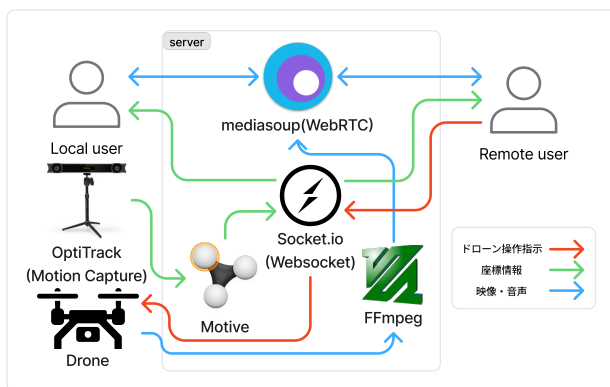


図 2. 提案システムのシステム図

3.1 空間音響化された音声による物理空間の共有

ローカルユーザ・リモートユーザは共にヘッドセットを装着しており，双方の音声を自分と相手との位置に基づいて空間音響化された音声として聴くことが可能である．これはモーションキャプチャで取得した位置情報と Web API[9] を用いて実現している．

Hanieh ら [12] の研究によれば，音声の空間音響化はユーザの空間認識に効果的である．これは，視覚情報だけでは得られない他者の位置関係や発話の方向性を直感的に知覚させ，リモートユーザがその空間の一員として自身を位置づけることを助ける．本研究では，この空間への定位が物理的存在感を向上させ，空間共有感を生み出すと考える．

3.2 ドローンによる会議室内の主体的な移動

リモートユーザが見る画面には，ドローンに搭載されたカメラの映像，ローカルの会議室の 2D マップ，および，ドローンの左右回転操作が行える操作 UI が映されている．リモートユーザは会議室内の定められた範囲を，2D マップ上のタッチ操作によって自由に移動することが可能となる．また，高度と方向も自由に調節が可能であり，三次元上の任意の視点から会議に参加可能である．Payod ら [10] の先行研究が示した離散的な位置移動の主体性に対し，本システムは連続的かつ三次元的な移動という，より物理的な身体に近い形の主体性を提供する．また，ドローンによる俯瞰視点は，ローカルユーザにはない非対称な能力であり，[10] と同様の思想に基づき，能力の範囲という観点から公平性を担保する．我々は，この質的に異なる主体性が，リモートユーザの包括性をさらに向上させると考える．

4 おわりに

本研究では，ドローンを活用したハイブリッド会議システムを提案した．空間音響化された音声による物理空間の共有とリモートユーザの主体的な移動により，リモートユーザの包括性の向上が見込まれ，会議の有効性が高まると考えられる．今後は，実装した提案システムを用いた実験を行い，リモートユーザの包括性に与える影響を調査する．その際には，ドローンの操作がユーザの認知負荷に与える影響や，飛行音が議論に与える影響，ローカル参加者が感じる安全性や威圧感といった，本アプローチに伴う新たな課題についても併せて評価する必要がある．

参考文献

- [1] Duo 3: 製品一覧: OptiTrack カメラ. <https://www.motioncapture.jp/optitrack/products/camera/duo.html>, 2025. OptiTrack モーションキャプチャ — Acuity Inc. (旧 OptiTrack Japan) .
- [2] O. Alon, S. Rabinovich, C. Fyodorov, and J. R. Cauchard. Drones in Firefighting: A User-Centered Design Perspective. In *Proceedings of the 23rd International Conference on Mobile Human-Computer Interaction*, MobileHCI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [3] M. Constantinides, S. Joglekar, and D. Quercia. Retrofitting Meetings for Psychological Safety, 2021.
- [4] R. Cutler, Y. Hosseinkashi, J. Pool, S. Filipi, R. Aichner, Y. Tu, and J. Gehrke. Meeting Effectiveness and Inclusiveness in Remote Collaboration. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 5(CSCW1), Apr. 2021.
- [5] O. Fartook, K. MacLean, T. Oron-Gilad, and J. R. Cauchard. Expanding the Interaction Repertoire of a Social Drone: Physically Expressive Possibilities of a Perched BiRDe. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2023.
- [6] B. M. Ferdman and B. Deane eds. *Diversity at Work: The Practice of Inclusion*. Jossey-Bass, A Wiley Brand, San Francisco, CA, 2014.
- [7] E. Frachtenberg. Practical Drone Delivery. *Computer*, 52(12):53–57, 2019.
- [8] J. E. Grønbaek, B. Saatçi, C. F. Griggio, and C. N. Klokmoose. MirrorBlender: Supporting Hybrid Meetings with a Malleable Video-Conferencing System. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [9] Mozilla Contributors. Web API - MDN Web Docs. <https://developer.mozilla.org/ja/docs/Web/API>, 2025.
- [10] P. Panda, L. Tankelevitch, B. Spittle, K. Inkpen, J. Tang, S. Junuzovic, Q. Qi, P. Sweeney, A. D. Wilson, W. A. Buxton, A. Sellen, and S. Rintel. Hybridge: Bridging Spatiality for Inclusive and Equitable Hybrid Meetings. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, 8(CSCW2), Nov. 2024.
- [11] Ryze Tech. Tello - Ryze Tech. <https://www.ryzerobotics.com/jp/tello>, 2025. Ryze Tech 公式ウェブサイト.
- [12] H. Shakeri and C. Neustaedter. Tele drone: Shared Outdoor Exploration Using Telepresence Drones. In *Companion Publication of the 2019 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, CSCW '19 Companion, p. 367–371, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [13] H. Tan, J. Lee, and G. Gao. Human-Drone Interaction: Drone Delivery & Services for Social Events. In *Proceedings of the 2018 ACM Conference Companion Publication on Designing Interactive Systems*, DIS '18 Companion, p. 183–187, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.