

ハンガー反射を用いて遠隔者の頭部回旋感覚を体感する研究

李 万慧^{1,a)} 平城 裕隆^{1,3,b)} 中村 拓人^{2,4,c)} 暦本 純一^{1,5,d)}

概要：遠隔共同作業は、遠隔でのコミュニケーションにおいては遠隔ユーザの方向の情報を把握するのが難しいため、遠隔ユーザの視線を共有することによってコミュニケーションを向上させることができ、共同での遠隔作業の効率を上げられると考えられる。視線共有の手法について、音声、文字や画像、振動で相手へ方向提示を行う研究があるが、方向情報のみ相手に伝達するものに過ぎず、相手の回旋方向をコントロールするのではない。本研究は遠隔ユーザの回旋情報を角速度センサーで取得して通信し、ハンガー反射現象を用いて、遠隔ユーザの回旋感覚を無意識的に体感できるシステムを提案する。実験の結果、ハンガー反射を用いて遠隔ユーザの回旋感覚を体感可能なことが確認でき、テレプレゼンスの利用者のコミュニケーションを向上させることを期待できる。

1. はじめに

従来、遠隔地での共同作業を行うために、音声、文字や画像、振動で遠隔ユーザの視線を共有する手法がある。具体的には聴覚、視覚、触覚で方向を提示し、聴覚とは相手に話すことや、アナウンサーの音に合わせて行うこと、視覚は電車站構内の提示用矢印で行き先を提示されるなどである。また、触覚での方向提示を行う先行研究としては、HapticPointer[1]のような振動モーターで制御するデバイスでリモートユーザより方向を指示する研究が行われてきた。これらの手法は使用する場面によっては、「声をかけても相手は意識してない」や「矢印があっても勘違いしてしまう」や「振動で提示したが気がつかない」などの問題があるので、指示者や物と被指示者の間のコミュニケーションが弱いと考えられる。上記の手法を用いたインタラクションが行われてきたが、身体的動作によるコミュニケーションも大事な一部として、遠隔ユーザとお互いに身体的動作を伝達できれば、遠隔コミュニケーションを向上できると考えられる。また、身体運動のインタラクションを強化すれば、他人の身体運動の共有を促進し、遠隔で微かな感情などを表現するために利用することもできる。

本研究はハンガー反射現象（針金ハンガーを頭に被ると

意図せず頭が回ってしまう現象である）を用いて、遠隔ユーザの頭部回旋感覚を無意識的に体感するシステムを提案する。従来の手法と比べて、本研究は遠隔ユーザの回旋情報を角速度センサーで取得して通信し、ハンガー反射現象を用いてハンガー反射デバイスの装着者は遠隔ユーザの回旋感覚を無意識的に体感できると考えられる。歩行する時の方向指示やバーチャルリアリティ（VR）空間に没入するときリアルタイムでのコミュニケーションを向上させると考えられる。また、高齢者または障害者など行動不十分な人たちに対する、遠隔への方向指示のコミュニケーションを向上すれば、生活の質も向上すると考えられる。

実験の結果、ハンガー反射現象を用いて遠隔ユーザのYaw方向の左右回旋感覚を体感できることが確認できた。

2. 関連研究

2.1 遠隔コミュニケーション

身体的動作によるコミュニケーションを行えば、人々がつながりを感じ、意図を示し、感情を表現できる。MITのBrave等は触覚フィードバック技術を遠隔ユーザへのコミュニケーションに適用するためinTouchというシステムを構築した[3]。遠隔の両側に回転可能なローラーを配置し、ローラーの回転で僅かな感情を相手に伝えることによって、リアルタイムのコミュニケーションを豊かにすることができる。また、西田等はペアリングウェアラブルデバイスにより2人の間に運動感覚を伝達できる研究を報告している[4]。ユーザは筋肉の収縮と関節の硬直を双方向に感知し、筋電（EMG）測定と電氣的筋肉刺激（EMS）に基づく運動感覚が体感できる。

¹ 東京大学

² 東京工業大学

³ 産業技術総合研究所

⁴ 日本学術振興会

⁵ ソニーコンピューターサイエンス研究所

a) li-wanhui409@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

b) hiraki-uts1@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

c) nakamura.t.by@m.titech.ac.jp

d) rekimoto@acm.org

2.2 回旋感覚共感

無意識的に回旋感覚を体感する手法として、ガルバニック前庭刺激 (GVS) の既存研究が多く存在する。両耳の後ろに電極を配置して前庭器官を電氣的に刺激し、方向性のある仮想的な感覚を誘発し頭部運動を行うことができる [2], [5]。また、ハンガー反射現象を用いて頭部回旋を再現した研究もある。GVS と比べて、ハンガー反射デバイスは電気刺激が必要なく、頭部に受けた圧力の変化により、Yaw 方向の回旋を実現できる。佐藤らはハンガー反射現象で頭部回旋をコントロールできる装置を開発した [6]、この研究はリニアアクチュエータを使って側頭部に圧力をかけて、針金ハンガーのように頭部回旋を再現したことを報告した。それから、空気圧アクチュエータ [7] と輪ゴムの牽引力 [8] で頭部回旋を再現した研究も報告された。

本研究は、遠隔地との通信の可能性とデバイス装着の快適性を考えて、空気圧アクチュエータの方法で実装を行う。

3. 実装

本研究は遠隔ユーザの回旋感覚を共感することを目的として、遠隔ユーザ側の回旋情報を測定して、無線通信でローカルユーザが装着しているハンガー反射デバイスへ送信するシステムを実装する。図1のように、本システムは主な構成として、回旋測定側とハンガー反射側の二つの部分で実装した。

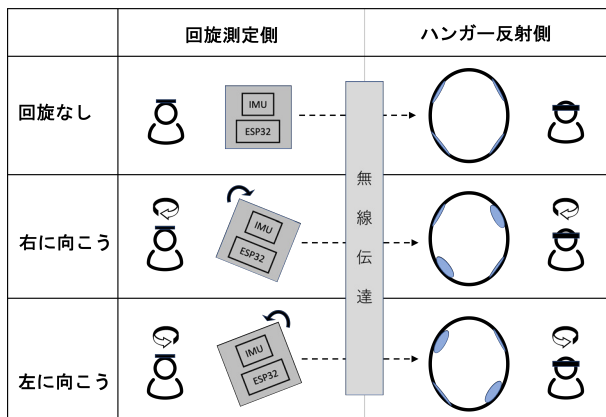


図1 回旋測定側のユーザはIMU付きデバイスを頭部に装着し、頭部回旋を行う；ハンガー反射側のユーザはハンガー反射デバイスを頭部に装着し、空気の流れに応じて制御される

3.1 回旋測定

回旋測定側は9軸慣性センサー (LSM9DS1, SparkFun社) を用いて、Yaw 方向の回旋角度を測定する (図2(a))。

3.2 ハンガー反射デバイス

空気圧アクチュエータを用いた頭部ハンガー反射回旋角度制御の試み [7] として報告されたデバイスを利用

する。空気圧アクチュエータはそれぞれ真空ポンプ (R-14 A221, MITSUMI 社) とソレノイドバルブ (SC415GF 6.0V, SEJOMOTION 社) によって駆動され、気圧センサー (MIS2503-015G, MetrodyneMicrosystem 社) によって空気圧アクチュエータ内の気圧を計測する。これらはマイクロコントローラ (mbed1768, NXP 社) により制御する (図2(b))。

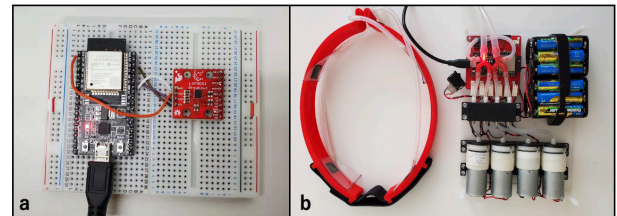


図2 (a) 回旋測定側の実装例, (b) ハンガー反射側の実装例

4. 実験

提案されたシステムの性能を評価するために、被験者4人 (男性:4, 女性:0) を二つのグループに分けて、グループ内の二人はそれぞれ回旋測定デバイスの装着者 (回旋者) とハンガー反射デバイスの装着者 (ハンガー装着者) として指定し (図3), 以下の実験流れの通り実験を行う。

4.1 実験流れ

(1) 回旋方向と反応時間の確認 :

- (a) 回旋者は左に向いて頭を回旋し (5回), ハンガー装着者の回旋方向と反応時間を記録する
- (b) 回旋者は右に向いて頭を回旋し (5回), ハンガー装着者の回旋方向と反応時間を記録する

(2) リアルタイム性の確認 :

- (a) 回旋者は10秒間隔で頭を左右に10回を回旋し, ハンガー装着者の反応を記録する
- (b) 回旋者は5秒間隔で頭を左右に10回を回旋し, ハンガー装着者の反応を記録する
- (c) 回旋者は2秒間隔で頭を左右に10回を回旋し, ハンガー装着者の反応を記録する

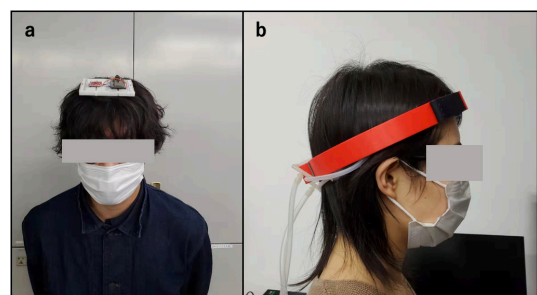


図3 (a) 回旋測定デバイスの装着者, (b) ハンガー反射デバイスの装着者

4.2 実験結果

実験の結果は、「(1) 回旋方向と反応時間」の実験で、指定する方向に回旋するシングルアクションは20回を行い、予想と一致する回数は18回であるので、90%の正確さで動作確認ができた。また、反応時間について、「ハンガー反射側の空気の注入」と「頭に圧力をかけた時の身体の反応」という二つの段階に時間がかかることは避けられないので、以下のように遅延を測定した。「ハンガー反射側の空気の注入」に対する15回の有効記録を取り、約1.059秒の平均遅延時間を確認し、「頭に圧力をかけた時の身体の反応」に対する18回の有効記録を取った、2.003秒の平均遅延時間を確認できた。

反応時間の結果として、図4のようにグループAとグループBはそれぞれ9回の有効記録を取って集計した。そもそもハンガー反射現象は個人差があるが、3秒以内に反応できた。実験回数を増えるに伴って、ハンガー反射装着者の反応がだんだん安定になるが、個人差により反応時間が短くなることもある。

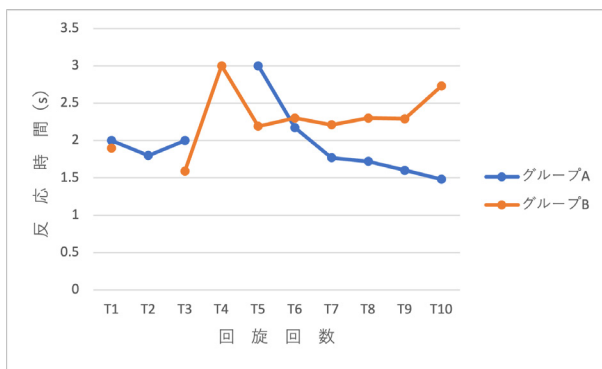


図4 グループAの4回目が集計外、グループBの2回目が集計外

「(2) リアルタイム性」の実験について、10秒間隔の反応の正確さは平均で75%、5秒間隔での正確さは平均で70%、2秒間隔での正確さは平均で80%となることを確認できた。利用した9軸の慣性センサは角速度のドリフトがあるため、長時間利用してしまうと誤検知を誘発してしまう。今後はより検知精度の高いセンサモジュールを利用することでより安定した実装方法を検討する。

5. 展望

今回の研究は回旋者よりハンガー装着者への片方向のコミュニケーションのみであり、実際にハンガー装着者から反応を得られないので、回旋者側が得られるフィードバックが少ない。将来的に、指示者と被指示者をはっきりと分けることなく、二人とも回旋測定デバイスとハンガー反射デバイス装着すれば、お互いに相手に指示できるので、コミュニケーションをさらに向上させると考えられる。

また、VR空間の没入感を向上させるために、GVSまたはハンガー反射を用いた運動錯覚誘発機能を内蔵する頭部搭

載型ディスプレイ(HMD)の先行研究が存在する[9],[10]、クロスリアリティ(XR)を介して多人数での共同作業が行われる未来が近いと、本研究の遠隔ユーザとのコミュニケーションもHMDを介してさらに広い領域に応用することを検討していきたい。

6. おわりに

本稿では、遠隔コミュニケーションを向上するために、ハンガー反射デバイスを用いて、頭部回旋感覚を他人に伝達し、遠隔ユーザの頭部回旋感覚を体感できることを確認する。実験で得られた結果によると、遅延があるが、頭部の左右回旋運動による遠隔ユーザ間のインタラクションを強化できることがわかった。

謝辞 本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】 Grant番号【JPMJMS2012】の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] A Matsuda, K Nozawa, K Takata, A Izumihara, J Rekimoto: *HapticPointer: A Neck-worn Device that Presents Direction by Vibrotactile Feedback for Remote Collaboration Tasks*, Augmented Humans(2020).
- [2] N Nagaya, M Yoshidzumi, M Ssugimoto, H Nii, T Maeda, M Kitazaki, M Inami: *Gravity Jockey: A Novel Music Experience with Galvanic Vestibular Stimulation*, ACM SIGCHI international conference on Advances in computer entertainment technology(2006).
- [3] S Brave and A Dahley: *inTouch: A Medium for Haptic Interpersonal Communication*, CHI (1997).
- [4] J Nishida, K Suzuki: *bioSync: A Paired Wearable Device for Blending Kinesthetic Experience*, CHI(2017).
- [5] K Aoyama, H Iizuka, H Ando, T Maeda: *Four-pole galvanic vestibular stimulation causes body sway about three axes*, Scientific Reports — 5:10168 — DOI: 10.1038/srep10168.
- [6] M Sato, R Matsue, Y Hashimoto, H Kajimoto: *Development of a Head Rotation Interface by Using Hanger Reflex*, IEEE(2009).
- [7] 今 悠気, 中村 拓人, 梶本 裕之: 空気圧アクチュエータを用いた頭部ハンガー反射回旋角度制御の試み, 情報処理学会インタラクション (2017).
- [8] 宮上 昌大, 梶本 裕之: 皮膚せん断刺激の多点化が頭部回旋現象に及ぼす影響の調査, 日本バーチャルリアリティ学会 (2021).
- [9] 木島竜吾, 山田英治郎, 小鹿丈夫: *Reflex HMD* 一前庭反射機能を備えた HMD の開発, 日本バーチャルリアリティ学会 (2001).
- [10] Y Kon, T Nakamura, V Yem, H Kajimoto: *HangerOVER: Mechanism of Controlling the Hanger Reflex Using Air Balloon for HMD Embedded Haptic Display*, IEEE(2018).