



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

撃力提示装置の身体搭載化手法とこれに伴う提示力の評価

Implementation and evaluation of wearable impulsive force display

池田尚登¹⁾, 嵯峨智²⁾

Naoto Ikeda and Satoshi Saga

- 1) 熊本大学大学院 自然科学教育部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 - 1 号, ikeda@saga-lab.org)
 2) 熊本大学大学院 先端科学研究部 (〒 860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 - 1 号, saga@saga-lab.org)

概要: 我々は手掌部へ瞬発的に牽引力をかけることで球技の捕球時における撃力の再現を行う撃力提示装置の開発, 評価を行ってきた. 駆動ユニットを接地して抗力を得るこれまでの設計では, 利用可能範囲に制限があるという課題があった. この課題を踏まえ, これまでの駆動ユニットの構造に変更を加え, 身体にも搭載可能な設計とした. 本稿では身体搭載時における物理的な提示力及び心理的な使用感を定量的に評価した結果について報告する.

キーワード: ウェアラブル, 機構・アクチュエータ, 提示, 力覚・体性感覚

1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 技術の発展に伴い, VR 空間上でのスポーツ体験が可能になりつつある. 最近のコンシューマ向けゲームコントローラに代表されるようなデバイスは, 触覚提示のために振動子を用いられることが多いが, 球技における捕球感覚のような撃力を手掌部全体に表現することは難しい. 手掌部への触覚提示デバイスとして CyberGrasp [1] のような五本の各指先を糸で牽引するグローブ型デバイス, Grabity [2] のようにブレーキ機構を用いて剛体感覚をシミュレートする把持型デバイス, DeltaTouch [3] のように手掌の範囲でアクチュエータを押下することで触覚提示を行う装着型デバイスなどが存在するが, いずれも使用者の手に大掛かりな装置を装着する必要がある為, 使用者への負担が大きい問題がある. そこで我々は球技における撃力提示再現を目的とし, 接地された駆動ユニットから得られた抗力を糸を用いて手掌の提示パーツに伝達する手法をとることで, ある程度の自由度を保ちながらも, 大きな撃力提示が可能な撃力提示装置の開発に取り組んできた. 我々同様の方式で Wireality [4] も糸のブレーキ機構を用いた実装を提案している. しかし, 使用者の行動範囲が駆動ユニットの接地箇所及び糸の長さ, さらに制御用 PC との接続ケーブルによって制限されるため, 実際の VR スポーツを想定した場合, 不適切である. そこで我々は駆動ユニットの小型化及び制御信号伝達の無線化を行うことで, 身体搭載が可能な非接地型デバイスへの改良を行った. 本稿では身体搭載時の装置の提示力や使用感に関する実験結果について報告する.

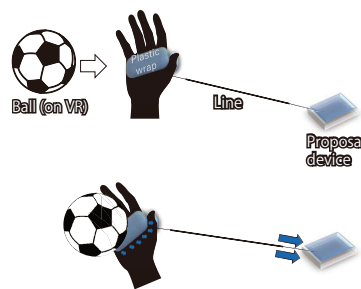


図 1: 撃力提示フロー

2. 撃力提示装置

2.1 概要

提案する撃力提示装置では図 1 のように使用者がバーチャル空間中のボールにコンタクトするタイミングで手掌部に取り付けたビニール膜を瞬発的に制止することで球技の捕球時に発生する撃力を提示する. 使用者の身体の自由と大きな撃力の発生を同時に実現するために, 撃力を発生させる駆動ユニットと手掌部に撃力を提示する提示パーツを糸を用いて分離する設計をとる. 撃力を発生させるため, 回転するモータの動きを抑止するブレーキ構造体を用い, ステッピングモータで制御する. 提示パーツでは牽引糸に取り付けたビニール皮膜を使用者の手掌に取り付け, 使用者の主體的な運動を瞬時に制止することで, 撃力を提示する. また通常の SPIDAR システム [5] 同様に, 手の位置に関係なく, 手とブレーキ構造体の間に常に一定の張力を保つために DC モータを用いて常に駆動ユニット側に糸に一定のトルクをかける.



図 2: 撃力提示装置及びその身体装着例

2.2 身体搭載化に伴う設計

駆動ユニットを身体に搭載するため、下記の設計変更を行った。まず、モータ等を操作していたコントローラ部を駆動ユニットから分離させることで駆動ユニットを 777 g から 536 g に軽量化、サイズを約 32% に小型化した。また、使用者の使用範囲を制限する要因となっていた有線接続によるモータ制御信号の送受信を、Bluetooth による無線通信に変更した。これにより、PC を介すことなく、ヘッドマウントディスプレイ (Oculus Quest) と制御用マイコン (ESP32) を含むコントローラ、駆動ユニットのみで稼働する。駆動ユニットの身体への装着位置は、ブレーキ時に発生する反作用力の知覚を軽減するために使用者の利き手側の肩とし、装着には専用のナイロンベルトを用いた。装着例を図 2 に示す。これらの設計変更により、駆動ユニットの接地点や動力伝達用の糸及び信号制御用ケーブルの長さに依存しない、自由な VR スポーツ体験が期待できる。

2.3 アプリケーション概要

球技の捕球のシミュレーションの為に VR アプリケーションを Unity を用いて作成した。使用者の手の位置を Quest のハンドトラッキング機能により取得する。VR 空間内でシミュレートされたボールと使用者の手の衝突を判定し、ブレーキ駆動のため、ステッピングモータの制御信号を Quest 本体から Bluetooth 経由で制御用マイコン (ESP32) に送信することで Quest 単体でのアプリケーション動作を実現した。

3. 実験

本章では撃力提示装置を身体に搭載した際の効果を調査する為に実施した心理物理実験について詳述する。実際のボールを捕球した感覚に対する再現度、バーチャル捕球時に実験協力者が感じる自由度の 2 点を、何も手に持たない場合、Oculus Touch を用いた振動による触覚提示、提案装置を接地した際の触覚提示、提案装置を実験協力者の肩上に装着した際の触覚提示の 4 つを比較することで評価を行う。実

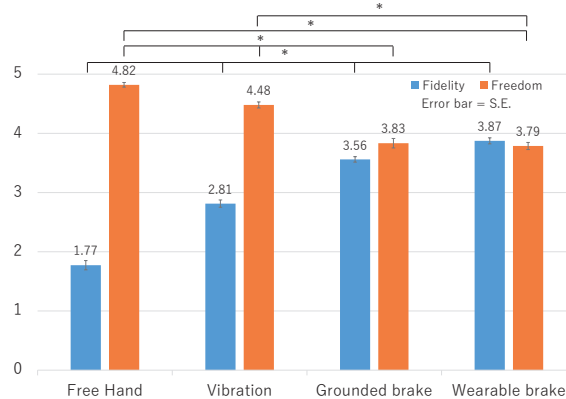


図 3: 再現度及び自由度の回答結果。各手法における各実験協力者の 30 回分の回答の平均値を示す。図中の*は有意水準 5% で差があることを示す。

験協力者は右利きの 22 歳から 24 歳の健康な男性 5 名で、実験時は着席状態で Oculus Quest を装着させ、自身に向かって斜方投射されたボールを捕球するゲームを実行した。尚ボールの軌道は実験協力者が着席したまま手を伸ばして捕球可能な範囲でランダムとし、実験協力者には事前に飛んできたボールを捕球する動作のトレーニングを行った。評価はリッカート尺度法を用いたアンケートを実施し、実験協力者には各捕球後に実際のボールに対する再現度及び身体自由度に関して 5 段階で回答させた。

4. 実験結果

各実験協力者が回答した各手法における 30 回の評価の平均を図 3 に示す。図中の*は有意水準 5% で差があることを示す。実験結果から、自由度における接地時、身体搭載時の間を除いて、再現度、自由度ともに全ての手法間で有意水準 5% で有意差が見られた。身体搭載時を接地時と比較した場合、自由度に変化は見られなかったものの、再現率が向上していることから提案装置の身体搭載が効果的だったことがわかる。また既存手法である振動子による触覚刺激と比較した場合、提案手法の再現率が高いことから、糸とブレーキ機構を用いた提案手法による撃力提示が有効であることがいえる。

5. まとめと今後の予定

実験の結果から、撃力刺激装置を身体に搭載した場合、自由度に変化は大きな変化は見られないが、再現度が向上しているという結果が得られた。自由度に大きな変化が見られなかった原因として、条件統一のため接地した場合と装着した場合のいずれも着席状態で実験を行ったことで、ユーザ自身の行動範囲が制限されていた事が考えられる。また実験協力者から装着に用いたナイロンベルトが原因で肩関節の動きが制限されていたというコメントも得られた。今後は使用者の身体的自由を損なわない装着方法を検討した上で、提示可能な触覚刺激の拡張を目的とし、各モータの制御による提示力の変化の調査を行う。

参考文献

- [1] Georgios Nikolakis, Dimitrios Tzovaras, Serafim Moustakidis, and Michael G Strintzis. Cybergrasp and phantom integration: Enhanced haptic access for visually impaired users. In *9th Conference Speech and Computer*, 2004.
- [2] Inrak Choi, Heather Culbertson, Mark R Miller, Alex Olwal, and Sean Follmer. Gravity: A wearable haptic interface for simulating weight and grasping in virtual reality. In *Proceedings of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 119–130, 2017.
- [3] Daria Trinitatova and Dzmitry Tsetserukou. Delta-touch: a 3d haptic display for delivering multimodal tactile stimuli at the palm. In *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp. 73–78. IEEE, 2019.
- [4] Cathy Fang, Yang Zhang, Matthew Dworman, and Chris Harrison. Wireality: Enabling complex tangible geometries in virtual reality with worn multi-string haptics. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–10, 2020.
- [5] Sato Makoto. Development of string-based force display: Spidar. In *8th international conference on virtual systems and multimedia*. Citeseer, 2002.