

スポーツ走行における急激な加減速を考慮した VR サイクルシミュレーションシステムの提案

渡邊 拓人* 兼松祥央† 羽田久一† 三上浩司†

概要. 近年、自転車シミュレーターにおいて、様々な知覚提示技術が開発されている。例えば、斜度に対する車体姿勢の変化や、ペダル、タイヤの回転に負荷を与え、登坂を表現するものである。しかし、操舵やブレーキ、乗車姿勢を考慮した既存のコンテンツは装置が大型になりすぎるといった問題がある。具体的には、CG空間上の地形に合わせて車体を取り付けた床面を傾かせる装置などが挙げられる。そこで筆者らは、没入感のある体験を目指すために、荷重移動を利用した操舵や、ブレーキ操作に対応し、安全に車体の左右傾斜を提示するVR競技自転車の操作システムとデモゲームを開発した。

1 はじめに

近年、自転車シミュレーターにおいて、知覚提示技術の開発が進んでいる。ペダルをこぐ動作（以降「ペダリング」）に対して負荷を変化させ、車体のピッチ角を変化させることで、登坂を再現する装置が開発されている[1][2]。サイクリングの体験を向上させるために、知覚を中心に研究開発が行われたことが背景にある[3][4]。一方で、昨今のVRサイクリングトレーニングシステムでは、自転車の操舵や、ブレーキ操作、左右の乗車姿勢が考慮されていない。そこで筆者らは、先ほど列挙した感覚や操作により、ペダリングにおける知覚提示に変化を与える自転車操作システム、Virtual Bike Control システム（以降「ViBiC システム」）を開発した。

2 ViBiC システムの設計

ViBiC システムの設計に当たり、既存のVRやVRに限らないサイクリングシステム[5][6]を一部踏襲しつつ、より現実に近い競技自転車の乗車体験を提示するための新しい機能として次の要件を設定した。

- 車体の傾きが提示されること
- 体験者の姿勢で自転車が操舵できること
- 自転車の駆動状態がVRと現実で同期されていること

これらの要件を達成するために、図1の赤字で示す機能を開発した。本システムの開発はゲームエン

ジンであるUnityをベースに行った。HMDとしてMeta Quest2（以降「Quest2」）を使用した。ペダリング操作の入力とペダリング負荷の提示は、サイクルトレーナーであるWahoo Kicker（以降「Kicker」）を利用した。ブレーキ操作の入力はArduinoを使った専用デバイスを独自開発した。



図1. 開発予定のシステムの機能

図1の機能を実現するために、センサの信号や映像を送受信する流れを図2に示す。

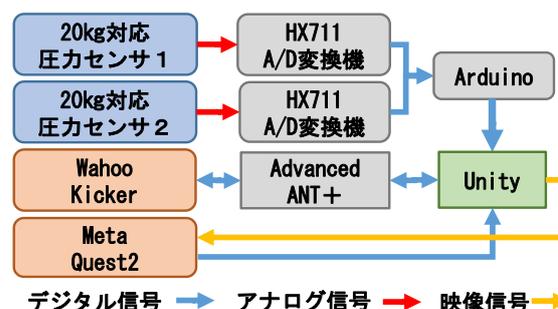


図2. ViBiC システムの構成図

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

* 東京工科大学大学院

† 東京工科大学

Unity は各デバイスからの入力を処理し、VR 空間内の自転車进行操作する。その自転車の状態に合わせて、Quest2 や Kicker を制御する。図 2 の灰色で示したデバイスやソフトウェアはデバイスからの信号の受信と Unity からの信号の送信処理を行う。青色で示した圧力センサはブレーキの圧力（以降「ブレーキ圧」）を計測する。オレンジ色で示した Quest2 と Kicker は体験者の動きを取得すると同時に視覚や負荷抵抗などの感覚提示を行う。

2.1 ハンドル傾斜提示機構と左右操舵入力

ハンドル傾斜の提示は筆者が開発した提示装置 [7] を用いた。競技自転車に搭乗時、体験者は前傾姿勢になる。重心が乗る手に感覚が集中することで、ハンドルの傾きだけで疑似的な車体の傾いた体験を提示することを狙ったものである。

ハンドルの操舵入力と体の傾きの入力は Meta Quest2 Touch コントローラ（以降「Touch コントローラ」）と Quest2 の頭部センサを用いて実装した。検出した座標と角度の関係を表した図 3 に示す。体の傾き θ_b とハンドルが提示する疑似的な車体の傾き θ_h をそれぞれ算出した。

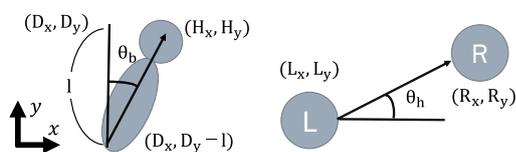


図 3. 取得する座標と算出する傾きの関係

体の傾き θ_b は図 3 左側に示すように初期値の頭部座標 D と現在の頭部座標 H 、疑似的な座高 l (m) を用いて体の傾き θ_b を (1) の式を用いて算出した。

$$\theta_b = \text{Arctan}\left(\frac{H_y - (D_y - l)}{H_x - D_x}\right) - 90 \quad (1)$$

ハンドルの傾き θ_h は図 3 右側に示すように Touch コントローラの左右の座標をそれぞれ取得し (2) の式を用いて算出した。

$$\theta_h = \text{Arctan}\left(\frac{R_y - L_y}{R_x - L_x}\right) \quad (2)$$

ハンドルの傾きは常にわずかな動作のノイズを拾ってしまう。そこで θ_h が一定の絶対値を超えたら操舵の入力を行うように調整した。

θ_b , θ_h それぞれの角度を用いて自転車の舵角 S を (3) の式を用いて算出する。 X_b , X_h は感度を調整するための変数ある。

$$S = \theta_b X_b + \theta_h X_h \quad (2)$$

車体の傾きと体の傾きがそれぞれ計測する操舵によって、リーニアウトなどの車体と体の傾きが一致しない姿勢に対応できる。これはカーブの形状に体

験者が対応しやすくなる。加えて、現実と近い姿勢での操舵を可能にした。

2.2 ブレーキ圧計測デバイスの開発

ブレーキ操作の検出のために Arduino と荷重センサを利用した圧力計測デバイスを開発した。この計測デバイスはブレーキを握った時に発生するブレーキパッド間にかかる力を計測する。そして、計測した値を前側のブレーキ圧 B_F (N) と後側のブレーキ圧 B_R (N) として Unity に送信する。

2.3 Kicker による負荷提示

Kicker から体験者のペダリングに対して与えられる抵抗力 F (N) は、ゲーム内における勾配によっておこる抵抗力を P (N)、体験者が握ったブレーキ圧 B_F , B_R として (2) の式に基づいて計算する。

$$F = B_F B_R P \quad (2)$$

空気抵抗は本来であれば風や、気圧、物体の動くスピード、体積に合わせて計算する必要がある。本研究では、空気抵抗は提示している抵抗と自転車の漕いでいるスピードに基づき、Kicker が自動で計算し抵抗を提示するとした。

加えて体験者が快適に自転車を漕げるよう、変速機能も導入した。この機能はシマノ社が公開している基本作業書 [8] に則り、ワイヤーによる変速制御を組み込んだ。これにより体験者が適切なギアを選定して快適に漕ぐことができる。

2.4 VR 上の自転車の速度制御

自転車の加速は Kicker が検出した現実の自転車の速度を VR 空間上の自転車の速度に反映している。一方で減速は Kicker によって与えられる抵抗値 F により自転車の駆動部に逆方向の抵抗を与えて減速させる。これにより Kicker と VR 上の自転車の速度が一致することで速度の変化が激しいスポーツ走行に対応することを可能とした。

3 まとめと今後の展望

本研究において筆者らは現実に近い操作感を実現するために、頭とハンドルの傾きを用いて自転車の操舵ができる機能を実装した。加えて圧力センサを用いてブレーキの機能を実装した。圧力センサの情報によって映像を減速させず、Kicker の提示する負荷を上昇させた。これにより、Kicker と VR 上の自転車の速度の状態を同期させた。以上 2 つの機能を導入し、急激な加速減速と操舵に対応した。本システムを利用することで、従来のシステムとは違う、現実により近いスポーツ走行が体験できることに期待する。今後はシステムを利用した実験を行い、提案した機能について検証する。

謝辞

ViBiC システムの開発にあたり、荻野晃太さんに動作試験、プログラムの調整を協力していただきました。誠にありがとうございました。

参考文献

- [1] 西園良太. 現実世界と融合した eSports ; バーチャル・ツール・ド・フランスを技術からひもとく. 情報処理 61(12), pp.1164-1167, 2020.
- [2] インドアサイクリング&トレーニングリソース | Wahoo Fitness Japan.
<https://jp.wahoofitness.com/devices/indoor-cycling>. 2022 年 10 月 23 日確認
- [3] M. Löchtefeld, A. Krüger, and H. Gellersen. DeceptiBike: Assessing the Perception of Speed Deception in a Virtual Reality Training Bike System. NordiCHI '16: *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, No.40, pp.1-10. 2016.
- [4] R. Herpers, W. Heiden, et al., FIVIS Bicycle Simulator: an Immersive Game Platform for Physical Activities. Future Play '08: *Proceedings of the 2008 Conference on Future Play: Research, Play, Share*, pp.244-247, 2008.
- [5] 藤田啓祐, 河合利幸. マウンテンバイクオリエンテーリングのためのトレーニングシステムの構成. NICOGRAPH2018, pp.128-129, 2018.
- [6] 石田雄紀, 島田哲哉, 植田晃一郎, 金田重郎. 車体傾きを許容した自転車シミュレーターの提案, 情報処理学会第 79 回全国大会論文集, pp.211-212, 2017.

- [7] 渡邊拓人, 兼松祥央, 羽田久一, 三上浩司. 競技自転車ゲームにおける操作・知覚提示に関する研究. WISS2022 ウェブ予稿集, 2-A08, 2021.
- [8] ディーラーマニュアル 基本作業書,
<https://si.shimano.com/ja/pdfs/dm/GN0001/DM-GN0001-26-JPN.pdf>. 2022 年 7 月 23 日確認

未来ビジョン

本研究はロードレースを疑似体験することに重きを置いて開発を進めている。一方でアミューズメント分野などのコンテンツに向けたコントローラとして応用し、新しい仮想空間の乗り物の体験を創り出すことも可能である。例えば、空中に浮かぶバイクや空飛ぶ箒といった体験は本研究の操舵システムを応用することで実現可能な体験になりえると推察する。また西園が述べていたような仮想空間内におけるサイクリング体験の中で、今まではただ漕ぐだけでしか勝ち負けを争うことができなかった。しかし、コーナリングや乗車姿勢といったものが検出できるようになることで VR の中での新しい駆け引きを生み出すことができるようになると考えている。本研究で得られた知見によって、新しい体験を生

み出せること、エンターテインメントにおけるサイクリングコンテンツの駆け引きやゲーム性が増やせることの 2 点に期待する。