



# Cybersickness のリアルタイム予測

## Real-time Forecasting of Cybersickness

曲木拓朗<sup>1)</sup>, Michael Vallance<sup>2)</sup>

Takuro MAGAKI, and Michael VALLANCE

- 1) 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科 (〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2, g2118038@fun.ac.jp)
- 2) 公立はこだて未来大学大学院 情報アーキテクチャ学科 (〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2, michael@fun.ac.jp)

**概要:** Virtual Reality (VR) 技術の発達とともに, Oculus Rift をはじめとした数多くの VR Head Mounted Display (VRHMD) が提供されている. VR 技術がより身近なものになる一方, VR 酔い (Cybersickness) は VRHMD を用いた VR において無視することはできない問題であり, 未だ完全には解決していない. 本研究では, Cybersickness を推定可能な複数の生理学的指標から得られる Cybersickness の指標と, Cybersickness のリアルタイム予測について考察する. そして, 考案した Cybersickness の指標の評価とリアルタイム計測方法を提案する.

**キーワード:** バーチャルリアリティ, VR 酔い, 生理学的信号

### 1. はじめに

現在の Virtual Reality (VR) は, Oculus Rift や HTC VIVE のような Head Mounted Display (HMD) を用いて体験することが一般的である. しかし, VRHMD を用いた VR 体験中, あるいは体験後に, めまいや不快感といった症状が現れることがある. これは, VR 酔い (Cybersickness) と呼ばれ, 現在の VR 技術における致命的な問題となっている. 本研究では, ウェアラブル生体センサの Empatica E4 を用いて計測した生理学的指標を用いた Cybersickness の指標の考察を行うとともに, Cybersickness のリアルタイム予測を行う. 本稿の構成として, 第 2 項で Cybersickness と生理学的指標の関連研究を取り上げた後, 第 3 項で本研究における仮説と定義を手法としてまとめる. その後第 4 項で計画している実験について紹介した後, 第 5 項で考察, 第 6 項でむすびを行う.

### 2. 関連研究

はじめに, Cybersickness についての基礎的な研究として, 原因やメカニズムについての研究が行われている. Cybersickness は, 個人差や使用されている機器, 環境や行われている VR 体験によって大きく異なるため, 問題は複雑であると言われており[1], メカニズムは未だ明確にはされていない. しかし, 視覚と三半規管の感覚情報の不一致が Cybersickness の原因であるという説が有力である[2].

また, 感覚の不一致が引き起こす現象として, ベクシオンと呼ばれる現象があり, このベクシオンの発生によって, Cybersickness の強度や発生に影響があると言われている[3]. Cybersickness の症状に似たものとして, 乗り物酔いやシミュレータ酔いがあるが, 厳密には異なるものであると言われている[4].

次に, Cybersickness の計測, 予測を行う研究が行われている. 多くの Cybersickness の研究において, Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) と呼ばれるアンケート形式の計測が行われている. SSQ は Kennedy らによってシミュレータ酔いの主観評価手法として開発された[5]. SSQ は 16 の質問項目をそれぞれ 0 から 3 の 4 段階で評価し, 3 つの SSQ のサブクラス (Nausea, Oculomotor, Disorientation) の各スコアと合計スコアが算出される. また, 生理学的反応を用いて Cybersickness を推定する研究も行われている. Dennison らは, 心電図 (ECG), 胃電図, 眼電位図, Photoplethysmogram (PPG), 呼吸, 皮膚電気活動 (GSR, EDA) を用いて VR 体験時の生体反応の変化を示した[4].

その他に, Cybersickness を軽減するための研究も行われている. Fernandes らは, VR 内の移動において視野角を動的に変化させることで, Cybersickness の発生を抑えられることを示した[6]. また, Whittinghill らは VR 空間内に仮想の鼻を表示することで Cybersickness 発生までの時間を延ばすことができることを示した[7].

現在までに我々は、[6]と[7]の Cybersickness の軽減方法に対して SSQ と生理学的指標の Heart Rate Variability (HRV) と EDA を用いて、効果の比較を行った[8]。結果として、SSQ を用いた評価では、視野角操作は Cybersickness の軽減が見られたが、仮想の鼻は効果がなく、何れの手法も個人差が大きいことが示された。対して生理学的指標を用いた評価では、カスタマイズしたセンサの不具合で HRV の値をとることができず、EDA の値も安定して取ることができなかったことから、評価を行うことができなかった。その後、生理学的指標を用いて Cybersickness の発生の推定をすることを目的とした研究を行った[9]。この研究では、VR 条件と PC 条件において同一のタスクを行い、タスクにおいて Empatica E4 から得られたデータを用いて Cybersickness の生理学的指標の比較と考察を行った。その結果、HRV の時間領域解析として、NN Mean と SDNN、RMSSD、非線形解析の Poincaré Plot の SD1, SD2, EDA の SCR width の値が Cybersickness を推定するうえで有効な指標であると提案した。しかし、この研究では被験者数が 16 人と少なく、値の変化が Cybersickness によるものとして主張することはできなかった。

### 3. 手法

#### 3.1 仮説

本研究において、Cybersickness の度数は生理学的反応から推定できると仮説を立てる。そのうえで、SSQ のスコアである Total Score (TS), Nausea Score (NS), Oculomotor Score (OS), Disorientation Score (DS)の式を生理学的反応の要素で代替することで、生理学的指標を用いた評価が可能になると考える。

#### 3.2 定義

SSQ の各スコアの式の  $a, b, c$  の値を生理学的指標の値を用いて代替する。SSQ の各スコアの定義は式(1)から式(4)とされており、 $a, b, c$  の値は SSQ のサブクラスに分類された各質問項目の合計スコアである。

$$TS = 7.34 * (a + b + c) \quad (1)$$

$$NS = 9.54 * a \quad (2)$$

$$OS = 7.58 * b \quad (3)$$

$$DS = 13.92 * c \quad (4)$$

*Proxy (parameter)* を生理学的指標の成分とし、生理学的指標を用いて求められる  $a$  を  $a'$  とすると、求める式は(5)となる。

$$a' = Proxy(parameter_1) + Proxy(parameter_2) + \dots + Proxy(parameter_n) \quad (5)$$

$a'$  と同様に  $b', c'$  を定義する。ここで  $a', b', c'$  の値は、 $a, b, c$  の値と同様に、0 から 21 を取る。そして、得られた  $a', b', c'$  の値を用いて Onset of Cybersickness (OCS) の値を算出する。(式(6))

$$OCS = 7.34 * (a' + b' + c') \quad (6)$$

### 3.3 実装

#### 3.3.1 本研究における Proxy

今回は生理学的指標として、HRV の SDNN と EDA の Mean EDA を用いる。SDNN や Mean EDA は[10]や[11]の研究において SSQ による相関が示されているため、利用可能であると考えられる。SDNN と Mean EDA の重み付けを 1 対 1 にする。SDNN の *Proxy* の値は、[9]の実験で得られた VR 条件の SSQ のデータと SDNN のデータ、Mean EDA から算出する。SSQ の NS において、SDNN と Mean EDA の *Proxy* の値をそれぞれ 0 から 1 に調整する。同様に OS, DS において *Proxy* を算出し、式(5)に当てはめると式(7)から(9)となる。

$$a' = 21 * \frac{Proxy_{NS}(SDNN) + Proxy_{NS}(Mean EDA)}{2} \quad (7)$$

$$b' = 21 * \frac{Proxy_{OS}(SDNN) + Proxy_{OS}(Mean EDA)}{2} \quad (8)$$

$$c' = 21 * \frac{Proxy_{DS}(SDNN) + Proxy_{DS}(Mean EDA)}{2} \quad (9)$$

#### 3.3.2 リアルタイム計測システム

Cybersickness のリアルタイム計測を行うためのアプリケーションとして、Cybetica と呼ばれるネイティブアプリケーションを開発した(図 1)。Cybetica は C# と Xamarin で開発され、iOS 版と Android 版がある。Cybetica は Bluetooth を用いて Empatica E4 (図 2) とアプリケーションを接続し、Empatica E4 から取得できる Blood Volume Pulse (BVP), EDA の値の他、HRV の指標として、NN Mean や SDNN の値が表示される。そして、BVP や EDA の値はリアルタイムチャートとしても表示される。また、3.2 において定義した式によって求められた値が表示される。

### 4. 実験

実験では、安静状態で 5 分間 Empatica と Cybetica による計測を実施した後、被験者に対して[9]の実験で用いられた VR 環境 (PolyWorld) において実験タスクを行わせる(図 3)。実施するタスクの内容として、PC 条件および VR 条件において、PolyWorld 内をコントローラによる移動を 5 分



図 2 : Cybatica



図 3 : PolyWorld [9]



図 1 : Empatica E4

間行い、アイテム回収させる。また、タスクの実施中に Empatica E4 と Cybatica を使用し、各条件下の HRV と EDA を計測する。そして、各条件完了後に SSQ を実施する。計測された HRV と EDA の値は、Cybatica によって Cybersickness の度数が計算され出力される。タスク中の OCS の平均値と、各タスク終了後 SSQ のトータルスコアを比較することで、今回提案する式が主観評価である SSQ を、客観評価である生理学的指標で代替することができるか妥当性の評価を行う。

## 5. 考察

本研究で提案する式によって、生理学的指標を用いた客観的な Cybersickness の度数を算出することができる。また、SSQ のようなアンケート方式では実施が困難な、リアルタイムな評価が可能になると考える。

## 6. おわりに

本稿では、生理学的指標を用いた Cybersickness の指標とリアルタイム計測手法を提案した。今後の展望として、実験を行い、定義した式を SSQ による Cybersickness の度数と比較することで評価、改善を行う。また、定義した式の調整に合わせて Cybatica の機能の更新、改善が求められる。

## 参考文献

[1] Davis, S., Nesbitt, K. and Nalivaiko, E.: A Systematic Review of Cybersickness, *Proc. Interactive Entertainments*, pp. 1-9, 2014.

- [2] 舘暉, 佐藤誠, 廣瀬通: バーチャルリアリティ学, コロナ社, 2011.
- [3] 妹尾武治, 鈴木宏昭: ベクシオンとは何だ!?, 共立出版, 2017.
- [4] Dennison, S.M., Wisti, Z.A., D'Zmura, M.: Use of physiological signals to predict cybersickness, *Display*, Vol. 44, pp. 42-52, 2016.
- [5] Kennedy, S.R., Lane, E.N., Berbaum, S.K. and Lilienthal, G.M.: Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness, *The International Journal of Aviation Psychology*, Vol. 3, No. 3, pp. 203-220, 1993.
- [6] Fernandes, S.A. and Feiner, K.S.: Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification, *Proc. IEEE International Symposium on 3D User Interfaces*, pp. 201-210, 2016.
- [7] Whittinghill, M.D., Ziegler, B., Moore, J. and Case, T.: Nasum virtualis: A simple technique for reducing simulator sickness (online), available from (<http://www.purdue.edu/newsroom/releases/2015/Q1/virtual-nose-may-reduce-simulator-sickness-in-video-games.html>) (accessed 2018-11-12)
- [8] Magaki, T. and Vallance, M.: Measuring Reduction Methods for VR Sickness in Virtual Environments, *IJVPLE*, Vol. 7, No. 2, pp. 27-42, 2017.
- [9] Magaki, T. and Vallance, M.: Developing an Accessible Evaluation Method of VR Cybersickness, *Proc. IEEE International Conference on Virtual Reality*, 2019.
- [10] Agundez, G.A., Reuter, C., Caserman, P., Konrad, R. and Göbel, S.: Identifying Cybersickness through Heart Rate Variability alterations, *IJVR*, Vol. 19, No. 1, pp. 1-10, 2019.
- [11] Nicolas, M., Nicolas, M., Pallamin, N., Ragot, M., and Diverrez, J.M.: Automatic recognition of Virtual Reality Sickness based on physiological signals (online), available from (<https://www.ibr.org/production/automatic-recognition-of-virtual-reality-sickness-based-on-physiological-signals/3337.article>) (accessed 2019-7-4).