

複数の生理指標を用いた運動ゲームにおける集中度推定法

Method of Estimating Concentration in Exercise Game by Combining Multiple Physiological Indices

武田星児 西田豊明 大本義正
Seiji Takeda Toyoaki Nishida Yoshimasa Ohmoto

京都大学大学院情報学研究科

The School of Information and Mathematical Science, Faculty of Engineering, Kyoto University

In these days, Virtual Reality has been utilized not only entertainment, but also medical care, education, welfare and fitness. In order to spread Virtual Reality in various fields, it is important that agent offer users the service based on users' own internal state. In this study, we investigated a method for estimating the degree of concentration based on the physiological indices during VR exercise games. Also, in order to confirm whether or not the degree of users' concentration keep by the advice at the timing based on the physiological indices, we controlled. As a result, in experimental group, the subjective degree of users' concentration increased. In addition, the number of reaction of SCR decreased and of LF/HF increased. The results of the experiment suggest the possibility of inducing users to intended state by the advice at the timing based on the physiological indices.

1. はじめに

近年、仮想現実にはエンターテインメントの場だけでなく、医療や福祉、フィットネスなどの日常の活動にも応用されつつある。若松らは、VR ゲームの導入により、現実感あるゲーム体験が行えるようになることで、認知症老人同士での会話が弾み、精神刺激に優位に働いたという結果を得ている [若松 95]。また、富川らは、仮想現実で内視鏡外科手術を再現するシステムを構築し、システムを用いたトレーニングがスキル向上において有用であることを示している。[富川 11]

このように、仮想現実を用いることで、実施に人件費などのコストがかかるようなタスクや普段簡単に体験出来ないような状況を再現し、体験することが可能となる。このような体験を必要とする人の殆どは、再現された状況に慣れていないといえる。従って、仮想現実における活動をより効率よく実施するには、適切な指導を行うエージェントの存在が必要である。

しかし、フィットネスのように長期的な継続を目的とする場合、常に同じメニューを提示するだけのエージェントでは効率よい活動は期待できない。同じ運動であっても、利用者の体調や気分によって負荷の感じ方が変わるためである。したがって、運動中の内部状態を推定することで利用者に適した運動メニューを提示する必要があるといえる。

そこで、本研究では、仮想現実を用いたフィットネスにおいて、運動中の集中度を推定し、長期的にフィットネス体験を提供出来るエージェントの実現を最終目標に設定した。目標達成のためにはまずどのように集中度を推定するかを検討し、短期的に集中度を保つエージェントを実現する必要があるのをこれを研究目標とした。

2. 先行研究

フィットネスの継続を目的にした先行研究についていくつか紹介する。mokka らは、エクササイズバイクで仮想現実内を走り回るシステムを構築し、あたかも自分が仮想現実内で自転車漕いでいるような感覚を提供している [Mokka 03]。この

研究では、視覚的な楽しさを提供することで運動の面白さを上げようとしている。

益子らは、心拍数を運動強度の指標として、目標の運動強度を維持するためにメニューや動作パターンをリアルタイムで設定するボクササイズシステムを構築している [益子 07]。この研究では、心拍数を計測し、その値をゲームに反映させて運動負荷を調整することで誰にでも適度な運動達成感を提供できるようにしている。このアプローチは、運動強度の維持を目標にするような他の運動についても応用できると考えられる。

本研究では、運動中にリアルタイムで集中度を推定し、運動中に状態を修正する方法について検討する。運動という実施時間が固まっているタスクにおいて、オフラインでの集中度推定では個人の差に対応できないためである。運動中に集中度を推定する必要があるため、推定する手段として生理指標を用いることにした。

3. 集中度について

本研究では、運動中の集中度が「運動の計画に対する反応」と「運動の刺激に対する適応反応」の二つから成り立っていると仮定する。

鬼ごっこで追いかける立場にいる人を例に考えると、どこに逃げ隠れるのかを考える際の頭の反応は「運動の計画に対する反応」に相当し、状況に合わせて逃げようとする際の体の反応は「運動の刺激に対する適応反応」に相当するといえる。

この二つの反応のどちらかが強い状態にある際に「運動に対して集中している」状態であるとみなし、そうでない場合に、エージェントが働きかけることで運動に対する集中度を回復させる必要があると考えた。

運動中の内部状態推定を行っている先行研究 ([Nikolic 11],[山崎 05]) では、ヨガやペース走のような単純な運動をタスクに設定しているため、「運動の刺激に対する適応反応」のみを推定していたといえる。仮想現実が持つエンターテインメント性をフィットネスに適用するためには、このような単純な運動だけではなく、思考を伴うような運動ゲームにおいて内部状態推定ができるようになる必要があると考えた。

連絡先: 武田星児 京都大学大学院情報学研究科
stakeda@ii.ist.i.kyoto-u.ac.jp

3.1 検証実験の概要

まず、運動中の集中度が、生理指標にどのように反映されているかを検証するために実験を行った。実験参加者はその場で毎分 120 歩程度の速さで足踏み運動を行いながら、スクリーン上に表示される暗算問題 (図 1) や漢字パズル (図 2) に解答してもらう。暗算問題と漢字パズルはそれぞれ 10 分ずつ行った。計測した生理指標は、精神性発汗を表す SCR と、心拍の揺らぎを表す LF/HF の二つであり、どちらも安静時の内部状態の推定に広く用いられている ([棟方 12],[阪本 12])。

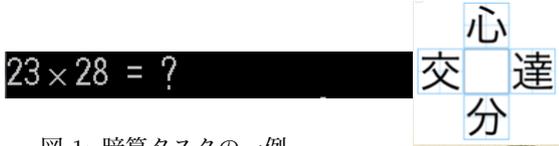


図 1: 暗算タスクの一例



図 2: 漢字タスク

データ解析の結果、与えられた問題に対して頭を動かしている際に SCR が多く反応していることがわかった。図 3 は、計算タスクを実施している途中の SCR の時系列の一部を表したものである。赤線は問題をスクリーンに表示した時点を表しており、問題が表示されてから解答するまでに複数回大きく反応している様子が見られた。また、解答時間が短い問題、つまり簡単な問題に対しては SCR は殆ど反応しなかった。このことから、「運動の計画に対する反応」は SCR の変動から推定出来ると考えられる。

また、今回のタスクにおいて、問題の表示の有無と LF/HF の反応には傾向が見られなかった。LF/HF は上記のように運動中のストレス推定に用いられていることから、思考を伴うような運動においても、「運動の刺激に対する適応反応」は LF/HF の変動で推定出来ると考えられる。

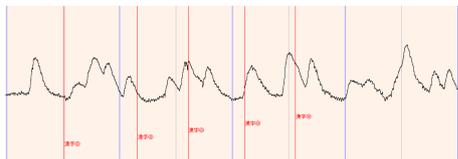


図 3: タスク中の SCR の反応の一例

3.2 考察

検証実験の結果、「運動の計画に対する反応」は SCR から、「運動の刺激に対する適応反応」は LF/HF から推定できることが確認された。この結果をもとに図 4 のような集中度推定モデルを作成した。

運動中はなるべく運動そのものに集中していることが望ましいため、LF/HF の変動量が大きい右側の状態が望ましい。しかし、思考を伴う運動を行う上で、運動への準備は出来ていないが思考を働かせている状態についても運動に対して集中している状態であると見なすことは出来る。とはいえ、このような状態が長続きすると、フィットネスに必要な運動状態を維持できないため、ゲームのルール変更や AI の行動の変化などによって運動そのものに集中するように誘導することが必要であると考えられる。

本研究では、左下の状態のみを集中できていない状態であると見なし、利用者がこの状態に遷移しつつあると判断した際に助言を行うことによって集中度の維持を図った。

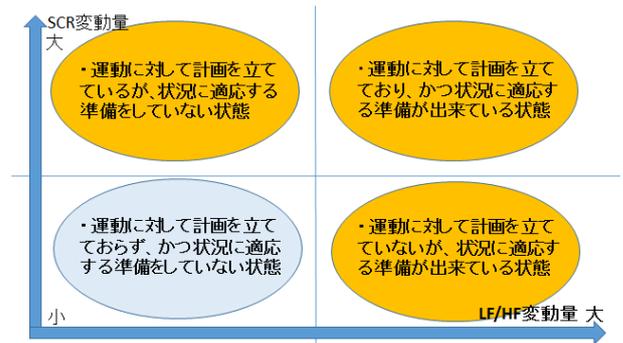


図 4: 集中度推定モデル

4. 評価実験

4.1 概要

検証実験で作成した集中度推定モデルが、プレイヤーの集中度の維持に有効かどうかを評価する実験を実施した。タスクである VR 運動ゲームについては 5 章 3 節を参照のこと。実験参加者は VR 運動ゲームのルール説明を聞いた後、指導エージェントの説明に従い練習を行い、操作方法を理解した上でゲームを 3 ゲーム実施する。

実験群では手前 30 秒間において SCR と LF/HF の反応が弱くなるタイミングで、対照群では実験参加者の手前 30 秒間の運動量が低下するタイミングで運動に対して集中していないと判断し、戦略的な助言をゲームの状況に応じて WoZ 操作で行う。ここで、戦略的な助言とは、VR 運動ゲームでより効率よく得点を取る方法を伝えることであり、例えば同じターゲットを競り合っている状況が続いて得点が取れないという場合は、ターゲットやプレイヤーの動向を見ながら相手が密集していないエリアに移動することを伝えることなどが挙げられる。このような助言は、実験群と対照群で同様のものを用意し、状況に応じて発話を行った。

実験参加者は京都大学の学生 20 名 (内男性 13 名、女性 7 名) で、平均年齢は 21.6 歳であった。この 20 名を性別ごとに無作為に二つのグループに分割した。

4.2 VR 運動ゲームシステムの概要

実験で用いた VR 運動ゲームシステムについて図 5 に示す。

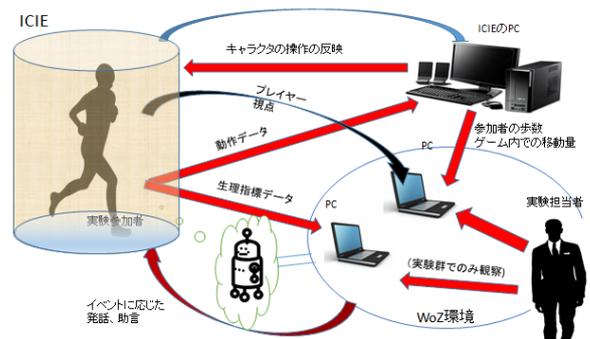


図 5: VR 運動ゲームシステム

運動ゲームを実施する環境として、没入型協調的インタラ



図 6: ICIE

クション環境 ICIE*¹を用いた (図 6)。プレイヤーの周囲 360° をスクリーンで囲うことにより、プレイヤー本人があたかも仮想現実内にいるかのように振る舞うことが可能となる。

実験参加者は生体信号計測機器の Polymate mini を腰に、9 軸ワイヤレスモーションセンサの ZMP@IMU-Z2 を腰、右腕、両膝に装着した状態で運動を行う。Polymate mini では得られた SCR と LF/HF の値をリアルタイムで計算し、WoZ 環境の PC に送信する。ZMP@IMU-Z2 では移動動作、腰部方向、投擲動作を抽出してゲームに反映させ、運動量を抽出して WoZ 環境の PC 送信する。WoZ 環境ではこれらの情報とゲームの状況をモニタリングし、ゲーム内のイベントに応じて発話を行う。

4.3 VR 運動ゲーム

VR 運動ゲームのルールについて簡単に説明する。参加プレイヤーは実験参加者 1 名と AI2 名の三つ巴で対戦を行う。8 分の制限時間内に、フィールド内に出現するターゲットをより多く得点エリアに運んだプレイヤーが勝利となる。

操作方法は移動、方向転換、投擲動作の三種類のみである。どの操作においても直感的に操作方法が理解出来るように設定している。投擲動作は相手の行動を妨害するために用意されている。投擲動作を行うことによって仮想現実内でボールを投げることができ、ボールを相手にぶつけることにより相手の行動を止めたり、相手が取得したターゲットや得点を奪うことが可能となっている。この投擲動作により、ターゲットを手に入れるための作戦が複数存在することになり、思考を伴う運動が行えるようになってきている。

5. 結果・考察

戦略的な助言を行ったタイミングは、実験群と対照群ともに 2 ゲーム目の中盤から 3 ゲーム目の序盤にかけてであった。

表 1、2 は、アンケートにおいて、練習後に実施した 3 ゲームに対して集中して取り組んだ順番に順位付けを行った結果である (最も集中していたゲームは 1, 最も集中していなかったゲームは 3 をつけている)。Freedman 検定の結果、対照群では順位付けに有意差が見られなかった ($p=0.904$) のに対して、実験群では順位付けに有意差が見られた ($p=0.005$)。この結果から、生理指標の変動量低下のタイミングで助言を行うことにより、運動中の主観的な集中度を増加することができたと考えられる。

図 7、8 は、実験群の 1 ゲーム目と 3 ゲーム目、つまり助言

表 1: 実験群

実験参加者	1 ゲーム目	2 ゲーム目	3 ゲーム目
A	3	1	2
B	2	1	3
C	3	2	1
D	2	1	3
E	3	2	1
F	3	1	2
G	3	1	2
H	3	2	1
I	3	2	1
J	3	2	1

表 2: 対照群

実験参加者	1 ゲーム目	2 ゲーム目	3 ゲーム目
a	3	2	1
b	3	2	1
c	1	2	3
d	2	1	3
e	1	2	3
f	2	1	3
g	2	3	1
h	2	3	1
i	1	2	3
j	3	2	1

を行った前後における、SCR と LF/HF の反応回数の変化を表している。なお、実験群において、SCR の反応が全く起こらなかった例が一件見られたので、計測失敗と見なし、この一名を除いた 9 名の反応回数について表示している。

1 ゲーム目の反応回数と 3 ゲーム目の反応回数に対して t-検定をかけた結果、SCR ($p=0.0328$)、LF/HF ($p=0.0229$) ともに有意差が見られた。このことから、生理指標の変動量の低下のタイミングで助言を行うことにより、SCR の反応回数が減少し、LF/HF の反応回数が増加したことがいえる。SCR の

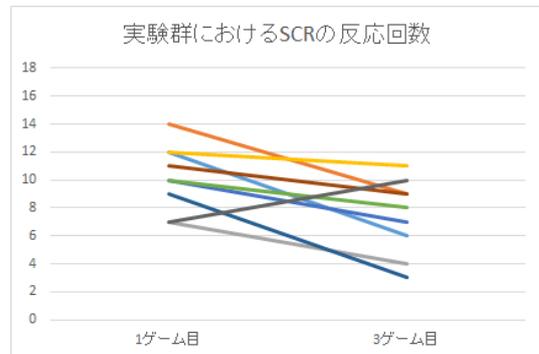


図 7: 実験群の SCR

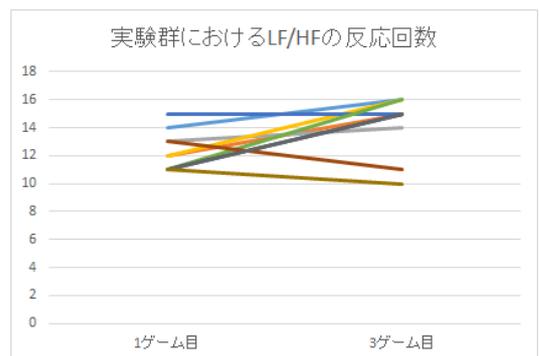


図 8: 実験群の LF/HF

反応回数が減少した理由は、戦略的な助言が受け入れられたことにより、プレイヤー自身が戦略を試行錯誤する必要がなくなったためであると考えられる。戦略が固まった分、より運動そのものに対して集中することができたために LF/HF の反応回数が増加したと考えることも出来る。

図 9 は、実験群における相対的な集中状態の変化を赤の矢印

*1 Immersive Collaborative Interaction Environment

で表したものである。1 ゲーム目に比べて2 ゲーム目の序盤、中盤は各生理指標の変動量が減少する傾向にあったが、戦略的な助言を行い、行動方針の変化を促すことによって3 ゲーム目には LF/HF の変動量が大きくなり、運動に集中している状態に遷移した。一方、対照群においては集中状態の変化にこのような傾向が見られず、個人差が生じていた。このことから、生理指標の変動量に基づくタイミングでの助言によってプレイヤーの集中状態を誘導出来る可能性を示唆している。

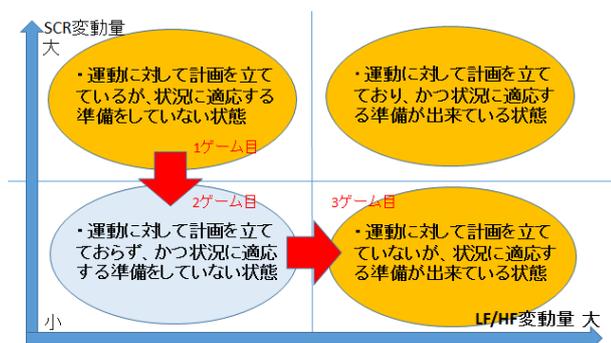


図 9: 実験群における集中状態の遷移

6. まとめ

本研究では、運動中の集中度が、頭を働かせている際の「運動の計画に対する反応」と体を反応させようとする際の「運動の刺激に対する適応反応」の二つの反応から成り立っていると仮定し、それぞれの反応について推定する方法について検証した。検証実験の結果、SCR が「運動の計画に対する反応」に、LF/HF が「運動の刺激に対する適応反応」に対応しているであろうということがわかった。

また、この結果から SCR と LF/HF の変動量の大小によって集中度の推定モデルを作成し、これに基づいたタイミングで助言を行うことで、運動中のプレイヤーの集中度を保つことが可能かどうかを評価した。評価実験の結果、実験群において、助言を行った前後で利用者の主観的な集中度の増加と SCR の変動量の減少、LF/HF の変動量の増加が見られた。この結果は、集中度が低下するタイミングで助言を行うことで、発話内容に説得力を持たせ、プレイヤーの行動や状態を意図する方向に誘導できる可能性を示唆している。

今後の課題として、推定モデルにおける SCR と LF/HF の変動量を定量化し、普遍的な運動中の集中度推定モデルを作成することや、SCR 変動量を増加させるための助言以外の方法について検討することなどが挙げられる。

7. 謝辞

本研究 (の一部) は独立行政法人科学技術振興機構 (JST) の研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」の支援によって行われた。

参考文献

[Mokka 03] Mokka, Sari and Vaatanen, Antti and Heinila, Juhani and Valkkynen, Pasi.: Fitness computer game with a bodily user interface, in em Proceedings of

the second international conference on Entertainment computing, pp. 1–3Carnegie Mellon University (2003).

[益子 07] 益子 宗, 星野 准一: フィットネスゲームにおける心拍数制御法の提案, 情報処理学会研究報告. EC, エンタテインメントコンピューティング, Vol. 2007, No. 18, pp. 41–48 (2007).

[阪本 12] 阪本 清美, 浅原重夫, 坂下誠司: 生理心理計測による 3DTV 視聴時の感情状態推定の試み (第 86 回 ヒューマンインタフェース学会研究会コミュニケーション支援および一般), ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 14, pp. 121–126 (2012).

[若松 95] 若松 秀俊 大久保順 司, 兎東俊成, 田中邦明, 横田則夫, 東郷清児: バーチャルリアリティを用いた「遊び」による痴呆性老人の機能訓練, 第 34 回 日本 ME 学会大会論文集, Vol. 270, (1995).

[棟方 12] 棟方 渚, 志水雅俊, 松原仁: 皮膚電気活動を用いた数独問題の難易度評価, 情報処理学会研究報告. UBI, [ユビキタスコンピューティングシステム], Vol. 2012, No. 6, pp. 1–4 (2012).

[富川 11] 富川 盛雅, 橋爪誠: バーチャルリアリティシミュレータを用いた内視鏡外科手術トレーニングシステム (外科医のトレーニングシステム, 会員のための企画), 日本外科学会雑誌, Vol. 112, No. 4, pp. 255–261 (2011).

[Nikolic 11] Nikolic-Popovic, Jelena and Goubran, Rafik: Measuring heart rate, breathing rate and skin conductance during exercise, Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2011 IEEE International Workshop on, IEEE, p507-511 (2011).

[山崎 05] 山崎健 and 馬場裕子: 04-25-53A02-11 長距離ランニング中のペース変化と瞬時心拍変動 (04 運動生理学, 一般研究発表), 日本体育学会大会予稿集, No56, p.228 (2005).