アイトラッキング指標に基づくプレイヤの退屈検出とイベント生成 (Eye-Tracking– Based Player Boredom Detection and Event Generation)

北陸先端科学技術大学院大学 学生番号 2450001
氏名 池田 龍治
主任研究指導教員氏名 池田 心

1. はじめに

ゲームにおいて，プレイヤが楽しさを維持し続けるためには，スキルレベルと挑戦レベルのバランスが重要であることが，フロー理論において示されている [1]．簡単すぎる課題は退屈をもたらし，難しすぎる課題は不安をもたらすため，プレイヤの状態に合わせた動的難易度調整（Dynamic Difficulty Adjustment; DDA）が古くから研究されてきた [2]．従来の DDA 手法は，クリア時間やスコアなどのゲーム内成績に基づいて難易度を調整するものが一般的であるが，これらはプレイヤの内面的な心理状態を直接捉えているわけではなく，本来必要な調整とは異なる調整を行ってしまう恐れがある．プレイヤの心理状態を推定するために生体情報を用いる試みも存在するが，脳波や心拍数などの計測には装着型センサが必要であり，自然なプレイ体験を阻害する可能性がある．一方，瞳孔径は認知負荷や覚醒水準と関連することが報告されており，Strauch らは単純なゲーム Pong において瞳孔径とゲーム難易度の対応関係を確認し，瞳孔径に基づく DDA の可能性を示した [3]．そこで本研究では，非接触で取得可能な視線情報に着目し，Tobii 社製の非装着型アイトラッカー [4] を用いてプレイヤの瞳孔径および視線データを取得し，退屈状態をリアルタイムに推定するシステムを構築した．推定結果に基づいてゲーム内イベントの発生タイミングを動的に制御することで，プレイヤの退屈を抑制することを目指す．対象ゲームには，MOD による拡張性が高く研究プラットフォームとしても広く利用されている Minecraft[5] を採用した．

2. 研究方法

本システムは，視線計測および退屈推定を担う Python 計測・推定器と，ゲーム内制御を担う Minecraft Mod（Fabric Mod）の 2 つのサブシステムから構成される．両者は TCP ソケット通信（JSONL 形式）により接続され，独立した開発・変更が可能である．Python 側では，Tobii SDK を通じて視線座標および瞳孔径データを取得し，リングバッファに蓄積する．一定間隔でウィンドウベースの特徴量（視線速度平均，視線分散，瞳孔径平均，瞳孔径標準偏差）を算出し，練習フェーズで計測したベースラインに対する z 値として標準化した上で，sigmoid 関数により 0 – 1 の退屈スコアへ変換する．退屈スコアが閾値を超えると退屈状態（ON）と判定し，ヒステリシス制御により状態遷移の安定化を図っている．Minecraft 側では，Python 側から受信した退屈推定結果に基づき，タスク種別に応じたイベント発火を行う．実験環境として，石ブロックで構成された $25 \times 25 \times 10$ の閉鎖型闘技場を構築し，視覚的要因による瞳孔径への影響を低減した．プレイヤはゾンビ等の敵 Mob と戦闘を行い，刺激イベントとして敵 3 体の追加出現（ADD_ENEMIES）および装備付きゾンビ 1 体の出現（SPAWN_ELITE）を定義した．実験では 2 種類の条件を設定した．条件 A（退屈検出ベース）では，退屈状態への遷移をトリガーとして刺激イベントを発生させる．条件 B（固定頻度）では，退屈推定とは無関係に 1 分に 1 件の頻度でイベントを発生させるベースライン条件とした．参加者 5 名に対し，各参加者が ABAB または BABA の順序で計 4 試行（各 10 分間）を行い，全 20 試行のデータを収集した．各試行後には 6 項目の主観評価アンケートを実施した．

3. 結果と考察

退屈推定について，全 20 試行の退屈スコア平均値は 0.471 ± 0.098，退屈状態が ON であった時間の割合（boredom_on_ratio）は 0.456 ± 0.297 であった．退屈状態の検出頻度には参加者間で大きなばらつきがあり，参加者 04 は boredom_on_ratio が 0.630 – 0.822 と一貫して高い値を示した一方，参加者 03 では退屈状態がほとんど検出されない試行も観測された．このような参加者間の差異は，瞳孔径の個人差やゲームに対する取り組み方の違いを反映している可能性がある．刺激イベントの発生状況について，条件 B では設計通り全試行でイベント件数が 10 件であった一方，条件 A ではイベント件数が 1 件から 31 件まで幅広く分布し，退屈検出頻度に応じた適応的な制御が実現されていた一方で，想定を超える幅となっており，個人ごとの閾値調整が今後必要であることが示唆された．主観評価では，条件 A は条件 B に比べて「退屈を感じた」が低く（A: 2.10 ± 1.10, B: 3.20 ± 1.62），「集中できていた」が高かった（A: 4.60 ± 0.52, B: 3.80 ± 1.03）．また，「ストレスを感じた」も条件 A の方が低く（A: 1.50 ± 0.53, B: 2.60 ± 1.58），退屈検出に基づくイベント制御が退屈感の抑制と集中の維持に寄与した可能性が示唆された．一方，「敵増加タイミング適切」は条件 A（2.70 ± 0.48）が条件 B（1.70 ± 0.48）よりも「適切」側に近く，退屈検出に基づくタイミング制御が参加者の主観的な期待により合致していた．「難易度適切」は両条件とも「やや簡単すぎる」寄りであり，イベント内容の段階化による改善の余地がある．ただし，主観評価には参加者間で大きな個人差が認められた．参加者 04 は「退屈を感じた」が 4.00 ± 0.82 と高い値を示したのに対し，参加者 03 は全試行で 1 と回答した．しかし参加者 03 は条件 A でイベントが 1 回しか発火しなかった試行もあり，提案手法によって退屈を解消することに失敗していた．これは，退屈推定の精度に個人差が大きく影響しており，閾値設定やベースラインの個人適合が十分でない可能性を示唆している．

4. まとめ

本研究では，非装着型アイトラッカーを用いて瞳孔径および視線データからプレイヤの退屈状態をリアルタイムに推定し，推定結果に基づいて Minecraft 内の刺激イベントを動的に制御するシステムを提案した．5 名の参加者による実験の結果，退屈検出に基づくイベント制御（条件 A）は固定頻度のイベント制御（条件 B）と比較して，主観的な退屈感の低減および集中感の維持に寄与する傾向が確認された．一方で，退屈推定の精度には参加者間の個人差が大きく影響しており，今後は参加者ごとに推定感度を調整するキャリブレーション手続きの導入や，イベント内容の多様化・段階化が課題である．

参考文献（最大 5 件）

[1] Mihaly Csikszentmihalyi. Flow: The psychology of optimal experience. Harper & Row, 1990.

[2] Robin Hunicke and Vernell Chapman. AI for dynamic difficulty adjustment in games. In AAAI-04 Workshop on Challenges in Game Artificial Intelligence, pp. 91 – 96, 2004.

[3] Christoph Strauch, Michael Barthelmaes, Elisa Altgassen, and Anke Huckauf. Pupil dilation fulfills the requirements for dynamic difficulty adjustment in gaming on the example of Pong. In ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications, ETRA ’20, pp. 1 – 9, June 2020.

[4] Tobii. Tobii Pro Spark. https://connect.tobii.com/s/products/eye-trackers/tobii-pro-spark?language=ja. Accessed: January 29, 2026.

[5] Daniel Lee, Gopi Krishnan Rajbahadur, Dayi Lin, Mohammed Sayagh, Cor-Paul Bezemer, and Ahmed E. Hassan. An empirical study of the characteristics of popular Minecraft mods. Empirical Software Engineering, Vol. 25, No. 5, pp. 3396 – 3429, August 2020.