

格闘ゲームにおける生物学的制約を取り入れた 人間らしい挙動をする AI AI with Human-Like Behaviors That Incorporates Biological Constraints in Fighting Games

山梨 真実

Mami Yamanashi

法政大学情報科学部デジタルメディア学科

E-mail: mami.yamanashi.4g@stu.hosei.ac.jp

Abstract

In video games, the behaviors of non-player characters (NPCs) are important in entertaining players. Machine learning-based AI for such NPCs has been spreading. Since their behaviors are usually optimized in strength, people may feel that they are mechanical. For more enjoyable games, AI needs to exhibit human-like behaviors. A previous study incorporated biological constraints to create AI with human-like behaviors. It used the following four biological constraints: sensory errors, perceptual and motion delays, physical fatigue, and balance between repetition and novelty. This paper proposes the use of tension as an additional biological constraint that has both good and bad effects. When the tension has a good effect, it makes other biological constraints have a little influence. When the tension has a bad effect, it makes them have a large impact. These constraints were applied to the Q-learning-based AI of an NPC in a fighting game called FightingICE. The following three instances of AI were implemented: AI with biological constraints including tension, AI with biological constraints without tension, and AI with Q-learning only. The paper shows the results of the experimental comparison of these AI instances and presents the evaluation of how much they exhibited human-like behaviors.

1. はじめに

ゲーム開発において、プレイヤーを楽しませるための工夫は重要である。ノンプレイヤーキャラクタ(NPC)のデザインは近年、機械学習を取り入れたものが多く開発されているが、それらの多くは強さを追求したものとなっている。強い NPC の挙動は動きが最適化されていることから、人間にとっては機械的に感じられることがある。このため、プレイヤーに娯楽を与えるためにこのような NPC を用いることは適していない。そこで、プレイヤーを楽しませるために、人間らしさを備えた NPC の開発に注目が集まっている。

本研究は、人間らしい NPC を実現するために、生物学的制約を用いたゲーム AI の新しい構築手法を提案する。生物学的制約として、藤井らの研究 [1] で定義されたもの(ゆらぎ、遅れ、疲れ、訓練と挑戦のバランス)に加え、緊張による制約を新たに導入する。人間プレイヤーは、戦況に応じて感じる緊張の度合いによって操作精度が変化すると考える。適度な緊張はパフォーマンスを向上させるが、過度な緊張は逆にパフォーマンスを低下させる。本研究ではこの緊張の特性をモデル化して NPC に反映する。具体的には、緊張によるパフォーマンスへの影響が与えられるかどうかを確率的に決定し、影響が与えられる場合には藤井らの用いた生物学的制約のうち、ゆらぎと疲れの制約に緩急をつける。さらにパフォーマンスに良い影響を与える場合と悪い影響を与える場合に分け、良い影響を与える場合にはゆらぎと疲れによる制約を弱め、悪い影響を与える場合には制約を強める。影響が与えられるかどうかの確率は原則ゲーム開始後からの経過時間が長くなるほど高くなるよう設定する。本研究では、Q 学習 [2] を用いて学習させた格闘ゲーム FightingICE [3] の NPC に緊張による制約を取り入れて実験を行い、NPC が人間らしい挙動を示したかどうかを評価する。

2. 関連研究

藤井ら [1] は、人間らしい NPC を実現するために、人間の生物学的制約の条件下で機械学習を用いた。人間の生物学的制約として、ゆらぎ、遅れ、疲れの身体的な制約と、生き延びるために必要な欲求である、訓練と挑戦のバランスを定義し、これらの制約を課すことで、ゲーム開発者のヒューリスティックや、ゲームタイトルごとの人間らしさの解析に依存しない、人間らしさを持った NPC の挙動を獲得できるとしている。この研究では Q 学習を用いて、定義した生物学的制約を導入している。提案手法の適用には、ゲームの仕様やゲーム環境パラメータが公開されている横スクロール型のアクションゲームで、世界的に有名なゲームであるスーパーマリオワールドを模した Infinite Mario Bros. を用いている。主観評価による実験を行い、Q 学習によって生成された NPC について、生物学的制約の導入をしたものの方が、導入していないものよりも人間らしいという結果が示されている。

対戦型アクションゲームにおいてプレイヤーが NPC の行動パターンを覚えてしまい、ゲームに飽きてしまう問題の解決策として、服部ら [4]は、人間プレイヤーの行動を模倣することによって NPC の行動パターンを豊かにしている。Schrum ら [5]は、人間プレイヤーの挙動をトレースしたデータベースをもとに、人間らしい挙動を定義してニューラルネットにおける制約として課している。この研究で作成された NPC は、NPC の人間らしさを競うコンテストである The 2K BotPrize で 2012 年に大会史上初、人間よりも人間らしいと評価されている。

スポーツにおける緊張とパフォーマンスの関係について、Hardy ら [6]は、認知不安(自信をなくしたり、悲観的になったりすること)と生理的覚醒(呼吸が速くなったり、発汗したりすること)からパフォーマンスを推定するカタストロフィーモデルを提唱している。認知的不安が低いときには、生理的覚醒とパフォーマンスが逆 U 字型の関係となり、認知的不安が高いときには、生理的覚醒が一定以上に上昇するとパフォーマンスが急激に低下し、認知的不安が低下しても元に戻らないことを示している。

3. 準備

3.1. Q 学習

Q 学習 [2]は強化学習の手法の 1 つである。時刻 t における状態 s_t において、Q 値が最大となる行動 a_t を最適の行動とする。Q 値は状態行動価値とも呼び、ある状態において、ある行動を取ったときの価値を表す数値である。Q 値は以下の式で更新する。

$$Q(s_t, a_t) \leftarrow (1 - \alpha)Q(s_t, a_t) + \alpha (r_{t+1} + \gamma \max_{a_{t+1}} Q(s_{t+1}, a_{t+1}))$$

r_t は時刻 t における即時報酬である。 α は学習率で、Q 値の更新をどれだけ急激に行うかの数値である。 γ は割引率を示すパラメータであり、将来の価値をどれだけ割引くかの数値である。

3.2. 藤井らの手法

藤井ら [1]が定義した生物学的制約である、ゆらぎ、遅れ、疲れ、訓練と挑戦のバランスについて、各制約の具体的な導入方法は次の通りである。NPC が操作する対象の現在位置やゲームの局面情報に対して、ゆらぎはガウスノイズの付与を行うことで、遅れは数百ミリ秒過去の情報にすることで表現している。疲れは NPC が学習する際、キー操作変更による負の報酬を与えることで表現し、訓練と挑戦のバランスは、失敗を繰り返している局面では数奇な行動に挑戦する傾向を高め、失敗をほとんどしないゲーム局面では同じ行動を繰り返して訓練する傾向を高めることで表現している。

これらの生物学的制約を Q 学習に課し、行動の選択手法として ϵ -greedy 法を用いている。 ϵ -greedy 法とは、 $1 - \epsilon$ の確率で Q 値が最大になる行動を選択し、 ϵ の確率でランダムに行動を選択する手法である。藤井らの手法の適用先は、Infinite Mario Bros. であり、Q 学習の際に必要な状態 s 、行動 a 、報酬 r の定義は次の通りである。状態 s は、NPC の操作キャラクター(マリオ)を中心に 7×7 ブロッ

ク(1 ブロックは 16×16 pixel)の敵と地形の情報、マリオの進行方向、マリオの大きさ(「スーパーマリオ」か「ちびマリオ」か)、マリオが地上にいるかの 4 種類についての状態を持つようにしている。行動 a はマリオの動きに対応させ、12 種類に分けて設定している。報酬 r は、ステージを早く進むことに対して正の報酬を、ダメージを受ける、死亡することに対して負の報酬を与え、また、キー操作変更による疲れの表現のため、キー操作を変更した際にも負の報酬を与えている。

3.3. FightingICE

FightingICE [3] (図 1)は AI の研究を目的として作成された格闘ゲームで、P1 と P2 の 1 対 1 で戦う形式となっている。AI によってキャラクターを操作するだけでなく、人間のプレイヤーが操作して対戦することもできる。1 ラウンドは 60 秒で、1 秒あたり 60 フレームである。1 フレーム毎に AI はキャラクターの位置情報、体力(HP)などの情報を取得でき、これらの情報をもとに AI を作成することができる。

このゲームには藤井らの研究で用いられた生物学的制約における遅れにあたる制約が元から導入されている。AI が取得できる情報は 15 フレーム分過去の情報となっている。これは人間の視覚による反応速度を反映している。



図 1 FightingICE のゲーム画面

4. 提案手法

本研究では、藤井らの定義している生物学的制約に加え、新たに緊張による制約を導入する。適度な緊張は集中力を高めるなどパフォーマンスを向上させるが、過度な緊張は動悸が激しくなったり、発汗したりするなど逆にパフォーマンスを低下させる。この点を表現するため、緊張が良い影響を与える場合(以下、ポジティブな緊張)と悪い影響を与える影響を与える場合(以下、ネガティブな緊張)に分け、それぞれで藤井らの生物学的制約のうち、ゆらぎと疲れの与え方を変化させる。ゲームのプレイ中、緊張によるパフォーマンスへの影響はある場合とない場合があると考え、緊張による制約は確率的に与えられるようにする。緊張による制約が与えられる局面において、ポジティブな緊張ではゆらぎと疲れを弱めることで、ネガティブな緊張では同じ制約を強めることで緊張を表現し、より人間らしい NPC の実現を目指す。

4.1. 緊張の導入

本研究では緊張により変化させる生物学的制約はゆらぎ、疲れとし、遅れ、訓練と挑戦のバランスについては制約に変化を与えない。遅れの制約に変化を与えない理由は、3.3節に述べた通り、FightingICEには元から遅延が導入されているためである。訓練と挑戦のバランスによる制約に変化を与えない理由は、訓練と挑戦のバランスは生き延びるために必要な欲求と定義されており、緊張の度合いによるこの制約に対する影響はないと考えたためである。

時間 t (フレーム)における、緊張による制約が与えられる確率を p_{tension} とし、次の通り定める。

$$p_{\text{tension}} = 0.001 \times \left(\left\lceil \frac{t}{600} \right\rceil + 1 \right) \times k$$

格闘ゲームにおいて一般に、人間プレイヤーにとって緊張する度合いはゲーム開始直後よりも、一定時間経過した局面の方が増えると考え、ゲームの経過時間に応じて p_{tension} が高まるようにしている。1ラウンドの60秒を10秒ごとの6段階に分け、初めの段階では p_{tension} が0.1%になるよう設定し、段階が1つ上がるごとに確率を0.1%ずつ増加させる。さらに、時間経過の他に緊張が高まると考えられる、特定の局面においても p_{tension} を高める処理を別途行うために、 k を特定の局面にあたらぬときには1に設定し、特定の局面にあたる際には2に設定することで、緊張する確率をこの特定の局面で元の2倍にする。本研究ではこの局面を、対戦相手とのHPが同程度の状態のまま5秒以上が経過した局面と定義する。HPが同程度というのは相手とのHP差が20以内である状態とする。

4.2. ポジティブな緊張とネガティブな緊張

緊張による制約が与えられる場合、その制約がポジティブな緊張となるかネガティブな緊張となるかは50%ずつの確率で分かれるものとする。どちらもゆらぎと疲れの制約に変化を与えるが、ポジティブな緊張ではこれらの制約を弱め、ネガティブな緊張では強めるようにする。元のゆらぎの値を R_s 、元の疲れの値を R_p とすると、緊張による制約が与えられた際の新たなゆらぎ、疲れの値を、ポジティブな緊張による値はそれぞれ $0.5R_s$ 、 $0.5R_p$ で、ネガティブな緊張による値はそれぞれ $1.5R_s$ 、 $1.5R_p$ で求める。これは、ゆらぎと疲れの制約を弱めることで緊張がパフォーマンスに良い影響を与えるようになることを表現し、反対に制約を強めることで緊張がパフォーマンスに悪い影響を与えるようになることを表現している。

5. 実装

藤井らの生物学的制約のみを取り入れたNPC、藤井らの生物学的制約に加えて提案手法である緊張による制約を取り入れたNPC、Q学習のみのNPCの計3種類のNPCを実装した。

5.1. Q学習における状態の設定

AIの取得できる情報は座標や体力など様々あるが、すべての情報を取得し状態を区分してしまうと、Q学習で用いる状態の数が膨大となり、莫大な計算量となる。そ

こで本研究では状態数を抑えるため、取得する情報はキャラクタの座標情報のみとし、具体的には相手のx座標、y座標と自身のx座標を用いるようにした。また、それぞれの座標を1pixelごとに区分するのではなく、ゲーム画面を 50×50 ブロックに分割し、取得した座標がどのブロックに所属するかで区分するようにした。

5.2. Q学習における報酬の設定

格闘ゲームにおいて相手のHPを減らすことは最大の目標であり、逆に相手からダメージを受けることは減らすべきである。したがって、Q学習に用いる時間 t における報酬 r は次の通りに設定する。

$$r = \text{damaged} + \text{attack} + \text{keyPress}$$

damagedはダメージを受けたときの罰で、ダメージを受けていないときには0、ダメージを受けたときには-25としている。attackは敵のHPを減らしたときの報酬で、HPを減らしていないときに0、減らしたときには、与えたダメージの5倍としている。keyPressは4.2節の R_p と同等で疲れによる罰であり、Q学習のみのNPCでは生物学的制約を与えないため0とする。藤井らの生物学的制約のみを取り入れたNPCでは-5とし、提案手法に基づくNPCでは緊張による制約が与えられない場合には-5、与えられる場合には4.2節で述べた通りに値を変更する。

6. 実験

6.1. 被験者と実験方法

作成したNPCの挙動から人間らしさを実際に感じられるかどうかについて検証するため、21~24歳の6名(男性2名、女性4名)を対象に主観評価による実験を行った。被験者には自身の格闘ゲームのプレイ経験の有無と経験のある場合にはプレイ時間またはどの程度の経験があるかを回答してもらった。その回答を基に被験者を分類すると、初級者3名、中級者2名、上級者1名となった。

実験方法は次の通りである。まず、被験者には同じAI(HaibuAI)を相手とした12種類の対戦動画(表1に内訳と略称を示す)をランダムに見てもらう。その後、対戦動画のそれぞれに対して、P1とP2のどちらが人間らしいと感じたかを7段階で評価してもらう。さらに、P1とP2のそれぞれについても、人間らしいと感じた点と逆に人間らしくないと感じた点について12種類の動画すべてに自由記述をしてもらう。

表1 用意した12種類の動画

	勝ち	負け	引き分け
先行研究に基づくNPC	先勝	先負	先分
人間	人勝	人負	人分
提案手法に基づくNPC	提勝	提負	提分
Q学習のみ	Q勝	Q負	Q分

6.2. 結果

実験の結果を図2に示す。人間のプレイしたものは、「人負」のみ中立の回答が多くなっているが、「人勝」、「人分」については、他のNPCと比較しても高い割合で人間らしいと判断された。次いで人間らしいと判断され

た割合が高くなっているのは提案手法に基づく NPC と Q 学習のみの NPC となった。本実験では先行研究に基づく NPC が、人間らしいと判断された割合が最も低くなった。

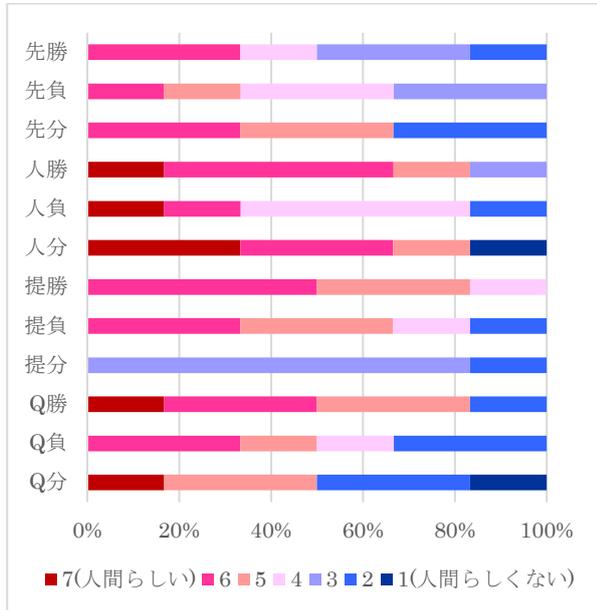


図2 人間らしいと感じたかの評価

7. 議論

実験結果(図2)と自由記述質問の回答をもとに、まず、緊張の導入により人間らしさの獲得ができたかどうかを考察する。先行研究に基づく NPC と提案手法に基づく NPC では、提案手法に基づく NPCの方が人間らしいと判断された割合は高かった。この結果からは、緊張の導入により人間らしさが高まったといえる。自由記述質問では、提案手法に基づく NPC が人間らしいと感じた点として、「守りに入るときに上手く距離をとっていた」など、相手との距離感が人間らしいと感じられたという回答が対戦結果の勝敗関係なく見られた。他にも「提勝」での回答として、「相手が詰めてくるのに合わせて技を振っている気がした」などの攻撃を出すタイミングに関する回答や、「提負」では、「端に寄せて相手をはめようとしていた」などの攻め方に関する回答が多く見られた。

次に、人間らしさの獲得における、緊張の有無の是非について議論する。自由記述質問の回答では、緊張によって感じられる人間らしい点は見られなかった。これは、ゲームのプレイ映像を通じてそのプレイヤーが緊張しているかどうかを視聴している人間が適切に判断することは難しく、ゲームをしている人間プレイヤーがどの程度の技量で、また、対戦相手はどのような人間であるのかまたは人間でないのかなどの様々な要素を考慮しないと判断しにくいから、一概に緊張の有無の是非を決定することはできない。図2の評価結果のみで判断すると、生物学的制約には緊張による制約の変化を与えた方がより人間らしい NPC を作成できるといえる。

本実験では、提案手法に基づく NPC による動画のうち、「提分」のみ人間らしくないという割合が高かった。こ

の動画での自由記述質問の回答によると、「遠距離攻撃が飛んできているのに避けたり防御したりせずに攻撃をしていた」などの遠距離からの攻撃を回避できていない点を人間らしくない挙動としてあげている回答が多かった。本研究で作成した AI は自身の座標と相手の座標のみを状態として取得し、学習をさせたものであるため、相手からの攻撃を認知するセンサの役割を果たすものがない。そのため、遠距離からの攻撃が来たとしても避けるのが最適であることを学習できておらず、人間らしくないと判断される挙動をする AI となった。この挙動を改善するためには、相手からの攻撃が当たる位置を取得し、Q 学習の状態に考慮することが考えられる。

8. おわりに

本研究では、格闘ゲームにおいてより人間らしい挙動をする AI を作成することを目的として、緊張を新たな制約として生物学的制約に加え、Q 学習を用いて FightingICE に適用した。先行研究の制約のみで作成した AI よりも、緊張による制約の変化を与えて作成した AI の方が人間らしいという実験結果となったものの、具体的に緊張が感じられた挙動に関する回答はなかったため、緊張の導入によってどの程度人間らしさの向上に繋がったかはさらに研究を重ねる必要がある。NPC に対して人間らしさを与えるためには緊張をどのようにモデル化すべきか、人間らしさを判断する人間の、ゲームの技量や認知度にも応じて変更を与える必要があると考える。

文 献

- [1] 藤井叙人, 佐藤祐一, 若間弘典, 風井浩志, 片寄晴弘, "生物学的制約の導入によるビデオゲームエージェントの「人間らしい」振舞いの自動獲得," 情報処理学会論文誌, vol. 55, no. 7, pp. 1655-1664, 2014.
- [2] C. J. C. H. Watkins and P. Dayan, "Q-Learning," *Machine Learning*, vol. 8, pp. 279-292, 1992.
- [3] F. Lu, K. Yamamoto, L. H. Nomura, S. Mizuno, Y. Lee and R. Thawonmas, "Fighting Game Artificial Intelligence Competition Platform," *Proc. IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 320-323, 2013.
- [4] 星野准一, 服部裕介, 田中彰人, "対戦型アクションゲームにおけるプレイヤーの模倣行動の生成," 情報処理学会研究報告: ゲーム情報学, vol. 17, no. 20, pp. 1-8, 2007.
- [5] J. Schrum, I. V. Karpov and R. Miikkulainen, "Human-like Behavior via Neuroevolution of Combat Behavior and Replay of Human Traces," *Proc. IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pp. 329-336, 2011.
- [6] L. Hardy and G. Parfitt, "A Catastrophe Model of Anxiety and Performance," *British Journal of Psychology*, vol. 82, no. 2, pp. 163-178, 1991.