

氏 名	藤 井 叙 人
学位の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	甲理第167号（文部科学省への報告番号甲第597号）
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位授与年月日	2016年2月17日
学位論文題目	人間らしい振る舞いを自動獲得するゲームAIに関する研究
論文審査委員	（主査） 教授 片 寄 晴 弘 （副査） 教授 北 村 泰 彦 教授 井 村 誠 孝 籙 瀬 洋 平（ユニティ・テクノロジーズ・ジャパン合同会社、クリエイティブ・ストラテジスト）

シンギュラリティ（技術的特異点）というキーワードが科学技術領域のみならず、社会・経済の領域でも取り上げられつつある。このキーワードの中核となる技術が人工知能であり、将棋や囲碁の領域で計算機が人間のプロ棋士に勝ったニュースが報道されたことも記憶に新しい。長らく人工知能の目的は、人間の賢さに匹敵する知能を実現することであったが、その目標は達成されつつある。そのような時代背景のもと、人工知能領域の研究に対する興味は、人間らしさとは何かの追求、パートナーとして人に寄り添うエージェントの構成、社会的な実問題の解決手段の構築などに変遷しつつある。「チェスはAIのショウジョウバエである」と言われるように、ゲームは、人工知能研究の題材として古くから取り上げられ、その発展に大きく寄与してきた。一方、ここ20年は、エンタテインメント産業でのニーズにも対応し、ゲーム AI に関する研究が積極的に執り行なわれてきた。そのような背景のもと、本研究は、プログラマが明にコーディングしないという制約のもと、自律的に“強く”、さらには、“人間らしい”ふるまいを獲得するゲーム AI を構成することを目的として実施された。

論文内容の要旨

ビデオゲームにおけるエージェント（ゲーム AI が制御するキャラクタ）の振る舞いの自動獲得において、「人間の熟達者に勝利する」という長年の目標が達成されつつある。「強さを追求したゲーム AI」は、人智を凌駕するコンピュータの実現に多大な功績を残している。一方で、これらのゲーム AI が獲得したエージェントの振る舞いは過度に最適化されているため、人間プレイヤーにとって機械的に映るという問題が浮き彫りになっている。ゲーム情報学領域における次のステップとしては、「人間らしい知性を再現すること」、すなわち、十分に強くなったゲーム AI に如何にして「人間らしさ」を持たせるか、ゲーム AI と一緒に遊んだ人間プレイヤーを如何にして「楽しませる」かが重要なテーマの一つとなっている。特にビデオゲーム業界では、プレイフィールド（プレイ時の感覚や印象）を決定づける要因の一つであるゲーム AI（COM：Computer Player あるいは NPC：Non-Player Character とも呼称される）の存在を無視することはできない。ユーザー数の増加、ひいては、売上の増加には、人間らしいゲーム AI、人間プレイヤーを楽しませるゲーム AI の実装が欠かせない。そのため、市販ビデオゲームでは、プログラマの経験に基づく綿密な作り込みと、数多くのデバッグプレイを繰り返すことにより、プレイヤーのレベルにあわせた難易度の調整を含めたゲーム AI の振る舞いのデザインがなされてきたが、その作業は極めて煩雑であり、リアリティを追求すると開発コスト

が膨大とならざるをえない。人間らしく振る舞うエージェントを機械学習により自動獲得するゲーム AI の試みもいくつか報告されているが、「人間らしさ」は個人性が強い項目であることも影響して、人間らしいと思われる振る舞いの定義をどうするか、及び、人間らしさをどう評価するかという課題に直面している。

本研究では、人間らしい振る舞いを表出するエージェントを、開発者のヒューリスティックに頼って実現するのではなく、機械学習手法により自動的に獲得するゲーム AI の開発を目標とした。人間らしく振る舞うゲーム AI の構成要素を検討した上で、構成要素の一つである、人間プレイヤーに戦略レベルで適応するゲーム AI と、人間プレイヤーと同様に生物学的制約を持つゲーム AI の実現手法を提案した。まずは、戦略型ビデオ TCG を対象に、戦略を自動学習する戦略学習機構としてゲーム AI を実装した。戦略学習における困難性として、部分観測に起因した巨大な状態空間が挙げられるが、サンプリング手法や、ゲームの特徴を考慮した次元圧縮により克服した。戦略学習機構の評価として、ルールベース戦略を相手に学習実験を実施し、戦略学習機構が様々な戦略への適応できていること、魔法や罠などの特殊効果に起因する新たなルールの追加にも対応できていることを示した。次に、アクションゲームの“Infinite Mario Bros.”を学習対象とし、『人間の生物学的制約』を導入した機械学習及び経路探索により、人間らしい振る舞いを表出するゲーム AI を実装した。人間の生物学的制約としては「身体的な制約：“ゆらぎ”、“遅れ”、“疲れ”」、「生き延びるために必要な欲求：“訓練と挑戦のバランス”」と定義し、獲得されたエージェントの振る舞いが人間らしいかどうかを主観評価実験により検証した。実験結果から、生物学的制約を導入したゲーム AI は、人間プレイヤーよりも人間らしいと評定されることが確認できた。しかしながら、エンタテインメント系システムの主観評価実験では、ユーザのシステムに対する経験や知識、実験手順が結果に大きく影響するため、実験の信頼性を確保することが非常に難しい。そこで、本研究では、ユーザ統制や実験手法による主観評価実験の信頼性確保を最終目的とし、その足掛かりとして、エンタテインメント性を公正に評価するために考慮すべき統制視点について議論した。具体的な実験計画として、アクションゲームの“ヨッシーアイランド”のプレイ動画視聴における主観評価実験を実施し、その評定結果と発話プロトコル分析から、実験参加者間の評定結果の差異、及び、実験参加者内での評価基準の変化が生じる例を示した。

論文審査結果の要旨

本論文は、「人間らしい振る舞い」を表出するゲーム AI を、開発者のヒューリスティックに頼るのではなく、機械学習手法により自律的に構成させることを目標として実施された研究について報告している。この目標を実現するあたり、本論文では、人間プレイヤーのレベルに適応して強くなるゲーム AI と、人間的と見える振る舞いを自律的に獲得するゲーム AI の実現手法の提案がなされ、また、「人間らしさ」をどう評価していったらよいかという問題意識に立脚し、エンタテインメント系システムの主観評価実験に関する議論が行われている。

人間プレイヤーのレベルに適応して強くなるゲーム AI については、戦略型ビデオトレーディングカードゲームを対象として、強化学習によって戦略を自動学習するゲーム AI が実装された。戦略学習における困難性として部分観測に起因した巨大な状態空間への対処があるが、ここでは、サンプリング手法と次元圧縮によりこの問題の解決がはかられた。ルールベース戦略を相手にした実験により、戦略学習機構が、様々な戦略に対応可能であること、また、新たなルールがプレイ途中で追加された場合にも適応しうることが示された。

人間的と見える振る舞いを自律的に獲得するゲーム AI については、アクションゲームの“Infinite Mario Bros.”を学習対象として、『人間の生物学的制約』を導入した機械学習及び経路探索によって人間らしい振る舞いを表出するゲーム AI の提案が行われた。ここで、人間の生物学的制約は「身体的な制約：“ゆらぎ”、“遅れ”、“疲れ”」、「生き延びるために必要な欲求：“訓練と挑戦のバランス”」であり、これらの制約

の下、獲得されたエージェントの振る舞いがどのように見えるのかの評価実験が実施された。評価実験の結果、生物学的制約を導入することで、人間プレイヤーよりも人間らしいと評定される振る舞いが自律的に獲得される状況が示された。

エンタテインメント系システムの主観評価実験については、ユーザのシステムに対する経験や知識、実験手順が結果に大きく影響することが経験的に知られていたが、今まで、精緻な検討は実施されていなかった。本論文では、アクションゲームの“ヨッシーアイランド”のプレイ動画視聴における主観評価実験を実施し、その評定結果と発話プロトコル分析から、実験参加者間の評定結果の差異、及び、実験参加者内での評価基準の変化が生じる例を示した上で、エンタテインメント系システムの主観評価実験の実施法に関するガイドラインの議論がなされている。

本論文の内容「人間プレイヤーのレベルに適応して強くなるゲーム AI」、「人間的と見える振る舞いを自律的に獲得するゲーム AI」は、それぞれ、査読付き原著論文として、情報処理学会論文誌にて公表されている。「エンタテインメント系システムの主観評価実験」については、情報処理学会シンポジウムエンタテインメントコンピューティング2015においてベストペーパーとして選出され、同特集号の発刊に向け、原著論文としての招待を受けている。また、査読付き国際会議において、同内容を含む4件の口頭発表が著者自身によってなされた。本研究に関連した対外学術発表で、著者は、計6件の学術賞を受賞している。審査委員は、本論文の内容を中心に面接と公開の論文発表会を行い、著者が論文内容、および、関連する分野について深い学識を有し、また将来の研究遂行に対しても十分な能力を持つことを確認した。以上により、審査委員会は本論文の著者が博士（工学）の学位を授与されるに足る十分な資格を有するものと判定した。

2016年2月9日