

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：13302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700144

研究課題名(和文)共進化を用いたライバル的存在となりうるゲームAIの構成

研究課題名(英文)Production of game AIs using co-evolution which can be rivals of human players

研究代表者

池田 心(Ikeda, Kokoro)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80362416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間を楽しませることを目的に、プレイヤーの力量に合わせ、不自然な手抜きが少なく、戦略が多様であるようなAIを作成する技術を提唱し、その前提としての強さの向上や、学術用プラットフォームの公開も行った。対象はオセロ、囲碁、ぷよぷよ、大戦略、上海である。オセロと囲碁では実際を楽しませるプログラムを作成し、被験者実験を通じてその効果を確認した。オセロでは共進化を用いて、プレイヤーと同程度でありながら戦略がそれぞれ異なる個体群をオフラインで最適化する技術を確立した。囲碁ではプレイヤーを楽しませるために必要な要素を列挙したうえで、不自然さを抑制してオンラインで形勢を制御する手法を確立した。

研究成果の概要(英文)：The main purpose of this research is to entertain human players. For this purpose, methodologies for generating computer players have been proposed, which can control the position according to the opponent's level, reduce the frequency of unnatural moves, and produce varied strategies. In addition, researches for improving the strength of computer players have been also done, and an academic platform of a game has been also published. The target games are Othello, Go, Puyo-pop, Turn-Based Strategy and Mahjong Titans.

For Othello and Go, entertaining programs were proposed and evaluated through experiments using human subjects, and the effectiveness were proved. For Othello, co-evolution approach was used so that the computer players had almost the same strength to a human, and had different strategies from other players. For Go, many requirements for entertaining players were summarized in a list, and an online position control method which can reduce the unnatural moves was proposed.

研究分野：ゲーム情報学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：ゲーム 楽しませるAI 多様性 囲碁 ぷよぷよ オセロ 共進化 モンテカルロ木探索

1. 研究開始当初の背景

(1) ゲームと人工知能：最適化，推論，機械学習などの人工知能技術は年々高度さと多様さを増し，人間社会のあらゆる部分でさまざまに利用されている．数十年前よりボードゲームは，その明解さと評価のしやすさから，人工知能技術の良い適用対象として研究されており，多くの人工知能技術がゲームを通して発展してきた．

(2) 強い対戦プログラム：ゲームにおける主要な目標は，強いコンピュータプレイヤーを作ることであった．チェスでは 1997 年に世界チャンピオンがコンピュータプログラムに敗れ，将棋でもボナンザ法の発明によりその強さはプロ棋士レベルに迫り，最も困難とされていた囲碁でもモンテカルロ木探索の導入によってアマチュア高段者レベルに至っている．強さという意味では，大多数の人間プレイヤーにとって十分な強さのコンピュータプレイヤーを作ることは困難でなくなっている場合が多い．

(3) 2つの方向性：ボードゲームで強いプログラムを作ることが可能になりつつある現状を踏まえ，近年の研究動向としては，対象をボードゲーム以外のゲームにすることと，目的を強さ以外のものにするということという2つの方向性が注目されており，そのような研究発表が国内，国外ともに増えてきている．

(4) ボードゲーム以外のゲーム：国内では，囲碁と将棋という極めて完成度の高い人気ゲームを持つことからこの2つのゲームの研究が中心的であった．しかし海外では，チェスのチャンピオンが早期に敗れたことから，それ以外のゲームへの移行が進んでいる．すなわち，不完全情報ゲーム，非ゼロサムゲーム，多人数ゲーム，非交互着手ゲーム，非離散ゲームなど，より複雑な対象である．いわゆるテレビゲームの多くはこれらの特徴を持ち，海外では学会会議でも多く取り上げられている．これらの研究を進めるには，比較や再現を容易にするため学術用の共通開発環境が必要であるが，テレビゲームの場合その種類の多さやルールの複雑さから十分整備が進んでいないという課題もある．

(5) 強さ以外の目標：ゲームを通して人々を幸福にすることがゲーム情報学の究極目標であるとすると，対戦できるコンピュータプレイヤーを強くすることは，その要素の1つに過ぎない．強すぎる相手に負かされたり，逆にあからさまな手抜きをされたりすることは多くの場合不愉快なことであり，そのプログラムひいてはそのゲームへの興味を失うことに繋がりうる．プレイヤーを楽しませるということを主眼に，そのために何が必要でどのように解決すべきかという研究は未だ不十分であり，近年重要視されるようになって

きている．

2. 研究の目的

(1) ライバル的存在となりうる相手：本課題では，人間プレイヤーが継続的にそのゲームを1人で楽しめるような，上達のお供としての相手プレイヤー（これをライバル的存在と称する）を作成するための技術を確立することを主目的とした．このためには，人間プレイヤーの力量に合わせることで，不自然な手抜きが少ないこと，戦略が多様であること，が求められる．

人間プレイヤーの力量に合わせて手加減する：囲碁や将棋など，ハンデキャップの付け方が確立されているゲームも多いが，麻雀やオセロのように有名でありながら良いハンデキャップの付けることが難しいゲームも多い．さらに多くの場合，人間プレイヤーはハンデキャップを付けることを好ましく思わない．そのため，人間プレイヤーの力量をプレイ前あるいはプレイ中に推測しながら，それに合わせて強さを手加減することが必要になる．

不自然な手抜きを減らす：人間プレイヤーよりも強いコンピュータプレイヤーにとって，有利な局面を互角になるように単に制御することはそう難しいことではない．しかし，そのために明らかな悪い手，不自然な手抜きを行えば，多くの場合それは人間プレイヤーに見抜かれ，不愉快に思われてしまう．そこで，この目的と同時に，その手加減があまりに不自然でないようにする必要がある．

多様な戦略を演出する：多くのゲームでは，人間プレイヤー達は仮に同じくらいの強さの人達であってもそれぞれ多様な戦略を持ち，また気分などによって一人のプレイヤーも異なる戦略を用いてくる．これが対戦の楽しみの一つであるため，コンピュータプレイヤーの戦略も多様であることが望ましい．これに加え，その多様な戦略をプログラマがゲームごとに手作業で組み込むのではなく，半自動的に多様な戦略が生成される仕組みがあるほうがより望ましい．

(2) 学術用の研究プラットフォーム：学術論文としての価値を考えると，ゲームプログラムに関する論文では，その結果が再現できたり，既存のプログラムとの比較が容易であったりすることが求められる．旧来の対象である囲碁や将棋の場合，そのルールは数も曖昧さも少ないため，再現や比較は概ね容易である．しかしテレビゲームを対象とする場合，各研究者が環境を独自に開発するのでは，まずその手間がかかるうえ，別の研究者からす

ると再現や比較が事実上できなくなるという問題がある。Super Mario bros., Starcraft, PacMan など海外でも有名なゲームでは、学術用の共通プラットフォームが公開されており、これを用いた研究や競技会も盛んである。これに対し主に国内でのみ有名なゲームにはこのようなプラットフォームが存在しない場合が多く、これを拡充・公開することを本課題の副目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究方法の3つの分類：本課題の達成のためとった方法は、1. ゲームの選択と基盤となる強いプログラムの作成、2. ライバル的存在のための要件定義と作成、3. 学術用プラットフォームの作成、の3つに大きく分類される。

(2) 1. ゲームの選択と基盤となる強いプログラムの作成：最終目的がライバル的存在となりうるコンピュータプレイヤーであり、そのためには手加減や多様な戦略の演出が必要であるが、その前提としてコンピュータプレイヤーが十分人間の初中級者よりも強いことが求められる。そこで、まずそれが可能であるような対象を選んだうえで、現状の強さが不十分な対象については改善することが必要である。具体的には、比較的単純なルールを持つ、オセロ、囲碁、ぷよぷよ、上海、大戦略の5つを対象ゲームとして選択した。

(3) 2. ライバル的存在のための要件定義と作成：オセロ・囲碁・ぷよぷよについては、本課題開始前から比較的強いコンピュータプレイヤーを有しており、主目的であるライバル的存在のための研究を開始しやすい状況にあった。そこでこれらについて、各々のゲームごとにあるいは一般的に、ライバル的存在となるためにはどのような要素がコンピュータに求められるのかを、インタビューや被験者実験なども踏まえてリスト化することを行った。そのうえで、それぞれのゲームについて、要素の一部または全体について、実現するためのアプローチを考案、実装した。そのうちの一つは、本課題のタイトルでもある、共進化である。

(4) 3. 学術用プラットフォームの作成：ぷよぷよと大戦略は、どちらも主に日本でのみ有名な人気ゲームである。しかしこれをそのまま研究対象として用いることは、著作権上の問題に加え、ルールが複雑すぎて扱いにくいという問題がある。そこで、これらを参考にしたうえでルールを単純化した別のゲームを作成、公開するというアプローチをとる。その際には、これらのゲームの面白さや難しさの本質がどのルールから来ているのかを吟味し、本質的なものだけを採用ルールとして抽出するという方法をとる。さらには、こ

れを公開したうえで利用者の意見を聞きながら改善を行っていくという方法をとる。

4. 研究成果

(1) オセロ：オセロは本課題の主要な対象の一つであり、共進化を用いた研究と、強さのための研究の二つを行い、共に査読つき会議に採録された。

共進化を用いた研究：オセロは単純なルールを持ち、評価に用いるべきパターンの形や特徴量も良く知られているため、高速な強いプログラムを作成することは比較的容易である。そこで、まず人間プレイヤーの打った手を「どの程度最善手から離れているか」という観点から対戦中に評価するというアイデアを考案した。プレイヤーの強さを持ったエージェントを対戦相手にオフライン学習で進化計算の一つである共進化を行い、その際に「他の個体（戦略）とどの程度異なるか」を指標の1つに用いた。これにより、多様な戦略を用いつ特定の人間プレイヤーと同程度の強さを持つプログラムが作成できる。この効果は被験者実験を用いて確認された（学会発表）。

強さのための研究：オセロでは「隅を取るべき」といった重要なパターンが良く知られているが、一般のゲームでそれを知るためには十分な経験と熟達が必要である。そこで、機械学習のために自動的に重要なパターンを見つけるための一般的な指標を提案し、オセロでその効果を実証した（雑誌論文）。

(2) 囲碁：囲碁は本課題の主要な対象の一つであり、また世界的にも注目度の高い対象である。これについても、楽しませるための研究、強さのための研究を行い、4本の論文が採録された。

楽しませる研究：囲碁の世界では、人間同士でも“接待碁”と呼ばれる、上級者が初中級者を楽しませるための碁が嗜まれることがしばしばある。本研究ではここに注目し、接待碁の際に上級者が何を考えているかを聞き取りし、それが情報学の分野で言うところのどのような要件になるのかを整理した。その上で、不自然な手を打たないで形勢を制御する方法、自動的にではないがいくつかの特定の戦略を演出する方法を考案した（雑誌論文、学会発表、）。

強さのための研究：上記の研究の中で、楽しませるためには人間にとって自然な手を打つことが要件の一つになることが確認されたが、自然な手を定義し実現することは、強いプログラムを作成することにも役立つ。本研究では、機械学習で得た評価関

数を，モンテカルロ木探索に3つの形で援用して性能を上げることに成功した(学会発表)。

(3) ぷよぷよ：ぷよぷよは落ちものパズルに分類される人気ゲームであるがそのアルゴリズムの研究は学術的には少なかった。本課題の前にすでにルールを単純化した別ゲームとして学術用プラットフォームを公開しており，本課題内では，強さおよび楽しませることを目的に研究を行い，2つの論文が採録された(雑誌論文 ，学会発表)。

ぷよぷよの古典的なアルゴリズム(1999年，池田発表)では，平均10連鎖ほどもを組むことができたが，これは人間とは全く異なる思考過程と見た目を持つものだった。一部のプレイヤは人間と異なるという点をむしろ好意的に捉えたが，人間らしい連鎖を組む技術も一方で求められていた。そこで本研究では，定型連鎖といういわゆる囲碁や将棋での定石や定跡のようなものを実現するためのマッチング手法を提案し，平均連鎖を12程度に延ばすだけでなく，戦略の多様さや面白さのためにも寄与した。

(4) 大戦略：大戦略はターン制戦略ゲームの古典として有名なシリーズであり，将棋のようなごく単純な戦略ゲームと，starcraftのような複雑なテレビゲームの中間に位置する存在である。そこで本研究では，将棋がプロレベルに至った現状を踏まえ，次の目標として，さらに大戦略よりも単純で将棋との中間に位置するようなゲームを提案，対象とすることにした。そのためには，数十あるゲームのルールについて吟味し，含めるべきものとそうでないものに分け，その上で思考ルーチンのみを作成できるような学術用プラットフォームを作成，公開する必要がある。

そこで本課題では，学術用プラットフォームをwebページに公開したうえで，その意義やルール・仕様を説明する論文を発表した(学会発表)。さらに，将棋とは違って1回の手番(ターン)で全ての駒を動かすことができるという大きな特徴に対して，全ての合法手を考えずにその一部だけを探索の対象にすることで強いプログラムを作成することを提案し，論文を発表した(学会発表)。

(5) 上海：上海はMahjong Titansの名でWindowsに標準搭載されている一人パズルである。本課題は二人ゲームを中心対象としているが，パズルゲームでも面白い問題を作成するためには「適度な難しさ」「多様性の確保」など二人ゲームと似たような要素が必要になる。本研究では，オセロで得た知見をもとに，人間の初級者と中級者を模したエージェントを作成，初級者エージェントには解けないが中級者エージェントには解ける問題を適度な難しさの問題であると定義したうえで，それを自動判別・自動生成するための

アルゴリズムを提案した(学会発表)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

Huy Nguyen, Kokolo Ikeda, Evaluation of Pattern Shapes in Board Games before Machine-Learning, International Journal of Electrical Engineering, Vol. 20, No. 2, 査読あり, 2013, 39-49.

池田 心, 楽しませる囲碁・将棋プログラミング, オペレーションズ・リサーチ学会, 査読なし, Vol.58, No.3, 2013, 167-173.

富沢大介, 池田 心, 落下型パズルゲームの定石形配置法とぷよぷよへの適用, 情報処理学会論文誌, 査読あり, Vol.53, No.11, 2012, 2560-2570.

<https://dspace.jaist.ac.jp/dspace/handle/10119/10913>

[学会発表](計8件)

藤木 翼, 村山公志朗, 池田 心, ターン制ストラテジーにおける状態評価関数を用いた深さ限定モンテカルロの適用, エンターテインメントと認知科学研究ステーション第8回シンポジウム, 2014-03-19, 調布, 東京都

村山公志朗, 藤木翼, 池田 心, 学術研究用プラットフォームとしての大戦略系ゲームのルール提案, 第18回ゲームプログラミングワークショップ, 2013-11-08, 箱根, 神奈川県

大町洋, 佐藤直之, 池田 心, 複数ソルバを用いた上海ゲームのインスタンス生成, 第18回ゲームプログラミングワークショップ, 2013-11-08, 箱根, 神奈川県

Kokolo Ikeda, Simon Viennot, Efficiency of Static Knowledge Bias in Monte-Carlo Tree Search, Computers and Games, 2013-08-12, 横浜, 神奈川県

Kokolo Ikeda, Simon Viennot, Production of Various Strategies and Position Control for Monte-Carlo Go - Entertaining human players, IEEE-CIG, 2013-08-11, Niagara falls, Canada

Kokolo Ikeda, Yu Tanaka, Simon Viennot, Nguyen Huy Quoc and Yohei Ueda, Adaptation of Game AIs using Genetic

Algorithm: Keeping Variety and Suitable Strength, SCIS-ISIS2012, 2012-11-20, 神戸, 兵庫県

池田 心, Simon Viennot, モンテカルロ碁における多様な戦略の演出と形勢の制御 ~ 接待碁 AI に向けて, 第 17 回ゲームプログラミングワークショップ, 2012-11-09, 箱根, 神奈川県

Kokolo Ikeda, Daisuke Tomizawa, Simon Viennot, Yuu Tanaka, Playing PuyoPuyo: Two Search Algorithms for Constructing Chain and Tactical Heuristics, IEEE-CIG, 2012-09-11, Granada Spain

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://www.jaist.ac.jp/is/labs/ikeda-lab/tbs> に, ターン制戦略ゲームの学術用プラットフォームを公開.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 心 (IKEDA KOKORO)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 80362416

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: