

令和元年6月13日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00506

研究課題名（和文）言語モデルと数理モデルを用いた知的思考ゲームの解析

研究課題名（英文）Analysis of Intelligent Games using Language and Mathematical Models

研究代表者

中村 貞吾（Nakamura, Teigo）

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：40198221

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：組合せゲーム理論における差分ゲームとモンテカルロ木探索を組み合わせることにより、勝率が一方に大きく偏ったような局面でも最善手を発見することを可能にする探索法を開発した。また、囲碁の着手や局面を適切に表現するために、部分的な配置情報と手順情報を用いた囲碁用語の付与を行なった。さらに、対局者の個々の着手が最善手からどの程度乖離しているかを表わす誤謬度の分布を用いて、対局者の棋力を推定する手法を提案しその有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の囲碁AIの実力は人間のチャンピオンを超えるまでになったが、ゲームを正しく理解して最善手を追求することは勝敗だけでは測れない要素を含んでおり、まだまだ課題は残されている。また、AIと人間とはゲームの理解の仕方は大きく異なるので、その内容を人間に理解可能な形で説明することが求められる。本研究は、これらの課題の解決を目指して、探索手法の開発やゲーム局面の言語表現を行なった。

研究成果の概要（英文）：We proposed a new search method to find an optimal move using Monte Carlo tree search combined with difference games, even if the situation is overwhelming ahead or behind. We assigned appropriate Go terms to Go moves and positions using local configurations and sequence information. We proposed a method to estimate the strength of players using error rates of each move.

研究分野：知能情報学

キーワード：ゲームプログラミング モンテカルロ木探索 組合せゲーム理論 囲碁 棋譜解説

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究を開始した2015年は、チェスコンピュータ Deep Blue が人間のチャンピオンを破ってから18年余が経過し、ついに、コンピュータ将棋もトップと肩を並べるまでの実力に到達した状況にあった。これらの成功は、高性能の計算機ハードウェアに支えられた高速な探索に加えて、局面評価関数の機械学習の成功によってもたらされたといえる。一方、思考ゲーム研究のもう一つのターゲットである囲碁は、基本的に広大な盤面のどこにでも打てるという着手の自由度と、個々の石に区別がなく盤上での他の石との位置関係から役割が決まり、その役割は局面的な進行とともに変化していくという性質に起因する局面評価の困難さのため、2000年代はじめ頃までのコンピュータの実力はプロ棋士に遠く及ばない状況が続いていた。その後、2006年にモンテカルロ碁と呼ばれるシミュレーションに基づいた局面評価を行なうアプローチが成功をおさめて以来、右肩上がりであり実力が向上して順調に歩を進めてきてはいたが、それでも、2015年当時は、コンピュータ囲碁がトップに到達するには、モンテカルロ木探索の性能向上をはじめとして、まだいくつかのブレークスルーが必要だと考えられていた。

(2) 囲碁はチェスや将棋と違って、個々の石に先験的な役割が定まっていたために、プレイヤーは石の配置や周囲の状況によって石群の役割を識別する必要がある。人間はこれを言葉を用いて認識し、着手においても言語レベルの思考を行っているということがこれまでの研究により明らかにされている。また、囲碁は別名「手談」とも呼ばれるように、対局は着手を通じたコミュニケーションであるとみなすことができ、ゲームの持つ言語的側面を解明することは、ゲーム研究自体の発展にとどまらず、さまざまなメディアを通じたヒューマンコミュニケーション研究の発展にも寄与すると考えられる。

(3) こうした認知的科学的な手法が待望される一方で、組合せゲーム理論を用いた数理的な手法も知的ゲームの解析に重要な役割を果たしている。特に、Berlekamp 教授らが行った囲碁の終局面付近でのヨセの研究では、「先手/後手/逆先手」といった概念を数学的に定式化し、プロ棋士も誤るような問題を見事に解決するなどの素晴らしい成果が示されている。また、この手法をヨセ以外の部分問題に適用する試みも行なわれてきている。しかし、これらを一般の局面に対して適用するためには、部分局面間の相互作用の影響の解決や、繰返し構造を持つ局面の解析など課題は山積しており、個々の手法を補間し統合するモデルが望まれる。

2. 研究の目的

(1) 対戦型思考ゲームをプレイする際、プレイヤーは相手の着手からその意図や戦略を見出しそれに応じて着手を行っており、対局は着手を通じた言語的コミュニケーションであると考えられる。本研究は、思考ゲームの中でも特に囲碁を対象として、一局のゲームを言語的側面から捉えて記述して、思考ゲームと言語との関わりを明らかにするとともに、数理的な解析から得られた局面評価に基づいた意味を与えることを目的とする。

(2) 本研究の成果は、盤面認識や着手候補選出などゲームプレイシステムの中核として利用できるのみならず、棋譜からの解説文生成や自然言語で記述された特徴による棋譜検索など、思考ゲームに関する自然言語システムへの幅広い応用が考えられる。特に、この言語モデルを基礎として、言語を通じたゲームの理解や学習をサポートするシステムを作成することは、高齢者などのリフレッシュ教育という観点からみても社会的貢献は大きい。そして、さらには、言語以外の分野における人間の言語的思考過程の解明へ発展することも期待される。

3. 研究の方法

(1) 組合せゲーム理論に基づく囲碁局面の解析のために、シミュレーションを用いた近似的な局面解析法の開発を行なう。近年、様々なゲームの探索に適用されその性能を発揮しているモンテカルロ木探索であるが、基本的にシミュレーション結果の勝ち負け、すなわち、勝率に基づく局面評価であるため、囲碁局面のスコアを評価するには新たな手法が必要となる。また、勝率が大きく一方に偏った局面では、どんな着手をしても勝率が変化しないため最善手を発見

することが難しいといった問題があるため、そのような局面においても最善手を発見することを可能にする新たな探索法の開発を行なう。

(2) 自然言語テキストでは、意味を担う最小の表現単位を「単語」とし、それらが構文的、意味的に結合されて「句、文、段落、文章」が構成されるというモデルが長い年月をかけて構築されてきた。囲碁局面の記述においては、局所的な石の配置状況や、一手の着手、あるいは、複数手からなる部分的着手列を基本単位として、これらがどのような構造に結合されるのか、また、それらの基本単位がどのような自然言語表現と対応づけられるのか関係性を調べる。

4. 研究成果

(1) モンテカルロ木探索の探索性能の向上を目的として、組合せゲーム理論における差分ゲームとモンテカルロ木探索を組み合わせることにより、勝率が一方に大きく偏ったような局面でも最善手を発見することを可能にする新たな探索法を開発した。また、手順前後が問題とならないような局面では、最善の局面への複数の経路が存在しうが、そのような合流をとまなう探索木において、プレイアウト結果を伝播させる手法についての検討を行なった。

(2) AlphaGo の成功により、囲碁において盤面全体を入力として深層学習を行なう局面評価手法の有効性が認識されたが、学習に必要とされる大量の局面データとその評価結果の作成にはモンテカルロ木探索が用いられ、また、対局においても、ニューラルネットワークによる局面評価とモンテカルロ木探索の結果を混合した評価値が用いられている。本研究は、思考ゲームの解析を目的としているが、その目的においても、モンテカルロ木探索の性能向上は重要な課題である。通常のモンテカルロ木探索では、探索の末端局面から行なわれるロールアウトと呼ばれるシミュレーションによって得られた最終局面の勝敗結果に加えて、ロールアウト中に得られる統計情報としてのモンテカルロオーナーやクリティカリティなどを利用した探索が行なわれているが、囲碁における攻合いなどの深い読みを必要とする一本道の探索ではまだ課題が残っており、これらの問題の中には、着手の見合い関係や順序関係の知識を利用すれば解決できるものがある。そこで、2手の着手(の着手点)の関係性に着目したクリティカリティを提案し、ロールアウト中に「見合い」や「順序関係」に関する情報を取得して、その後の探索に利用する探索手法を開発した。

(3) 人間がゲーム局面を理解してプレイするためには、盤面全体を漠然と画像的に眺めるのではなく、盤上の数々の特徴を捉えた上で、それらの関連性を認識して論理的に積み上げていく過程が重要である。また、人間がゲームを学習する上でも、自然言語による解説など、ゲーム局面から自然言語表現への変換は重要な課題となる。囲碁の棋譜解説においては、ある着手が局所的には同じ配置のように見えても、周囲の状況や打たれた手順によって異なる囲碁用語が使い分けられるため、着手の役割・意図やゲームの内容を正しく伝えるためには、囲碁用語を適切に使用する必要がある。そのために、各用語に対して判別に必要な特徴を設定してルールベースで判別を行なうアプローチも行なわれているが、特徴量の設計自体困難な作業であるため、本研究では、盤面の情報から予め特定の特徴を抽出することなく機械学習によって着手に対する適切な囲碁用語を割り当てる手法をとった。ただし、自己対戦によって大量の学習データが用意できる局面評価とちがって、用語割当ての学習用データは限られるので、盤面全体を対象とするのではなく、着点を中心とした部分領域内の配置と手順情報を入力とするニューラルネットワークを構築し、解説記事中の囲碁用語を用いて学習することで、部分的に同一の形状でも状況に応じた適切な囲碁用語の選択ができることを示した。

(4) 実際に棋譜解説を行なうには、どの着手を解説するのかの選択も行なわなければならない。例えば、新聞や雑誌などの棋譜解説では、紙面のスペースの制約により、当たり前の手よりも特筆すべき着手の方が解説対象として選ばれやすいと考えられるし、指導対局の後に行なわれる講評などでは、対局相手の棋力に応じて解説着手や内容を選ぶ必要もある。そこで、囲碁AIのバリューネットワークとポリシーネットワークを用いて、着手による勝率の変動と着手の打たれやすさを評価して、解説候補着手の判別を行なった。さらに、対局者の個々の着手が最善手からどの程度乖離しているかを誤謬度とし、一局の中での誤謬度の分布を用いて、対局者の棋力を推定する手法を提案し、その有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 石田 竹至, 中村 貞吾: “囲碁における 2 点の関係性に着目したプレイアウト中の情報抽出”, 第 21 回ゲームプログラミングワークショップ GPW2016 論文集, 査読有, pp.135-140, (2016)
https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_uri&item_id=175351
- ② 中村 貞吾, 石田 竹至: “モンテカルロ木探索における差分ゲームを用いた最善手探索”, 第 20 回ゲームプログラミングワークショップ GPW2015 論文集, 査読有, pp.12-19, (2015)
https://ipsj.ixsq.nii.ac.jp/ej/?action=repository_uri&item_id=145778

〔学会発表〕(計 12 件)

- ① 濱田 浩輝, 中村 貞吾: “着手の誤謬度に基づく囲碁棋譜からのプレイヤーの棋力推定”, 火の国情報シンポジウム 2019, (2019)
- ② 小田 直輝, 中村 貞吾: “囲碁の自動棋譜解説のための解説候補着手の識別”, 情報処理学会第 81 回全国大会, (2019)
- ③ 濱田 浩輝, 中村 貞吾: “囲碁学習支援のための棋譜解析によるプレイヤーの棋力推定”, 情報処理学会第 81 回全国大会, (2019)
- ④ 中村 貞吾: “逆型ゲームを用いた囲碁の攻合い問題の解析”, 組合せゲーム・パズルプロジェクト第 14 回研究集会, (2019)
- ⑤ 小田 直輝, 中村 貞吾: “囲碁の着手に対する手順情報を用いた適切な囲碁用語の付与”, 火の国情報シンポジウム 2018, (2018)
- ⑥ 小田 直輝, 中村 貞吾: “解説文生成のための囲碁の着手に対する適切な囲碁用語の選択”, 第 17 回情報科学技術フォーラム FIT2018, (2018)
- ⑦ 濱田 浩輝, 中村 貞吾: “囲碁学習支援のためのポリシーネットワークを用いた棋譜からの棋力推定”, 第 17 回情報科学技術フォーラム FIT2018, (2018)
- ⑧ 小田 直輝, 中村 貞吾: “囲碁の解説文生成のための解説すべき着手の判別”, 第 71 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, (2018)
- ⑨ 濱田 浩輝, 中村 貞吾: “着手の打たれやすさの評価による囲碁の棋力推定”, 第 71 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, 1 頁, (2018)
- ⑩ 小田 直輝, 河野 史弥, 中村 貞吾: “解説文生成のための適切な囲碁用語を用いた着手の表現”, 第 70 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, (2017)
- ⑪ 石田 竹至, 中村 貞吾: “プレイアウト中の統計情報を用いた囲碁の見合い検出”, 第 69 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, (2016)
- ⑫ 石田 竹至, 中村 貞吾: “囲碁の攻合いに対する合流検知を用いたモンテカルロ木探索”, 第 68 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, (2015)