

令和元年6月19日現在

機関番号：32503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00505

研究課題名(和文) 戦略的な投票行動による合議アルゴリズムを用いた囲碁プログラムの効率化

研究課題名(英文) Go program with council system using strategic voting behavior

研究代表者

前川 仁孝 (MAEKAWA, Yoshitaka)

千葉工業大学・情報科学部・教授

研究者番号：90267419

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)：本研究は、コンピュータ将棋において有効なアルゴリズムである合議アルゴリズムを用いて、強い囲碁プログラムを作成することを目的としたものである。合議アルゴリズムは、複数のプログラムの思考結果を用いて多数決を行うことで、次手の着手を決定する。一方で、人間による多数決では、戦略的な投票行動を行うことが一般的である。このため、合議アルゴリズムを用いた囲碁プログラムに対しても、戦略的な投票行動を組み込んだアルゴリズムを提案した。提案するプログラムを実装し、評価した結果、囲碁のプログラムにおいても、人間と同様に戦略的な投票行動が有効に働くことが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって得られた知見は、囲碁プログラムだけでなく、アンサンブル学習のように複数のプログラムから得られた出力結果を用いて多数決を取るようなアルゴリズムに対しても応用できると考えられる。このため、人工知能の分野だけでなく幅広い分野に対して貢献することができると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to create a strong Go program using a council system, which is effective in computer Shogi. The algorithm of a council system decides the move by the vote of the results of programs. We often behave strategically in an election. Therefore, We proposed the algorithm of a council system using strategic voting behavior. As a result of evaluating the proposed algorithm, it was confirmed that the strategic voting behavior is effective in the Go program using council system.

研究分野：計算機工学

キーワード：コンピュータ囲碁 人工知能 ゲーム情報学 合議アルゴリズム モンテカルロ木探索

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンピュータ囲碁では、多くのプログラムがモンテカルロ木探索を使用しており、その有効性が知られている。モンテカルロ木探索は、プレイアウトと呼ばれるランダムシミュレーションを用いて局面の優劣を評価する木探索アルゴリズムである。本アルゴリズムは、仮想的に主局面を作成し、その盤面の勝敗を用いて着手の優劣を判定するため、対局過程の局面の優劣を判定する必要がない。囲碁は、対局中に出現する盤面の優劣の評価が難しいと言われているため、モンテカルロ木探索との相性が高い。

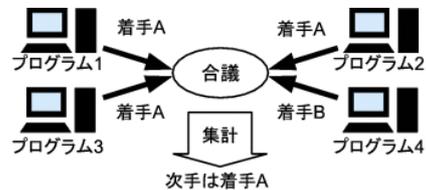


図 1 合議アルゴリズム

一方、コンピュータ将棋の思考プログラムでは、駒の損得などに基づいて盤面の優劣を評価しながら木探索を行うアルゴリズムが広く利用されている。盤面の優劣を判定するアルゴリズムは、思考プログラムごとに様々な設計思想に基づいて実装されているが、すべての局面の優劣を正確に判定できるとは言えない。このため、複数のプログラムの思考結果を用いて合議を行う合議アルゴリズムを使用したプログラムが、並列プログラミングアルゴリズムとして世界コンピュータ将棋選手権などで高い成果を挙げている。図 1 に、合議アルゴリズムの例を示す。合議アルゴリズムは、図 1 に示すように、複数の思考プログラムが選出した候補を元に合議を行い、次手の着手を決定する手法である。図中の集計部分では、4 つのプログラムの思考結果を用いて多数決を行うことで、次手を着手 A としている。合議アルゴリズムでは個々のプログラムの能力よりも集団としての多様性が重要と言われている。このため、合議アルゴリズムに対する改良を行う際には、個々のプログラムの思考内容よりも、着手候補の集計処理部分に対するアプローチが多く提案されてきた。

2. 研究の目的

コンピュータ将棋では合議アルゴリズムの有効性が示されており、コンピュータ囲碁でも同様に合議アルゴリズムが有効であると考えられる。そこで本研究では、合議アルゴリズムを用いて囲碁プログラムの勝率を向上させることを目的とする。さらに、合議を行う際には、人間による多数決で行われている戦略的な投票行動を取り入れる。



図 2 戦略的な投票行動の例

戦略的な投票行動の例を図 2 に示す。図中では、選挙において 2 人の候補者に多くの票が集まっている。票が集まっている候補者に投票する人は多数派であり、票が入らない候補者に投票する人は少数派である。このような場合、票が入らない候補者を支持している有権者は、支持する候補者に投票してもその候補者の当落には影響が生じない可能性が高い。このため、有権者は、選挙の結果を少しでも自身の理想の状態に近づけるために、自身が最も望む候補者ではなく当落線上の候補者の中から投票先を選択することがある。本例のような行動は戦略的な投票行動と呼ばれている。

モンテカルロ木探索を用いた思考プログラムによる多数決においても、当選する見込みの少ない着手をあらかじめ予測することができれば、その着手への探索を抑制し、他の着手を深く探索することができる。このため、戦略的な投票行動は、人間だけでなく思考プログラムによる合議においても有効であると考えられる。このため、本研究では、合議を用いたモンテカルロ木探索による思考プログラムに対して戦略的な投票行動を組み込むことで強い囲碁プログラムを作成することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究を遂行するにあたり、オープンソースの囲碁プログラムである fuego の思考ルーチンを利用して合議を行うプログラムを作成する。次に、この fuego の思考ルーチンに対して戦略的な投票行動を行うようにプログラムを作成して評価する。評価は囲碁の対局を行い、得られた対局結果について統計処理や検討をする。最後に、検討結果に基づき、戦略的な投票行動を行う囲碁プログラムの最適なパラメータを探す。

アルゴリズム設計の基本方針は、既存研究に基づいて以下の三点を前提とした。第一に、合議アルゴリズムの各思考プログラムは、自身が選択した着手を他の思考プログラムがどのように評価したのか分からない。このため、思考プログラムによっては、合議で選択さ

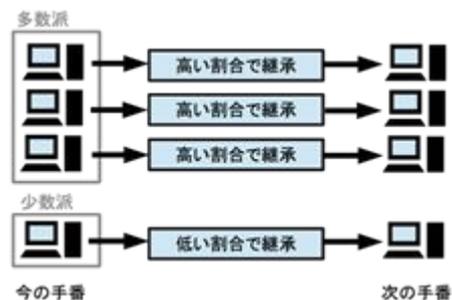


図 3 戦略的な投票行動を用いたアルゴリズム

れる可能性のない着手の探索に多くの時間を費やす場合がある．このような場合，当落線上の着手の探索に時間を割いた方が，合議アルゴリズムの勝率を向上できる．第二に，多数決合議で多くの票を集めた着手は，多くの思考プログラムでプレイアウトの勝率が高いと判断された着手であり，有望であると評価した評価値の信頼性が高い．このため，前の手番で信頼性の高いプレイアウトの勝率を導出した思考プログラムのみがその勝率を次の手番に活かすことで，モンテカルロ木探索の効率が向上する．第三に，合議アルゴリズムは一般的に，高い独立性を持つ思考プログラムを複数用いて着手を決定する．合議アルゴリズムを用いたモンテカルロ木探索を効率化するにあたり，これらの特徴はなるべく維持した方がよい．以上の3点を踏まえ，プレイアウトのシミュレーション結果を継承する手法がモンテカルロ木探索の開始時のみに影響することに着目し，継承の割合を決定する際に戦略的な投票行動を行うアルゴリズムを実装した．

#### 4．研究成果

提案手法を用いることで棋力が向上するのであれば，提案手法を適用したプログラムは，そうでないプログラムとの対局に勝ち越すはずである．このため，囲碁プログラム同士で対局を行い，その勝率の測定することによって棋力が向上したかどうかを確かめた．対局条件は表1のように設定した．

表1 対局条件

ルール	中国ルール
盤面サイズ	19路盤
コミ	6目半
1手あたりの思考時間	10秒
対局用プログラム	GoGui - twogtp

表2に，通常の合議アルゴリズムを用いた fuego と提案手法のアルゴリズムを用いた fuego の対局1000回の結果を示す．表中の括弧内の数値は95%信頼区間を表す．戦略的な投票行動の数値は，前の手番の思考結果を次の手番でも継承する割合を示しており，数値が高いほど次の手番に前の手番の思考結果を引き継ぐことを表す．勝った対局数の手番の色は合議を行うプログラム側の手番の色であり，勝率は白番のときと黒番のときを合わせて算出した．表より，提案手法は，通常の合議アルゴリズムを用いた fuego に対して勝ち越していることが分かる．本結果から，合議アルゴリズムに対して戦略的な投票行動が有効であること確認できた．これにより，「合議アルゴリズムの勝率を向上するためには思考プログラムの多様性が重要である」という従来の知見に加えて，投票先が少数派となる思考プログラムは戦略的な投票行動をとることにより死票を減らすことが有効であることが分かった．

表2 対局結果

戦略的な投票行動		勝った対局数[回]			勝率[%]
多数派	少数派	黒番	白番	合計	
3.5	0.0	280	286	566	56.6(±1)
3.5	1.0	268	270	538	53.8(±1)
3.5	2.0	252	254	506	50.6(±1)
3.5	3.5	258	250	508	50.9(±1)

また，google DeepMind社製の囲碁プログラムである AlphaGo が，本研究の遂行期間である2016年3月にプロ棋士であるイ・セドルと対局し，囲碁プログラムがプロ棋士を初めて破るといふ快挙を成し遂げた．さらに，2017年5月には，AlphaGo が最も強い囲碁棋士の一人であると言われている柯潔九段に勝利した．AlphaGo は，従来のモンテカルロ木探索だけでなく，ディープラーニングによる学習結果を踏まえて思考を行う囲碁プログラムである．AlphaGo の功績により，コンピュータ囲碁の棋力向上には，ディープラーニングが大きな比重を占めることが明らかとなった．本研究が使用した囲碁の思考プログラムである fuego は，AlphaGo のようなディープラーニングを行うプログラムではない．しかし，合議アルゴリズムは，fuego のようにモンテカルロ木探索に基づいた思考プログラムだけでなく，ディープラーニングを利用した AlphaGo のような思考プログラムに対しても利用することが可能である．このため，戦略的な投票行動を行う本研究の提案手法も，ディープラーニングを利用した思考プログラムに対して応用することが可能であると考えられる．

さらに，本研究の成果は，コンピュータ囲碁だけでなく，合議アルゴリズムと同様に複数のプログラムから得られた出力結果を用いて多数決を取るようなアルゴリズムが有効に働く幅広い分野に対して貢献できると考えられる．例えば，アンサンブル学習と呼ばれる機械学習のアルゴリズムは，複数の予測器の出力を集計して最終的な出力を得る手法であり，医療の分野などで用いられている．このため，人工知能の分野だけでなく幅広い分野に対して貢献できると考えられる．

## 5．主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3 件)

清水達哉，葉山雄太，中村あすか，前川仁孝，囲碁プログラムにおける RAVE を用いた LGRF の評価，電子情報通信学会 情報論的学習理論と機械学習研究会，2019 年

中村あすか，富永浩文，前川仁孝，Fuego における展開済みノードを用いた LGRF の評価，情報処理学会 ゲーム情報学研究会，2018 年

野崎真也，中村あすか，前川仁孝，展開済みノードを用いた LGRF-2 による囲碁プログラム Fuego の効率化，情報処理学会 第 79 回全国大会，2017 年

## 6．研究組織

(1) 研究協力者

研究協力者氏名：中村 あすか

ローマ字氏名：(NAKAMURA, Asuka)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。