

コネクト6におけるヒューリスティック評価関数を用いた探索法の提案と評価

西井優斗[†]愛媛大学工学部工学科[†]黒田 久泰[‡]愛媛大学大学院理工学研究科[‡]

1 はじめに

コネクト6とは、五目並べを拡張したボードゲームであり、六目並べとも呼ばれる。先手のプレイヤーが一石目を打ち、その後、双方が交互に二石ずつ打つ。先に石が縦、横、斜めのいずれかの方向に6つ並んだプレイヤーの勝利となる。両者の着手後の石の数が相手より常に1つ多くなっていることで、先手と後手に優劣がないと言われている [1]。このゲームは二人零和有限確定完全情報ゲームに分類される。その特徴として、両者が最善手を打ち続けた場合、先手必勝、後手必勝、引き分けのいずれかとなることが知られている。例えば、三目並べは引き分けに該当し、15×15以上のサイズの盤で行われる五目並べは先手必勝に該当する。コネクト6もいずれかに該当するが、推奨される盤のサイズが19×19以上と、盤面サイズが大きく、探索範囲が広いため、解析が進んでいないのが現状である。

本研究では、コネクト6において、有効的な探索手法を探求し、強力なプレイヤーを作成することを目的とする。また、作成したプレイヤーの強さと探索手法の有効性を評価するために、他の手法を用いたものとの対戦を行った。

2 概要

2.1 コネクト6における脅威

コネクト6における脅威とは、一方のプレイヤーが6目並ぶ(勝利する)のを避けるために、他方のプレイヤーが t 個の石を置く必要があるとき、他方のプレイヤーにとって t 個の脅威が発生していると定義する [2]。

2.2 VCFとVCST

コネクト6では、VCF(Victory by Connect Four)やVCST(victory by continuous single-threat-or-moremoves)といった戦法を用いるのが一般的である。

VCFは、3つ以上の脅威が作れるまで、2つの脅威を絶えず作り続ける探索手法であり、VCSTは、3つ以上の脅威が作れるまで、1つの脅威を絶えず作り続ける探索手法である [2]。両手法とも、内側に自分の石が並びやすく、逆に相手の石を外側に散らばらせることができるので、主導権を握りやすく、戦局を優位に進めることができる。

しかし、VCFやVCSTには、脅威を作れない場合の着手が弱い(単純に繋がっている石の数を高く評価したりするものが多い)ことや脅威を作ることを優先しすぎるがゆえに、より優勢な状況を作れる着手を逃すという課題が存在する。本研究では、VCFとVCSTを用いた単純な実装を従来方式として比較対象とする。

3 提案手法

コネクト6では探索範囲が膨大で、先読みできる深さが限られているため、ゲーム木の末端では、静的な評価を行うことで実質的にさらに数手先読みをする必要がある。実際に石を置いているわけではないので、正確な先読みではないが、ある程度高い精度の先読みをすることができる。従って、今回作成した評価関数における評価する並び(表1)は、ゲームの勝敗に影響を及ぼす全ての石の並びのパターンである。また、vcf5~vcst1のような並び単体に対しての評価値はなく、表2のように、これらの個数や組み合わせに対して評価値を付けている。

また、最善手の決定方法としては、ゲーム木の末端で自分の評価値と相手の評価値を比較して、自分の評価値の方が高い場合は、自分の評価値を返し、相手の方が高いときは相手の評価値に-1を掛けたものを返す。minimax法などとは異なり、どちらの手番でも評価値が最大のものを選択し最善手を求める。

また、石の並びのパターンは8つの石の並びで構成されている。コネクト6では、6つの石が連続で並べばよいので、6つの並びで構成された方が並びのパターン数が格段に少なくなるが、その場合、本来は脅威が1個であるが、2個と誤認識してしまう場合があるため、8つの並びで構成している。

Proposal and evaluation of a search method using heuristic evaluation function in Connect6

[†]Nishii Yuto, Department of Engineering, Faculty of Engineering, Ehime University

[‡]Kuroda Hisayasu, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

表1 評価関数における評価する並び一覧

呼称	石の並び
win	石が6つ繋がっている並び
vcf5	脅威が2個&手番の石が5つ含まれている並び
vcst5	脅威が1個&手番の石が5つ含まれている並び
vcf4	脅威が2個&手番の石が4つ含まれている並び
vcst4	脅威が1個&手番の石が4つ含まれている並び
vcf3	vcf5 または vcf4 を作れる並び
vcst3	vcst5 または vcst4 を作れる並び
vcf2	vcf4 または vcf3 を作れる並び
vcst2	vcst4 または vcst3 を作れる並び
vcf1	vcf3 または vcf2 を作れる並び
vcst1	vcst3 または vcst2 を作れる並び

表2 評価関数における評価値

呼称	石の並びの組み合わせ	評価値
勝利	win が1つ以上	9999
1TW	脅威が3個以上 (vcf5×2,vcf4×2,vcf4+vcst4,・・・)	300
2TW	1TW を作れる組み合わせ (vcf4+vcf3+vcst,vcf×3,・・・)	250
VCF	脅威が2個 (vcf5,vcf4)	200
VCST	脅威が1個 (vcst5,vcst4)	100
3TW	2TW を作れる組み合わせ (vcf3+vcf1,vcf2×2,vcf2+vcst2)	5
4TW	3TW を作れる組み合わせ (vcf1×2,vcf1+vcst1,・・・)	1

4 高速化手法

まず、碁盤の表現としてビットボードを使用した。コネク6では、縦、横、右斜め、左斜めの4方向を調べる必要があるため、各行を32ビット整数に格納した場合、シフト演算が複雑になる。そこで、あらかじめ各行、各列、右斜め、左斜めに対しても各要素を32ビット整数に格納した。コネク6では、19×19路盤を用いるので、縦と横は、32ビット整数が19個、右斜めと左斜めは、32ビット整数が27個となった。このようにすることで、それぞれの要素を0~11ビットシフトするだけの単純なシフト演算となった。また、これらの32ビット整数をAVX-512を使用し、高速化を図った。AVX-512は、インテル系のCPUに実装されている拡張命令セットの一つで、512ビット(16個の32ビット整数または8個の64ビット整数など)のベクトルデータを1度に処理することができる。各方向に対して2つの512ビットベクトルが必要になるので、合計8つ用いた。さらに、OpenMP(Open-Multi-Processing)によるマルチスレッドを使用した。OpenMPは、共有メモリ型マシン上での並列プログラミングを可能にするAPIである。

5 実験結果

本実験では、提案手法を用いたプログラムと従来方式のプログラム同士、また、インターネット上で公開されているSDIN無料ゲーム[3]で提供されているプログラム(Level1~3)との対戦を行った。本実験で使用した計算機環境を表3に、結果を表4に、提案手法に高速化手法を加えた場合の1手の平均着手時間を表5に示す。

表3 計算機環境

CPU	Intel@Xeon@Gold 6240R CPU@2.40GHz × 2
メモリ	128GB
コア数(スレッド数)	24 × 2 (48 × 2)
OS	Ubuntu 22.04.3 LTS
コンパイラ	gcc ver.11.2.0
コンパイラオプション	-O2 -fopenmp -mavx512f

表4 対戦結果

プログラム名	従来方式	SDIN-Level3	SDIN-Level2	SDIN-Level1
従来方式	-	2 - 8 3 - 7	1 - 9 2 - 9	0 - 10 0 - 10
提案手法	10 - 0 10 - 0	10 - 0 10 - 0	10 - 0 10 - 0	10 - 0 10 - 0

上段…プログラム側が先手番の勝 - 敗, 下段…後手番の勝 - 敗

表5 1手の平均着手時間

プログラム名	1手の平均着手時間(s)	速度向上率
高速化手法なし	3240	1
ビットボードのみ	96	33
OpenMPのみ	280	11
ビット+OMP	27	115
ビット+OMP+AVX	12	540

ビット…ビットボード, OMP…OpenMP, AVX…AVX-512

6 まとめ

ヒューリスティック評価関数を作成したことで、VCFやVCSTの問題を改善でき、既存のプログラムに対して全勝することができた。また、ビットボードやAVX-512, OpenMPを活用したことで1手の着手時間が大幅に減少した。

参考文献

- [1] Wu, I-Chen, Huang, Dei-Yen, and Chang, Hsiu-Chen, "Connect6", ICGA Journal, vol.28, no.4, pp.235-242, 2005.
- [2] Yihao Wu, Miao Su, Xiaorui Li, Yunpeng Zhang, and Ke Zhou: "Optimized VCST Algorithm for Connect6", 2021 33rd Chinese Control and Decision Conference(CCDC), pp.1813-1819, 2021.
- [3] SDIN 無料ゲーム「コネク6 (六目並べ)」
<https://sdin.jp/browser/board/connect6/>