

ペンタゴの完全解析結果に基づいた完全プレイヤーの設計

Design of a perfect Pentago player based on a strong solution

神保 秀司† 小林 祐貴‡
Shuji JIMBO Yuki KOBAYASHI

1 はじめに

ペンタゴは、 6×6 の盤の五目並べを拡張した形の二人零和有限確定完全情報ゲームであり、現在、スウェーデンのマインドツイスター社から商品として販売されている。このゲームは、手の選択肢が非常に多いことが特徴の一つである。

2014年1月に Geoffrey Irving により成し遂げられたペンタゴに対する完全解析の成果が公表された [2][1]。ここでは、どうぶつしょうぎの解析 [3] にも使われた後退解析と呼ばれる技法が使われている。Irving による完全解析結果は、初期局面も含めて合計 18 個以下の石を置いたすべての局面に対して、最適手順の下でその局面が黒の勝ちか、白の勝ちか、それとも引き分けかの情報を含んでいる。本発表では、初期局面から先手がどのような後手の応手に対しても常に必勝の手を選び続ける対局プログラムを上記の完全解析結果に基づいて設計する試みについての方針と計画について報告する。原稿執筆時点で実験が完了していないため、本報告に具体的な成果を示すことができなかった。

2 プログラムの設計方針

この節では、目標とするペンタゴ対局プログラムの設計方針について述べる。目標とする最小の仕様は、先手が初手から打つ場合だけに対応し、どのような後手の手に対しても先手が必勝の手を 1 手だけ出力することである。

最初にペンタゴのゲームのルールについて説明する。ペンタゴの盤は、 3×3 の 4 つの小盤が図 1 の左側のように組み合わせられた 6×6 の石を置く場所をもち、それ

ぞれの小盤が自由に回転できるようになっている。何も石が置かれていない盤面から始めて交互に次の操作を繰り返す。なお、ペンタゴの本来の先手の石の色は白であるが、五目並べとの関連性から先手の石の色は黒であるとする。

1. 自分の色の石を盤上の石の無い場所に 1 つ置く。
2. 次に、任意の小盤 1 つを右か左どちらかに 90 度回す。

対局の終了は、黒また白の 5 連 (直線上に 5 個同色の石が続いて並んだもの) が出来たときか、あるいは、盤上に石が置かれていない場所が無くなったときである。上の操作のうち 1. を実行した直後に 5 連が出来ていれば、2. の操作を実行せずに対局を終了する。終了時点で一方の色の 5 連だけが出来ていればその色の勝ちであり、両方の色の 5 連が出来ているか、あるいは、何も 5 連が出来ていないときは引き分けである。ペンタゴのルールでは、任意の局面について自分の石を盤上に 1 個追加することによって不利になることはないの、初期局面が後手必勝であることは有り得ない。

2.1 対局の前半への対応

この節では、対局の前半を担当するプログラムについて述べる。基本的な方針は解析済みデータの検索の活用である。記憶装置内に考慮中の局面が登録されていれば、その登録内容を使って直ちに手を出力する。そうでない場合、何らかの計算により黒の必勝手を必ず出力するようにする。対局の木における黒の手番の分枝が無いのですべての手順を含めた木に比べて高さが半分減る。既存の完全解析データを十分に解析することにより、黒の手番で常に必勝手順の子局面のうちその子局面を根とする対局の木の部分木のサイズが最小になるものを選ぶ手を打つようにすれば、必要とする完全解析データの局面数は、登録総数の平方根に近い大きさにできる可能性がある。

ペンタゴには手番を相手に渡すパスが無いので、盤上の黒石の個数は、白石の個数に等しいか 1 個多い。従っ

† 岡山大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

‡ 岡山大学工学部

Faculty of Engineering, Okayama University

て、黒の手番の局面で盤上に石が $2k$ 個置いてあるときの局面の総数は、回転と鏡像反転による重複を除去しないとき

$$f(k) = \binom{36}{2k} \binom{2k}{k}$$

で表され、 $f(9) = 441233078286000 \sim 4.4 \times 10^{14}$ 及び $f(8) = 94052314055700 \sim 10^{14}$ である。例えば $\sqrt{f(9)} < 10^8$ であり、回転と鏡像反転による重複を除去する効果も考えれば 10^9 個程度の局面の登録数で済むことが期待できる。例えば、局面をハッシュ表に登録し、1つの局面について16バイト使ったとすれば、記憶装置の記憶容量を16GB程度使えばよいことになる。

完全解析結果のデータ使用量の削減対策として現在最も期待しているものは、簡単な評価関数を使ったミニマックス探索プログラムをつくり、そのプログラムが誤る局面だけをハッシュ表に登録する方法である。ハッシュ表のうち主記憶に常駐させている部分は探索プログラムでも利用可能であり、探索プログラムの性能の向上につながる。例えば、評価関数として局面 P 内の黒の k 占有(直線上に続いて並んでいる5個の場所でその中に一方の色の石だけが k 個置かれているもの)の個数を b_k で、白の k 占有の個数を w_k で表し、適当な非負整数の定数 a_1, a_2, a_3, a_4 を定めて、

$$g(P) = a_4(b_4 - w_4) + a_3(b_3 - w_3) + a_2(b_2 - w_2) + a_1(b_1 - w_1)$$

を使うことが考えられる。この場合、 $g(P)$ は、その値が大きいほど黒が有利であることを表す。

2.2 完全解析データを使わない必勝手順探索

この節では、盤上の石の総数が18以上である局面に対して制限時間(最長1分程度を想定)内に応答するミニマックス探索に基づいた必勝手順探索プログラムを作成する方針について述べる。このような局面については、完全解析データが利用できない。ペンタゴにおけるミニマックス探索に対する最大の障害は、子局面の分枝数が巨大になることである。

必勝手順探索の動作は、基本的には、引き分けを負けと見なした上で勝ちと負けの2値についてのミニマックス探索である。必勝手順の存在が保証された局面についての探索であるので引き分けは負けと見なしてよい。

探索中の局面を扱う表現形式を次のように工夫する。4つの小盤の順番を次の図1の左側のように定める。

1	2
4	3

1の小盤		2の小盤			
8	6	4	5	7	8
7	0	2	3	0	6
5	3	1	1	2	4

図1 小盤の順序と小盤内の場所の順序

さらに、各小盤内の場所の順番は、盤全体を回転させて2つの小盤を重ねたとき一致するようにする。例えば、第1と第2の小盤内の場所の順序は、図1の右側のようにする。従って、局面全体を石の有無を表す3進数と見なせば、1局面を単一の64ビット符号無し整数型データとして扱うことができる。

一般的に木探索の分枝数を減らそうとするときには有力な技法としてハッシュ表の利用がある。ペンタゴのミニマックス探索では、探索済みの局面の探索を再度要求されることが多いと予想される。ハッシュ表による枝刈りの効果は、探索開始局面の直接の子を除いて盤上の石の総数が少ない局面に登録するほど高いと考えられる。探索中の深さとハッシュ表への局面の登録の可否の関係は、十分な実験により調整する予定である。

3 おわりに

Irvingにより得られた強い意味でのペンタゴのゲームの解析結果(完全解析結果)は、思考ゲームの理論における有益な情報を得るための活用が期待される。本報告では、この完全解析結果に基づいて弱い意味での完璧な対局プログラムをどの程度簡潔に実装できるかを調べる試みの方針と計画について述べた。必要な実験が完了しなかったため具体的な成果については、研究発表の場で述べるとともに、後日開催される情報処理学会あるいは電子情報通信学会の研究会などで公表する予定である。

参考文献

- [1] Geoffrey Irving. Pentago is a first player win. <https://perfect-pentago.net/>.
- [2] Geoffrey Irving. Pentago is a first player win: Strongly solving a game using parallel in-core retrograde analysis. *arXiv preprint arXiv:1404.0743*, 2014.
- [3] 田中哲郎. 「どうぶつしょうぎ」の完全解析. 情報処理学会研究報告, Vol. 2009, pp. 1-8, 2009.