ゲーム情報学 1−14
(1999. 6. 25)

四人将棋プログラムの基本的アルゴリズム

橋本 剛[1], 平沢雅彦[2], 梶原羊一郎[1], 佐々木宣介[1], 飯田弘之[1]

[1] 静岡大学 [2] EPSON

概要

本論では我々の四人将棋プログラムに関する最近の研究について述べる。四人将棋は 9x9 の普通の将棋盤を使って4人でプレイする将棋のバリエーションで、4人将棋を通して「協調」や「強調の戦略」の研究につながるものと考えている。

ゲームの複雑さを示す新しい指標「search-uncertainty complexity」を提案し、四人将棋と本将棋の複雑さを比較した。

さらに、四人将棋の探索戦略を考慮し、詰み探索と M^3 サーチと呼ぶ探索アルゴリズムを提案した。四人将棋のプログラムはまだ少ないものの、我々のプログラムは他のプログラムよりも優れた性能を示した。

Four-Handed Shogi Programming

Hashimoto Tsuyoshi[1], Hirasawa Masahiko[2], Kajihara Youichiro[1]
Sasaki Nobusuke[1] and Iida Hiroyuki[1]

[1]Shizuoka University [2] EPSON

概要

This paper describes our recent works on FOUR-HANDED SHOGI programming. FOUR-HANDED SHOGI is a Shogi variant to play on a 9x9 Shogi board by four players. Our expectation is that the 'cooperation' or 'dynamics of cooperation' could be studied through FOUR-HANDED SHOGI programming. This paper proposes a new measure of game complexity socalled 'search-uncertainty complexity', by which we compare the complexity of FOUR-HANDED SHOGI with Shogi. The comparison may give us a reasonable explanation of why a Shogi player sometimes feels more difficult and complicated than Shogi. An estimation of the measure is shown base on the data obtained by self-random-play experiments. Moreover, It considers a search strategy to play FOUR-HANDED SHOGI, then we propose a checkmate search and search algorithm called M^3 search. Although there are only few FOUR-HANDED SHOGI programs, the performance results show that our program outperforms other existing programs.

1 はじめに

四人将棋は太田満保氏によって1993年に考案された新しい将棋のバリエーションで、四人で行う完全情報ゲームである [1]。本将棋との大きな違いはその名の通り4人でプレイすることだが、そのため攻撃目標がめまぐるしく変化し、時には2対2となる状況もあれば、1対3となる状況もあり、非常にダイナミックで面白いゲームである。王手の時に王手をされたプレーヤーに手番が飛ぶというルールがあり、これがプレーヤーにとって不確定な要素となり特に面白いところである。なお四人将棋にはシングルプレイとダブルスプレイの2種類あるが、協調関係や裏切りなどより人間社会に近いモデルとして考えられるシングルプレイを本稿では取り上げる。四人将棋では将棋の名人でさえアマチュアに必ずしも勝てるとは限らない。一種の協調の戦略によって強いプレイヤーを倒すことが可能である。だが協調関係は状況によってダイナミックに変化し、「昨日の友は今日の友」といったことが起こる。すなわ

などより人間社会に近いモデルとして考えられるシングルプレイを本稿では取り上げる。 四人将棋では将棋の名人でさえアマチュアに必ずしも勝てるとは限らない。一種の協調の戦略によって強いプレイヤーを倒すことが可能である。だが協調関係は状況によってダイナミックに変化し、「昨日の友は今日の友」といったことが起こる。すなわち四人将棋のプログラミングが一般的な「協調の戦略」の研究につながると考えられる。本稿では最初に四人将棋のルールを紹介し次に四人将棋の探索の戦略を議論し、終盤の詰み探索と M^3 サーチと呼ぶ探索方法を提案する。さらに、四人将棋プログラムを実装しその実行結果を示す。

2 四人将棋

四人将棋は普通の9 x 9の将棋盤を四人で囲んでプレイする。各プレーヤーは最初図1のように歩3枚、金2枚、銀2枚、飛車1枚、それと王1つを持つ。 四人将棋の各駒の動き方は普通の将棋と同じで、取った駒を好きなところに打てるルールも同じである。以下に四人将棋特有のルールを挙げる。[1]

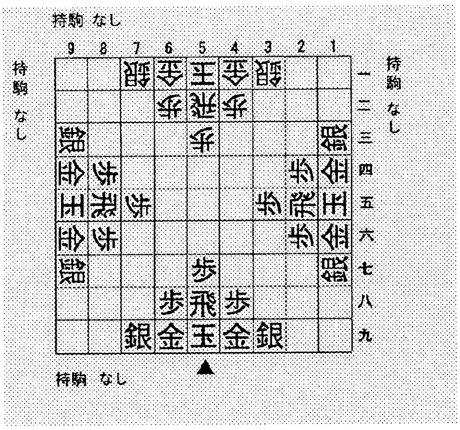

図 1: 四人将棋の初期配置.

2.1 四人将棋特有のルール

シングルプレイとダブルスプレイ ：四人将棋にはシングルプレイとダブルスプレイの２通りの遊び方がある。ダブルスプレイは向かい合った２人でチームを作り、敵チームの王を１つ詰ませば勝ちになる。シングルプレイは各プレイヤーが生き残りをかけて他のプレイヤーを詰ませていく。本稿では主にシングルプレイを扱う。

手番： 通常各プレーヤーの手番は時計廻りに移動して行く。だがあるプレイヤーに王手がかかったときには、王手をかけられたプレイヤーに手番が飛ぶ。

両王手、三王手： 複数の王が同時に王手をかけられたときは、王手をかけられたプレイヤーのうち直前に指したプレイヤーから見て時計廻りに近いプレイヤーに手番が移る。

詰み： プレイヤーXがプレイヤーYの王を詰ませたとき、Yの持ち駒はすべてXの持ち駒になり、盤上の駒は向きも含めてそのままXのものとなる。Yの王は裏返され、誰にも取られない障害物になる。

ゲームの終了： プレイヤー２人が詰まされた時点でゲームは終了となる。

勝者： １位と２位の決定の仕方は以下のようにする。まず詰まされずに残った中で詰ませた人数の多い方が１位になる。つまりもし１人で３位４位の両方を詰ませているのなら文句無しにその人が１位になる。だが仮に１人を詰めたとしても、そのあとで詰まされた人が居ればその人は３位になる。次に勝ち残った２人が１人づつ詰ませている場合は、２人の駒数（盤の上の駒と持ち駒全部の合計）を数えて多い方が１位となる。裏返した王も１枚として勘定するが、もし、それでも駒数が同じなら（１８枚づつなら）、後から詰めた方の勝ちになる。

2.2 本将棋との違い

本将棋と 4 人将棋の大きな違いは参加する人数の違い ($2 \rightarrow 4$) と各プレイヤーの持つ駒の数の違い ($20 \rightarrow 9$) で、その他四人将棋特有のルールも挙げられる。ここでは両将棋をセルフランダムプレイさせることによってその違いを数字で現すよう試みる。

実験による分析

本将棋と 4 人将棋をセルフランダムプレイでそれぞれ 2000 局戦わせた。セルフランダムプレイではコンピューターは手を全候補主の中からランダムに選ぶ。結果は表 1に示す。ここで game-tree complexity とはゲームを解くのに必要な minimax 探索木のサイズである。[2] 四人将棋は将棋に比べて平均合法手、平均手数ともに若干少なく、 game-tree complexity のオーダーは将棋の約半分であることがわかる。ここで注意すべきは、ランダムプレイではエキスパートのプレイに比べて平均合法手が少なく、平均手数は多くなることである。エキスパートは駒を効率良く使おうとすることで平均合法手が増えることに加えて、ランダムプレイでは持ち駒を打ちやすい傾向により平均合法手が減ることが考えられる。またエキスパートは王を狙って、詰み探索もおこなうはずなので、平均手数は減り引き分けも減ると考えられる。

表 1: 四人将棋と本将棋の比較分析結果

	四人将棋	本将棋	本将棋 *
平均合法手	41	51	80
平均手数	318	522	115
引き分け率 (%)	0.0	10.0	0.2
game-tree complexity	$41^{318} \approx O(528)$	$51^{522} \approx O(917)$	$80^{115} \approx O(226)$

データはセルフランダムプレイを 2000 回行って得た。将棋 * はプロの対局によるデータ。 [3].

Search-uncertainty complexity

われわれはここで新しい指標「Search-uncertainty complexity」を提案する。この指標はあるプレイヤーの手番のとき先読みに必要な探索木のサイズを示す。そのため Search-uncertainty complexity はゲームに参加する人数 (n) 、ゲームの平均合法手 (B) 、先読みの深さ (d) 、そして n,B,d で決められるゲーム木の中でのあるプレイヤーの手番の回数 (c： certainty count と呼ぶ) で決められる。我々の定義では Search-uncertainty complexity は B^{cn+1}. と考えられる。表 2に本将棋と四人将棋の Search-uncertainty complexity を示す。

game-tree complexity の観点では本将棋の方が四人将棋より複雑となっていたが、 Search-uncertainty complexity の観点では四人将棋の方が本将棋より複雑と考えられる。

表 2: search-uncertainty complexity の見積もり

	c=1	c=2	$\cdots$	$c = \lfloor \frac{d}{n} \rfloor$
本将棋	$51^3 \approx 1.3 \times 10^5$	$51^5 \approx 3.5 \times 10^8$	$\cdots$	$51^{2\lfloor \frac{d}{2} \rfloor+1}$
四人将棋	$41^5 \approx 1.1 \times 10^8$	$41^9 \approx 3.3 \times 10^{14}$	$\cdots$	$41^{4\lfloor \frac{d}{4} \rfloor+1}$
n 人将棋	B^{n+1}	B^{2n+1}	$\cdots$	$B^{n\lfloor \frac{d}{n} \rfloor+1}$

n はプレーヤーの数を示す。同様に、 B は平均合法手, d は先読みの深さ c は certainty count を示す。

3　四人将棋プログラムの探索戦略

この章では四人将棋の探索の戦略について考える。ここでは詰み探索と通常時の探索アルゴリズムに焦点を当てる。

3.1　詰み探索

まず四人将棋を強くするために詰みの探索が必要である。

四人将棋における詰め将棋を考える上で注意すべき本将棋との相違点は,

1. 王手がかかるとかかったプレイヤに手番が飛ぶこと
2. 攻撃対象以外のプレイヤの駒の利きを使用できること
(動かせないが利きは利用できる)

の2つになる.

一つ目の相違点により注意しなければならないのは攻撃対象の位置である. プレイヤA～Dがいて, プレイヤAが正面に位置するプレイヤCを詰ませようとした王手をかけたとする. このとき王手による手番処理にしたがいCが王手を避ける応手を指したのち, 次の手番はDとなる. ここでDの指し手によりCが詰まされてしまっては元も子もないのでAとしては間に入るDが邪魔できない状態であることを確認しなければならない. 普通詰め将棋を解くルーチンは攻撃側の王手とそれに対する守備側の応手だけについて探索を行なえばよい. しかし四人将棋だと間に入る手番の全合法手について攻撃側の邪魔をしないか調べなければならず探索空間が大きくなりすぎる. これは正面だけでなく左を攻撃するにしても同様である. 右側を詰めようとする場合は王手王手の連続なので自分と攻撃対象以外に手番は回らず, そのため通常の詰め将棋探索 [4] が適用できる。

実装に及んでは右攻めに対し5手詰めまで, 中央, 左攻めに関しては1手詰めのみを探索させている

3.2　M^3 サーチ

あるプレイヤーが自分にとって最善の手を選ぶとき、その相手が常に相手側にとっての最善手を指すと仮定して考える、これが完全情報2人零和ゲームにおけるminmax戦略である。われわれはminmax法に類似した方法を4人将棋用に拡張した探索方法を提案し M^3 サーチと名付ける。ここで4人将棋が非零和ゲームであることに注意して欲しい。一般に、ゲーム木探索のアルゴリズムは各ノードの値の計算の仕方を示すことによって定義される。M^3 サーチでは、探索木のすべての局面で4つの値が計算される。ここで各プレイヤーをプレイヤーA, プレイヤーB, プレイヤーC, プレイヤーDとする。手番はAから順にB,C,Dと回ると仮定する。M^3 サーチのアルゴリズムは大まかに下の式 (1) から (4) のようになる。i と j をあるノードの子局面すべての範囲にとる。Aノードをプレイヤー A の手番のノードと定義し、同様にB,C,Dノードも定義する。関数 F_A, F_B, F_C , F_D をすべての局面で定義し、F_A はプレイヤーAからみた評価関数、F_B, F_C , F_D も同様にプレイヤーB,C,Dからみた評価関数とする。そこで M^3 サーチのアルゴリズムを以下のように定義する。

$$F_A(P) = \begin{cases} max_i F_A(P_i) & \text{if P is A-node} \\ F_A(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is B-node} \\ \qquad F_B(P_j) = max_i F_B(P_i) & \\ F_A(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is C-node} \\ \qquad F_C(P_j) = max_i F_C(P_i) & \\ F_A(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is D-node} \\ \qquad F_D(P_j) = max_i F_D(P_i) & \\ EV_A(P) & \text{if P is a leaf node} \end{cases} \tag{1}$$

$$F_B(P) = \begin{cases} max_i F_B(P_i) & \text{if P is B-node} \\ F_B(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is C-node} \\ \quad F_C(P_j) = max_i F_C(P_i) & \\ F_B(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is D-node} \\ \quad F_D(P_j) = max_i F_D(P_i) & \\ F_B(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is A-node} \\ \quad F_A(P_j) = max_i F_A(P_i) & \\ EV_B(P) & \text{if P is a leaf node} \end{cases} \tag{2}$$

$$F_C(P) = \begin{cases} max_i F_C(P_i) & \text{if P is C-node} \\ F_C(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is D-node} \\ \quad F_D(P_j) = max_i F_D(P_i) & \\ F_C(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is A-node} \\ \quad F_A(P_j) = max_i F_A(P_i) & \\ F_C(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is B-node} \\ \quad F_B(P_j) = max_i F_B(P_i) & \\ EV_C(P) & \text{if P is a leaf node} \end{cases} \tag{3}$$

$$F_D(P) = \begin{cases} max_i F_D(P_i) & \text{if P is D-node} \\ F_D(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is A-node} \\ \quad F_A(P_j) = max_i F_A(P_i) & \\ F_D(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is B-node} \\ \quad F_B(P_j) = max_i F_B(P_i) & \\ F_D(P_j) \text{ with } j \text{ such that} & \text{if P is C-node} \\ \quad F_C(P_j) = max_i F_C(P_i) & \\ EV_D(P) & \text{if P is a leaf node} \end{cases} \tag{4}$$

$EV_A(P)$ は葉ノードだけで定義され、ノード P のプレイヤー A から見た静的評価関数の値を示す。同様に $EV_B(P)$, $EV_C(P)$, $EV_D(P)$ はそれぞれプレイヤー B,C,D にとっての葉ノードでの評価関数の値を示す。 われわれは以下のような評価要素からなる評価関数を作成した。
評価要素：駒の損得、王の安全度、当たり、利きの多さ駒の自由度 (特に飛車) 持ち駒の有無

図 2に M³ サーチのゲーム木の例を示す。3 手先の局面は C の手番だが、そこで C は自分から見て最大値となる手を選ぶ。同様に B も C と同様に自分にとって最大値となる手を選ぶ。そしてルートの局面で A も同様に手を選ぶ。このようにして A は右側の値が 5 となる手を選ぶ。

3.3 選択的 M^3 サーチ

M^3 サーチでは各プレイヤーが自分の手番で自分にとって最大値となる手を選ぶため、 α-β のような効率化の余地はない。そのため、われわれはいくつかのヒューリスティクスを使ってまず典型的な選択的探索である前向き枝刈りを M^3 サーチに応用した。現在のセレクティブ M^3 サーチではわずかな候補手 (3 から 10 程度) しか選定できない。そのなかで最高の値をとるものを選んでいる。

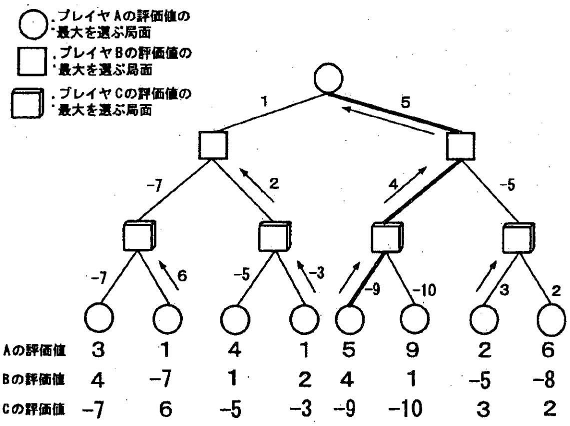

図 2: M^3 サーチのゲーム木の例

4 パフォーマンス

4.1 強さの評価

四人将棋の場合四人でプレイするので強さをどのように評価するかが問題になってくる。ここでは先に述べたルール2．1に基づいて、トータルの勝ち点を基準として評価をしていく。実験するにあたって、プレイヤーの配置の仕方はランダムにする。

4.2 結果

われわれの四人将棋プログラム（HIRA）は第1回コンピューター四人将棋選手権（１９９９年1月10日静岡大学）で1位になった。参加チームは2チームで、各6回戦った。結果は表3に示す。

表 3: Hira vs. Super Famicom 四人将棋　対戦結果

	勝者	2nd	3rd	4th	勝点 (a)	勝点 (b)
HIRA	5	3	1	3	8	34
SF	1	3	4	4	4	14

SF はスーパーファミコンの四人将棋を表す

ここでは2種類の方法で評価をし、その合計で順位を決めた。最初の方法 (a) は、1位と2位がそれぞれ1ポイントを獲得する方法で、第二の方法 (b) は1位が5点、2位が3点を獲得する方法である。ともに3，4位は0点とする。a,b の合計点によって、HIRA は1位となった。

5 最後に

実際にプレイしてみると四人将棋は複雑なゲームだと感じるが、複雑さは search-uncertainty complexity の結果からも裏付けされた。そのため強い四人将棋のプログラムを作るのは普通の将棋同様かなり困難なことだと思われる。

まだまだ人間からみれば弱いレベルではあるが、詰め探索と M^3 サーチを使って我々の四人将棋プログラム HIRA はスーパーファミコンの四人将棋をくだした。

本将棋に比べて四人将棋は複雑でより実世界に近いと思われる。今後四人将棋の研究を進めていくうえで、避けて通ることのできない裏切りと協調の戦略 (付録参照) の研究を通して、実世界での戦略のモデルの一つとなれば、と考えている。

参考文献

[1] 四人将棋公式ホームページ財団法人平田市地域経済振興センター, URL:`http://www.koma.ne.jp/4nin-shogi/`.

[2] Allis L.V., Van den Herik H.J., and Herschberg I.S. (1991). Which Games Will Survive? *Heuristic Programming in Artificial Intelligence 2: the second computer olympiad* (eds. D.N.L. Levy and D.F. Beal), pp.232–243. Ellis Horwood, Chichester, England.

[3] Matsubara, H., Iida, H. and Grimbergen, R. (1996) Natural Ddevelopments in Game Research, *ICCA Journal*, Vol.19, No.2, pp.103–111.

[4] Grimbergen R. (1999). A Survey of Tsume-Shogi Programs using Variable-Depth Search, *Computers and Games: the first conference on computers and games*, Tsukuba, Japan, Lecture Notes in Computer Science, vol. 1558, (eds. H.J. Van den Herik and H. Iida), pp.299–317. Springer, Heidelberg.

[5] Pritchard, D.B. (1994). *The Encyclopedia of Chess Variants*, Games & Puzzles Publications. UK. ISBN 0-952414201

付録

A 協調の例

付録として Hira vs. Super Famicom 四人将棋の戦いで現れた協調の例を示す。下、右、左のプレイヤーが協調して上のプレイヤーを同時に攻めている。(図 3-5)

上のプレイヤーは飛車 1 枚と銀 2 枚を失った。

(図 3より) 上☖5一銀 右☖6一歩 下☖7一金 (図 4)
左☖3一歩 (王手) 上☖4二王 右☖5一歩 (図 5)

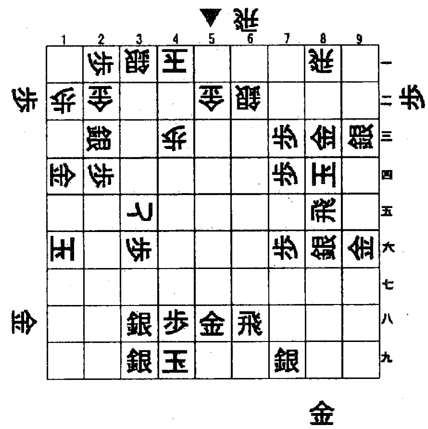

図 3: 協調の例 (1)

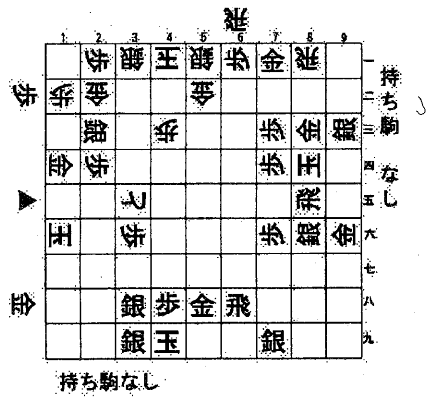

図 4: 協調の例 (2): 下 ☖7一金 まで

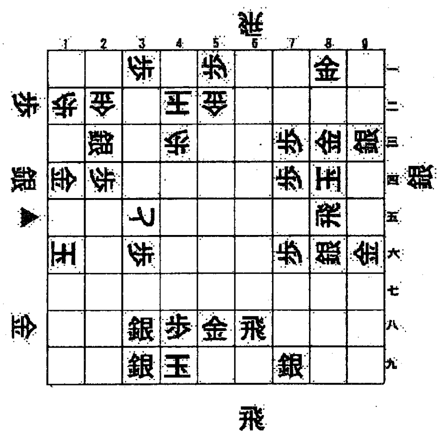

図 5: 協調の例 (3): 右 ☖5一歩 まで