

多人数ゲームにおける枝刈りと四人将棋への応用

大川貴之(千葉大学自然科学研究科) 桜井貴文(千葉大学理学部)
小谷善行(東京農工大学工学部) 辻 尚史(千葉大学理学部)

2人ゲームでは 法などにより枝刈りを行って、ゲーム木の中で読む場合の数を大幅に減らすことができるが、一般の多人数ゲームでは相手が複数で、複数のプレイヤーの有利不利が入り交じったりするので、2人ゲームと同じ方法で枝刈りを行うことはできない。

本論文では、各プレイヤーの評価値の和が一定であるという仮定を設けて、多人数ゲームにおける枝刈りを行う方法を考えた。

多人数・零和・有限・確定・完全情報の条件を満たすゲームとして「四人将棋」がある。本論文では、我々が考案した多人数ゲーム木の枝刈り法を実証するため、四人将棋をプレイするプログラムを作成し、実験を行った。

A Pruning Method in Multi-player Game and its Application to Yonin-shogi.

Takayuki Ohkawa (Chiba Univ.) Takafumi Sakurai (Chiba Univ.)
Yoshiyuki Kotani (Tokyo Univ. of Agriculture and Technology)
Takashi Tsuji (Chiba Univ.)

In this paper, we study a pruning method which searches an multi-player game tree. We concentrate here on multi-player, zero-sum, deterministic, and perfect information games.

In the case of two-player game, the alpha-beta technique is used to speed up the search of a tree by maintaining cutoff values. But it is not applicable to a multi-player game, since each player has more than one opponent.

Here, we introduce a pruning method in searching a multi-player game tree. Moreover, we implemented a program that plays Yonin-shogi, and we show that the method introduced here is effective in the search of a game tree of Yonin-shogi.

1 多人数ゲームの定義

まずはこの論文における「多人数ゲーム」の定義をここにあげる。

- ・プレイヤーの人数は n 人であること。($n \geq 3$)
- ・そのプレイヤーが全員敵同士であること。
- ・各プレイヤーが、他のプレイヤーの勝ち負けに関わること。
- ・各プレイヤーに順位がつくこと。(1位~ n 位)(この条件は、零和の定義である。)

多人数(零和)ゲームはいろいろあるが、有限・確定・完全情報となると、かなり種類が少なくなる。この条件のもとに、多人数ゲームのアルゴリズムを考える。

2 多人数ゲーム木の探索

多人数ゲームの木でも、探索方法は基本的には2人ゲームの場合と同じ。

n 人ゲームの場合、葉の評価値を n 次元配列にして、評価値の和が一定になるように評価値配列の値を出す(配列の自由度は $n-1$)。各プレイヤーに対応する要素の値が大きいほど、そのプレイヤーは有利。そして各プレイヤーは、自分に対応する配列の要素の値がなるべく大きくなるように手を選ぶ。

図1に4人ゲームのゲーム木探索の一例を示す。

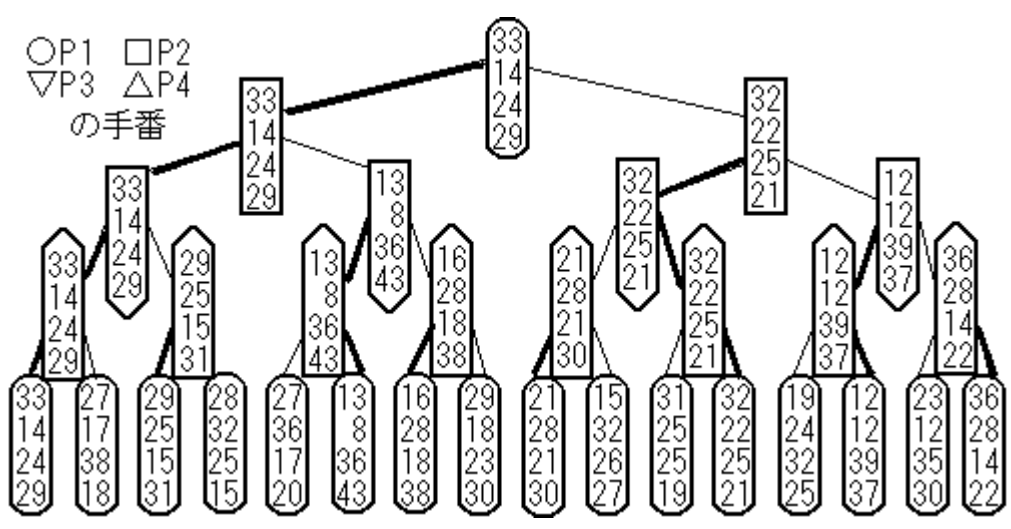


図1 多人数ゲームの探索木 (n = 4)

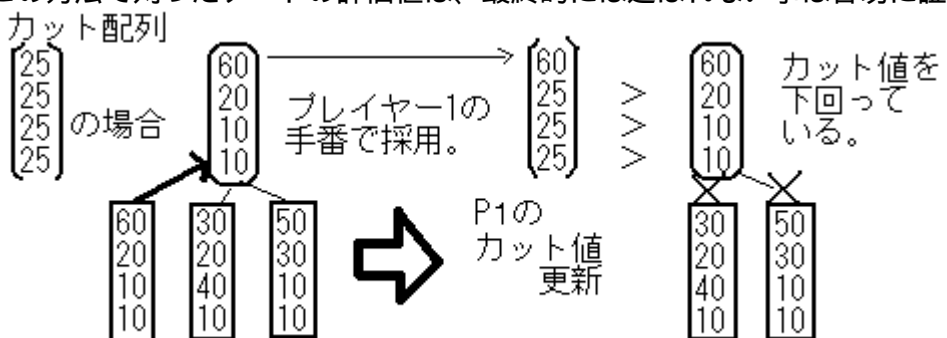
3 多人数ゲーム木の枝刈りアルゴリズム・カット配列法

2人ゲームにおける 法の値の代わりに「カット配列」を用いて枝刈りを試みる。

- ・プレイヤーがn人の場合、ゲーム木の末端(葉)の評価値は、n次元配列をあたえる。(配列の各要素の値は、各プレイヤーに対応する。)
- ・各プレイヤーにカット値を与える。このカット値には、最初は最小値を与える。また、このカット値はn次元配列の形になる。(この配列がカット配列。)

ゲーム木を探索してある手を採用したとき、自分の場所に対応するカット値を、採用した自分の値に更新する。(そのノードから出ている枝の最初の所は、いったんは必ず採用する。)そのカット値は、そのノードの先の方を読むときのみ有効であり、かつこのカット値は、「そのプレイヤーは、それ以下の値は採用しない」事を示す。その際に、他のプレイヤー全員の値が、それぞれそのプレイヤーのカット値を下回っていた場合、枝刈りせよと指令を出す。

この方法で刈ったノードの評価値は、最終的には選ばれない事は容易に証明できる。



*手を採用した時点で、他全員がカット値を下回っていたら枝刈り。

図2 カット配列値代入と、カット値配列による枝刈り。

結論から言うとこの方法による枝刈り法は、プレイヤーの人数が3人以上だと成功率は100%ではない。失敗して、枝刈りを行わない場合と違う結果が出ることもある。(枝刈りエラーと呼ぶ事にする。)

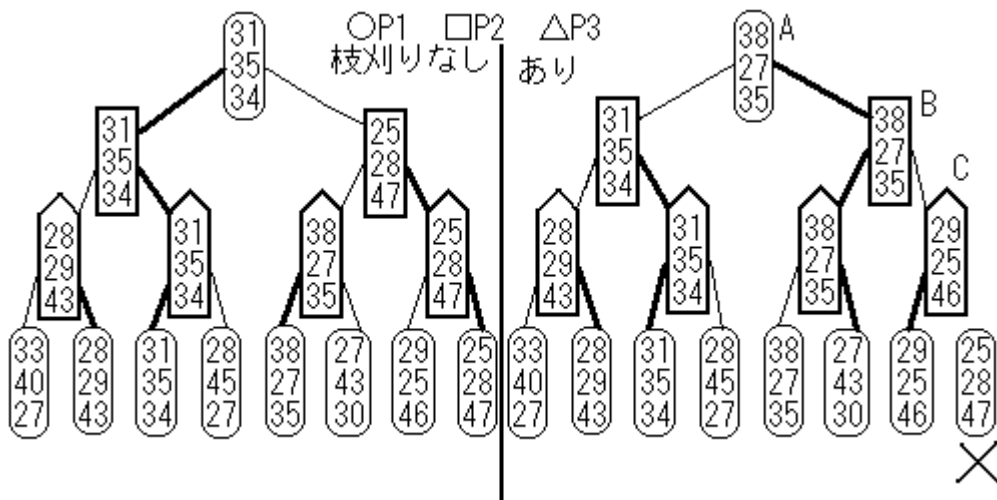


図3 カット配列法の反例

- A . 左4つ読み終わり。カット配列 { 38 , 0 , 0 }
- B . 左6つ読み終わり。カット配列 { 38 , 29 , 0 }
- C . 左7つめ、カット配列 { 38 , 27 , 46 }、採用した評価値 { 29 , 25 , 46 }
 $38 > 29$ 、 $27 > 25$ より、 \times が刈られて、結果が変わってしまう。

4 カット配列法実験・考察

刈られたノードの値は採用される事はないが、それ以外の所で影響が出て、結果が変わってしまったという反例も発見されているので、どのようなゲーム木では、どれだけの可能性で枝刈りが成功するか、また、枝刈りが成功した場合、刈られる割合はどれだけかを調べるため、次のような実験を行う。

- ・ゲーム木の深さ ・木の幅（各局面の候補手数）・プレイヤーの人数（n）
- ・評価値の和 ・1手当たりの評価値の変化

これらの値を変えながら乱数を用いてゲーム木を生成し、探索して枝刈りありとなしとで結果がどうなるかという実験を1000回ずつ行う。そして最終的に枝刈り成功率と、その成功時の枝刈り後の平均ノード数の割合を出す。その実験結果をもとに考察を行う

- ・深さによる枝刈りの違い
 - ・人数による枝刈りの違い
 - ・幅による枝刈りの違い
- （幅4、人数4、） （幅4、深さ8） （深さ4、人数4）

深さ	回数	枝刈後%	人数	回数	枝刈後%	幅	回数	枝刈後%
4	996	97.60	3	486	47.53	2	1000	99.83
5	992	96.52	4	841	80.92	3	1000	98.97
6	986	91.71	5	981	95.92	4	996	97.60
7	953	88.08	6	999	99.19	5	992	96.22
8	841	80.96				6	990	94.56
						7	984	92.71

（3つとも、評価値の和10000，評価値の変化1/100）

- 回数 = 枝刈りが成功した（枝刈りするとしないで同じ結果になった）回数。
- 枝刈後% = 枝刈り成功時、枝刈り後のノード数 / 枝刈り前のノード数 の平均の%
- 和 = 評価値の和 変化 = 評価値の変化の割合

評価値の和、変化による枝刈りの違い（以下すべて人数4、幅4、深さ8）

	和	1000	和	5000	和	10000	和	20000	和	50000
変化	回数	枝刈後%	回数	枝刈後%	回数	枝刈後%	回数	枝刈後%	回数	枝刈後%
1/10	823	81.20	844	81.17	807	81.07	826	81.07	833	81.30
1/50	877	81.53	856	80.76	865	80.51	854	80.66	829	80.70
1/100	912	82.16	878	81.01	841	80.96	860	80.98	841	81.01
1/200	931	83.68	873	80.83	857	81.21	853	80.68	831	80.70
1/500	981	86.56	912	81.75	862	81.68	853	80.94	853	80.71

評価値の和、変化の違いによる枝刈り成功回数の違い

和 変化	1000	5000	10000	20000	50000	合計
1/10	823	844	807	826	833	4133
1/50	877	856	865	854	829	4281
1/100	912	878	841	860	841	4332
1/200	931	873	857	853	831	4345
1/500	981	912	862	853	853	4461
合計	4524	4363	4232	4246	4187	21552

表1 枝刈り実験結果の表

実験の結果から次のようなことが考えられる。

- ・ゲーム木が深くなるほど、枝刈りされる割合は大きいなるが、エラー発生も多くなる。
- ・ゲームの木の幅が広がるほど、枝刈りがされやすいが、やはりエラー発生も多くなる。
- ・人数が多くなれば、枝刈りされる割合は小さくなるが、エラー発生も少ない。
- ・評価値の和が大きくなるほど枝刈り成功率は下がり、1手あたりの評価値の変化が大きい場合も、枝刈り成功率は下がる。
- ・評価値の和×評価値変化の割合の値がある程度大きくなったら、枝刈りされる割合があまり変化しなくなる。（この例の場合、だいたい（評価値の和 × 変化） > 10 くらい）特に3人の場合は、枝刈りエラー発生率が高くなる。

しかしこれはあくまで実験の結果である。実際のゲーム内ではどうだろうか。特に四人将棋では、ゲーム中1人が詰んだらあとは3人でプレイすることになるので、エラー発生が心配される。

5 四人将棋における多人数ゲーム枝刈りの適用

多人数（零和・有限・確定・完全情報）ゲームにおける枝刈りを実践するために、太田満保氏考案の四人将棋 [1] をプレイするプログラムを作成した。

多人数ゲームにおける枝刈りが、どのような影響を及ぼすか、及びどのような局面で枝刈りが多くできるようになったり、枝刈りエラーが発生したりするかを調べる。

< 四人将棋のルール >

駒の初期配置、向きは以下の通りである。（4人が向かい合ってプレイする。）

- ・ゲームの目的は、相手の玉を詰ませることである。(誰を詰めても良い。)
- ・最初に手を指す人を基準に、時計周りに順番に指してゆく。
- ・誰かに王手がかかった場合は、その王手がかかった人まで手番が飛ぶ。
- ・詰められたプレイヤーの駒は、詰めたプレイヤーのものになる。
- ・2人の玉が詰められた所で、ゲームは終了し、各プレイヤーの順位を決定する。

		龍	金	王	金	龍	
			歩	飛	歩		
銀				歩			銀
金	歩					歩	金
玉	飛	歩				歩	飛
金	歩					歩	金
銀			歩				銀
			歩	飛	歩		
		銀	金	玉	金	銀	

図4 四人将棋 盤面初期配置

6 四人将棋のプログラムの仕様

この論文で使用した四人将棋のプログラムの評価値の仕様は、以下のとおりである。

評価値の出し方は、各プレイヤーの持っている駒の数、種類によって以下のように決まる。

玉(玉裏)	歩	銀	金	飛車	と金	成り銀	龍
500	5	25	50	100	60	55	150

表2 駒の評価値の値の表

各プレイヤーの駒の値の和が、評価値となる。ただし、このプログラムにおける玉の評価値は、詰められていないプレイヤーの最低値を確保するためのものである。

このプログラムの仕様だと、誰かの駒が成った場合、評価値の和が変わってしまう。同じ先読みゲーム木の中で、評価値の和が変わってしまうのはこの多人数ゲーム探索において不適切なことである。そこで、評価値の和を一定の値に変換することを行う。

ゲーム終了の局面では、先ほどの評価値の与え方とは別なやり方で、評価値を与える。四人将棋のゲームの性質から、3位、4位は詰められることによる「負け抜け」で決定し、1位、2位は玉を詰めた数、駒の数による点数で決まる。

1位2位の評価値の差を大きくして、その差をはっきりさせることにより(1位のプレイヤーに大きなボーナスを設ける。)1位のプレイヤーにはルート値枝刈り法が適用できる。

ルート値枝刈り法とは、ある程度の評価値が確保できたらあとの手は読まないで刈ってしまうという枝刈り法で、この論文の中の「カット値」に関係なく枝刈りができる[2]。

このプログラムの場合、自分が1位になるという候補手があったらそれを指すので、他の候補手は読む必要がない。

7 実験その1

4人のプレイヤー全員枝刈りなしと、4人のプレイヤー全員枝刈りありの対局を行ったところ、2つとも全く同じ棋譜になった。(思考部分は全く同じ。及びランダム要素などは含まれていないので、何度やっても結果は変わらない。つまりすべての局面で、同じ手を選んだ事になる。)

同じ棋譜なら、どのような条件のときに枝刈りがよく行われるかがわかる。この実験対局から

考察する。

・序盤は、枝刈りされない。

最初のうちは、駒のぶつかり合いがおこらないので、評価値に変化は無い。変化がなければ、当然枝刈りもおこらなくなる。最初の8手(2手×4人)は、定跡データを使う。

中盤

カット配列における枝刈りが最も重要になるのは、中盤だと思われる。

やはり有利な手が先に読まれていると、効果は大きいようだ。

終盤

ルート枝刈り法が大きな効果をあげる。ルート枝刈りによって、読むノードの数がひと桁になることもある。

また、プレイヤー人数が3人になると、枝刈りされる率は上がる。

全体の枝刈り..... 6 8 3 4 2 / 7 8 1 4 0 (8 7 . 4 6 %)
 中盤、4人で指しているときの枝刈り ... 4 8 9 7 6 / 5 4 0 0 6 (9 0 . 6 9 %)
 3人で指しているときの枝刈り ... 8 4 8 4 / 1 2 2 6 7 (6 9 . 1 6 %)
 (中盤は9手目以降、ルート枝刈りが働くところは除く。)

4人より、3人の方が枝刈りが多くなる。枝刈りがうまくいけば、結構な効果があげられる。また、王手がらみだと、読むノード数が少なくなる。

8 実験その2

今度は、参考文献の中にあつた実際の棋譜(シングルス 2~4) [1]を指してみ、その中で思考プログラムはどんな手を考え、どれだけ枝刈りするかを調べる。

	棋譜 2	棋譜 3	棋譜 4	合計
全体	5 0 9 2 3 / 5 5 9 8 7 90.95%	9 3 3 2 5 / 1 0 9 5 0 0 85.23%	1 1 8 0 2 6 / 1 3 0 1 9 6 90.65%	2 6 2 2 7 4 / 2 9 5 6 8 3 88.70%
中盤 4人	3 9 9 8 5 / 4 4 1 4 0 90.59%	5 3 1 1 4 / 5 5 9 6 1 94.91%	9 2 2 7 4 / 9 6 7 0 6 95.42%	1 8 5 3 7 3 / 1 9 6 8 0 7 94.19%
3人		2 9 2 7 1 / 4 0 7 0 7 71.91%	1 4 2 1 5 / 2 0 4 7 3 69.43%	4 3 4 8 6 / 6 1 1 8 0 71.08%

表3 各棋譜における候補手の枝刈り数・割合。

・(表の見方)上段...枝刈り後のノード数の和 中段...枝刈りなしのノード数の和
 下段...枝刈り後/枝刈りなし の比率

・「全体」は、序盤8手、ルート枝刈りが働いている局面を含む。

・「4人」は、4人で対局している中盤、「3人」は、1人が詰んで、3人で勝負している場合。

・「中盤」は最初の8手の序盤と、ルート値枝刈りが働いていると思われる所は値に入っていない。

・棋譜2では1人が詰んだあと、すぐにもう1人詰められたので、3人の部分はなし。(ルート値枝刈り分のみ)

やはりここでも、枝刈りありとなしとで、一度たりとも異なる手を出してることなく、同じ手を出す様に読んでいた。即ち枝刈りにより、違う手を出すことがなかった。

< カット配列法による枝刈りの考察 >

たしかにカット配列法がうまくいけば、結構な枝刈り効果が上げられると見てよい。また、終盤におけるルート枝刈り法は、多人数ゲームでも大きな効果をあげることがわかった。(実際は枝刈りありと無しとで結果が異なっている可能性もあるが、選ぶ手が同じならば問題ない。) また、多人数でも早いうちに有利になるだろうという手を読めば、枝刈りがより多く行われるものと思われる。

なぜこれほどまでにカット配列法がうまくいくのだろうか考えられる理由を述べる。250手以上読んで、エラーは1度もなし、特にプレイヤーが3人になってからもエラーが発生しなかったのは注目に値する。

・木の幅も深さも、それほど大きな値ではない。
深さ5、幅4なら、それほど多くエラーが出ないものと思われる。

・実質的な評価値の和が小さい。

このアルゴリズムでは、評価値の和を10000としているが、全員分の駒の評価値をそのまま足すと、(玉500+飛車100+金50×2+銀25×2+歩5×3)=765×4=3060。しかも、駒の評価値はすべて5の倍数なので、実質的には $3060 \div 5 = 612$ と低い値なる。この計算で、「まだ王手などが関わってない場合」を考慮すると、Aの値は実質 $(765 - 500) \times 4 = 1060$ $1060 \div 5 = 214$ とかなり小さくなる。

このように、実質的な評価値の和の値が小さいことが枝刈りエラーを押さえている原因の1つと思われる。

・明確に有利になる手は逃さないか。

特に飛車を取りに行った場合、自分の評価値が大きく上がる。実験では、「明確に有利になる」という概念は入ってなかったので、実際の対局とは違う結果になることも考えられる。

そこで、以下のような実験を行った。

基準となるプレイヤーが選ぶ4つの手の中に、1つだけそのプレイヤーが「明確に有利になる手」を入れる。他の手を選んだ場合、その有利になる分の値には追い付けないものとする。プレイヤーの人数は3、木の幅は4、木の深さは6(プログラムより少し深く)

すると、1000回の実験中、1度たりとも「明確に有利になる手」を外すことはなかった。

結論 ~多人数ゲームにおけるカット配列法による枝刈りは有効な方法か~

このカット配列法を使う場合の準備としては、

- ・実質的な評価値の和をなるべく小さくすること。
- ・通常の評価値の変化の範囲もあまり大きくしないこと。
- ・探索木などもあまり大きめのものにしないこと。

また、評価値を一定の値に変換する関数を使えば、結構評価値の取り方に自由が聞かのように

なる。ただし注意しないと、評価値の変化の幅が大きくなることも考えられる。

この多人数ゲームのカット配列法は、あまり大きな効果を期待できるものではない。あくまで思考時間を少しでも減らす「補助的なもの」と考えた方がいい。

また、2人ゲームの法と違い、完璧にカットするものではない。それでも明確に有利になるような手は落とさないと考えられるが、それも100%を保証するものではない。枝刈りは、基本的にはゲーム木を読む範囲を狭めるものなので、どうしてもという局面では、使わない方がよいと思われる。

多人数ゲームでも、ルート枝刈りは有効なのでできればアルゴリズムに入れるのが好ましい。

～これからの課題～

このカット配列法をベースに、さらに有効に枝刈りができる方法はないか、エラーの発生を食い止める方法はないか。また、その方法を実戦で生かせるかどうか。

もともと、多人数・零和・有限・確定・完全情報ゲーム自体が少ないので、なにか研究用に「擬似ゲーム」という形で新しいゲームを作る必要があると思われる。

<参考文献>

- [1] 太田満保・田中寅彦監修 井上慶太・東京大学将棋部共著、四人将棋入門
株式会社クレオ
P 3 ~ 6 , P 1 6 ~ 4 0 , (棋譜) P 5 2 ~ 7 5 , P 1 9 4 ~ 1 9 8
- [2] 松原 仁 編著 コンピューター将棋の進歩 共立出版株式会社
P 4 1 ~ 4 2