

2-Hirn

柴原 一友 後藤 智章 乾 伸雄 小谷 善行
東京農工大学工学研究科小谷研究室

概要

本研究では、二台のコンピュータを使用して探索を実行する手法について提案する。この手法では、片方のコンピュータは通常どおりの探索を実行させ、もう片方に関しては、人間のように狭く深い探索を実行させる。その結果得られる二つの候補手のうち、可能な限り人間のような探索を実行した候補手を選択するというものである。ただし、その手がもう片方のシステムの判断基準からして明らかに悪い場合は、その手を指すことを諦めることとする。簡易的な方法を用いて実験を行った結果、通常の探索量に設定したシステムとでの対戦結果では、単純に探索量を二倍にする場合と比べ、若干高い性能を示した。しかし、直接探索量を二倍にしたシステムと対戦させた場合、明らかに悪い結果となった。これにより、本手法は特殊な性質を持つことがうかがえる。また、今回使用したシステムには改善の余地が多く存在していることを示す。その改善次第では単純に二倍にするよりも高い性能を示せる可能性がある。

2-Hirn

Kazutomo Shibahara Tomoaki Gotoh Nobuo Inui Yoshiyuki Kotani
Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract

We propose the technique of search with two computers. One of the computers usually searches a game tree. Another one performs narrow and deep search like human. Between two candidates, the result with deep and narrow search is chosen as much as possible. However, it gives up using the move when it is clearly bad by another system. As a result of the tournament result with the usual amount of search, our experimental system showed a high performance against a system with the doubled amount of search is simply. However, with the system which doubled the amount of search directly, a clearly bad result is brought. Thereby, it suggests that this technique has special character. Moreover, we show that the room of an improvement exists in the system.

1. はじめに

これまでチェスや将棋などにおいて、二台以上のコンピュータを使用して並列探索を実行する方法が考案されてきた。また近年、二台のコンピュータと一人の人間を使用して解を得る 3-Hirn と呼ばれる手法が研究されてきている[1]。本研究では、3-Hirn を応用し、二つの探索システムを使用して一つの解を得る方法を提案する。

2. 背景

本研究で示す 2-Hirn は二台のコンピュータを使用して探索を実行する手法である。これまでの研究において二台のコンピュータを使用する方法としては、並列探索と 3-Hirn が知られている。この二つの探索手法について次に示す。

2.1. 並列探索

これまでに、探索の高速化の方法としてさまざまな並列探索手法が考え出されてきた。その基本的な考え方としては、あるひとつの探索木を探索する際に、その探索を複数台のコンピュータを使用して、探索する部分を分けて探索するというものである。この方法を使用すると、理想的には台数分の速度上昇が可能となるが、実際にはそうはならない。現在の探索は $\alpha\beta$ 探索と呼ばれる手法を使用して探索を実行する。これは、以前に探索した際に得られた情報を保持しておき、以降の探索において、最善手の決定に影響を与えない部分の探索を打ち切ることで大幅な探索速度の向上を図っている手法である。しかし、コンピュータを複数台使用する場合、この情報がすべてのコンピュータで同時に同一の情報を持つことができない。よって、一台で実行しているときとくらべ、探索の実行に無駄が多く生じることになってしまい、単純に台数分の効果を得ることはできない。また、この情報が更新された際に、通信を使用してその情報を他のマシンに対して通知する方法も考えられたが、通信にかかるコストが大きく、探索速度は大きく向上できない[6][7]。

2.2. 3-Hirn システム

3-Hirn システムとは、二台のコンピュータと一人の人間を用意して、解を求める手法である。二台のコンピュータにはそれぞれ、別々のシステムを動かしておく。そして、二つのコンピュータシステムにそれぞれ解を求めさせ、その解が一致した場合はその手を選択する。両者の解が異なった場合は、人間がどちらを選ぶか選択する。この方法は、システムや人間の強さよりも強い性能を示すことが可能であると示されており、将棋[5]や囲碁[2][4]などの分野に限らず、様々な分野への応用が考えられている。

2.3. 3-Hirn システムの利点

3-Hirn システムが成功した要因として考えられるものの一つとして、コンピュータと人間の思考方法の違いが挙げられる。コンピュータは可能な限り全幅探索を実行することで、広く浅い探索を実行しているのに対し、人間は高い評価能力を用いて狭く深い探索を実行している。また、両者の価値観は異なっており、コンピュータにとっては大差ない二つの手から、人間は別の尺度によって違いを見抜き、より良い選択を選ぶことができる。

3. 2-Hirn

3-Hirn の特徴として挙げられるのが、人間が介入しなければならないという点である。コンピュータ将棋のように、人間が介入することの許されない場合に関しては、3-Hirn を使用することはできない。そこで、この考え方を利用して探索する方法について考えたのが、提案手法である 2-Hirn である。

コンピュータは現在、広く浅い探索を行うことで、すべての候補手について調べる方法が主流となっている。これは、コンピュータの判断はミスを含みやすいため、時間を費やしてでも大きく間違った手を指さないようにしているからである。逆に人間は狭く深い探索を行っている。経験や判断力を駆使して候補手を限定し、深い位置まで読んでいく。これは、人間はコンピュータと異なり、明らかに悪い手や意味のない手などを判断する能力に長けているため、候補手を大幅に制限しても間違う可能性が低いからである。コンピュータが人間に勝てない要因として挙げられるのは、人間よりも深い位置まで探索を実行できない点である。

2-Hirn のコンセプトとしては、人間的な探索を実行した結果をコンピュータ的な探索で調べ、コンピュータが提示する最善手と比べてそう悪くない場合は、人間的な探索の結果を使用するというものである。ここでいう人間的な探索とは、狭く深い探索のことであり、コンピュータでは通常実装されない探索方法である。

より人間に近く、より先の展開まで把握できるだろう狭く深い探索によって最善であるとらんだ手が、安全性の高い評価をする広く浅い探索においても、それほど悪くないのであれば、狭く深い探索結果を使用するべきである。いうなればこれは、コンピュータ的な探索と人間的な探

索を組み合わせ、コンピュータ的な安全性を保ちつつ、人間的な価値判断を用いて手を選べるようにした探索手法であるといえる。

3.1. 2-Hirn システムの動作

具体的なシステムの動作について説明する。フローチャートを図 1 に示した。システムの一つは通常どおりのシステムである。これを以降メインと呼ぶ。もう一つのシステムとして、狭く深い探索を実行するシステムを用意する。これを以降サブと呼ぶ。通常、評価関数の設計は、時間とのトレードオフを考えて作成する。いくら高い局面判断能力を持つ評価関数であっても、それに要する時間が多すぎる場合、探索に要する時間が大きくなり、深い位置まで探索することができなくなる。よって、評価関数としては悪いものとなる。これに対して、サブシステムでは、評価関数の性能を高めたものを導入し、時間については強く考慮しない。つまり、通常のシステムに比べて、評価関数は時間を多く消費するものになっている。その代わりとして、探索において前向き枝刈りを強く働かせておく。つまり、比重を評価関数よりにしておくのである。これは、より人間的な探索を実行できるようにしたシステムとなる。

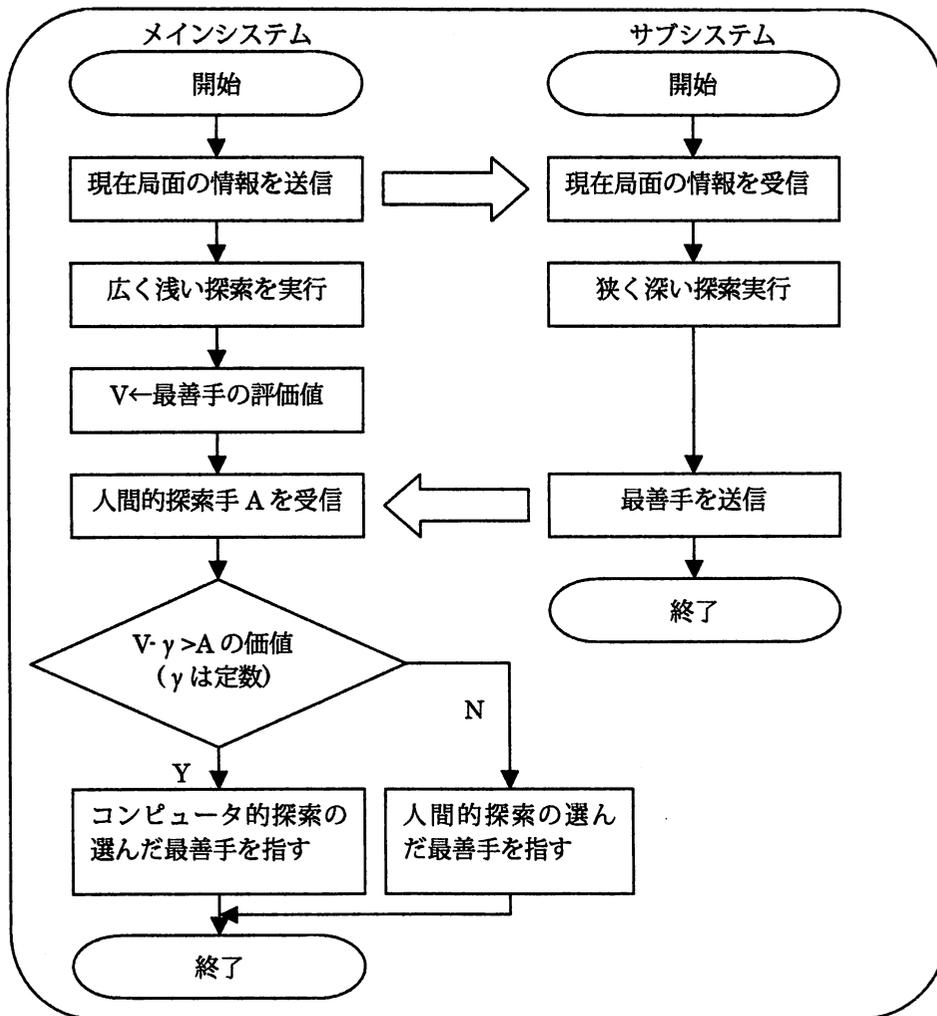


図 1 2-Hirn の指し手決定フローチャート
注) $V \cdot \gamma > A$ の判断は null-window 探索により実行

候補手の決定は次のように実行する。まず、二つのコンピュータを用いて、両システムによって現局面を探索し、候補手をそれぞれ決定する。その候補手が一致する場合、その手を指し手として決定する。異なる候補手が選ばれた場合、サブシステムで得られた候補手は、ハイリスクハイリターンな手であるため、その候補手を指したときに問題が大きすぎるならばその手を指す事を諦めるべきである。そこで、サブシステムが選んだ手がメインシステムからみて明らかに悪い場合、その手を指す事を諦め、メインシステムの手を指し手として決定する。その方法として、メインシステムの選んだ候補手の評価値 V に対し、許容範囲 γ を設定する。サブシステムで得られた手の評価値 V' が、 $V - \gamma \leq V'$ であるならば、サブシステムの手を選択し、 $V - \gamma > V'$ である場合、サブシステムの手を指す事は危険であると判断し、メインシステムにおける最善手を指す。この判断は null-window 探索を行うことで実行できるため、探索にかかる時間は少ない。

3.2. 2-Hirn システムの利点

このシステムの利点を次に示す。

- 人間的な探索により、従来の探索では得られなかった意味を見いだせる。
- 人間的な探索部分では、より高度な評価を使用して最善手を選択できる。
- メインとサブは独立しており、同時に実行できる。よって、従来のシステムと探索時間があまり変わらない。
- 現在存在するシステムをそのまま使用できる。
- 並列探索にありがちな、手間のかかるプログラミングが存在しない。
- 3-Hirn と違い、二つのコンピュータシステムは同一のものを使用できる。
- 許容範囲 γ の値を乱数の幅程度に設定した場合、選ばれる指し手は、乱数による変動の範囲内となる。結果、現在のシステムよりも悪い手を指す可能性は 0 に近い。
- 何らかの事情によりサブが停止しても、メインで最善手が得られていれば、手を指すことができる。

3.3. 2-Hirn の適用実験と結果

ここからは、2-Hirn を簡易的な方法で適用し、その性質をはかるための実験を行った。システムは本研究室で開発中の「まったりゆうちゃん」を使用した。実験は、2-Hirn を実装しない場合との自己対戦とし、探索は二台使用する代わりに、一台で二倍の時間を使用した。サブは今回、確率延長の比率を変更したものを使用している。確率延長とは、統計的なデータを用い、多く展開される種類の手に関してより深く読むようにする手法である[9]。今回の実験では、深く読むべき場所をより深く読み、浅く読むべき場所をより浅く読むようにした。今回は、評価関数については変更していない。対局時間はコンピュータ将棋選手権における設定の 10 分の 1 に設定した。コンピュータ将棋選手権では、一対局にたいし 25 分の持ち時間が与えられている。これに対し、本実験では一対局 2 分半の持ち時間であると仮定して対戦を行っている。今回、null-window 探索は深さ固定で時間の制限はしていない。終盤では、null-window 探索の負担は大きくなるが、2-Hirn は反復深化を二回行っていることもあり、最終的な総探索時間はほぼ二倍となっていた。

実験の結果を表 1 に示す。

表 1 自己対戦実験の結果

	対戦数	勝率
通常(探索時間二倍)	600	58%
2-Hirn	1121	61%
サブ(探索時間同じ)	200	14%

サブとは、サブ単体で探索時間を同じにして対戦させた結果であり、簡略化のため、対戦時間は他の二つよりもさらに短く設定している。

実験の結果、単純に探索時間を二倍にする場合よりも高い性能が得られた。並列探索では、二台のコンピュータを使用しても探索量を二倍にできないことや、2-Hirnの探索している木の範囲が並列探索に比べて狭いことを考えると、かなり有効な結果が得られている。

3.4. 等時間での実行結果

上の実験では、探索する時間を二倍に設定して対戦を行っている。それにより、探索量を二倍にする以上の効果を発揮した。では、探索時間を二倍にせず、等時間で探索を実行した場合はどうなるのかを調べた。その結果、勝率は約40%という結果になった。先の実験から、相手の探索量を二倍にした場合、勝率は約42%となる。つまり、探索量を二倍にしたものと同等の強さを持ち合わせながら、その探索量二倍システムと対戦比較した場合、探索量が2分の1であるようなシステムと同等の性能しか示さないということになる。

ただしこれは、2-Hirnの探索が、実際には重なる部分が極めて多く、探索量が二倍になっているとは考えにくいことなどが原因として考えられる。よって単純に結論付けることはできない。しかし、そのことをひとまず置いておくとすると、2-Hirnの持つ性質がかなり特殊であることが伺える。今回の実験において、2-Hirnは二台使用して探索を二倍にしているながら、実際は約一台分の探索性能しか得られていないのに、一台分のシステムに対して二台分レベルの性能を発揮できることになるからである。これは、2-Hirnというシステムが探索量増加とは違う尺度の強さを持っていることが要因として考えられる。他の要因として考えられるのは、人間的探索の探索範囲が、二台分の探索で探索される範囲を超えることが少ない可能性がある点である。この場合、2-Hirnの選択する候補手は、二台分のコンピュータで得られる候補手の性能を超える可能性は少なくなる。

また、コンピュータ的な探索による結果が選択された場合、候補手は実質的にみて、一台分の探索で得られた手を選択することとなる。よって、一台分の探索によって得られる候補手が悪手である可能性が高い場合、2-Hirnは二台分の性能に追いつかない可能性が高い。2-Hirnが二台分の性能に追いつくためには、一台分の探索によって得られる候補手のなかに、あきらかに悪い手を含まないことや、二台分の探索で得られる候補手の質に追いつかないまでも、大きく引き離されないことが重要となる。

3.5. 候補手の変化数

2-Hirnにおいて、候補手がどの程度変化しているのかを調べた。実験は、3.3の実験環境と同様の条件下で行った。その結果を次に示す。

一つの対戦において、平均約60回程度の機会があり、そのうち、約8回指し手の変更が行われていた。ちなみに、候補手が一致した回数は約40回であった。「まったりゆうちゃん」のもつ、状況を危険度によって判断する局面状況判断を使用して分けた場合の全体に対する、変更の割合グラフを図2に示す。

なお、0は危険度0以下の場合を示し、100は危険度100以上の場合を意味している。この局面状況判断は、だいたい0から100までの範囲内に収まるような設定になっている。

図2において変更とは、人間的探索が選んだ候補手に変更した割合のことであり、変更不要とは、両者の探索結果が一致した割合のことである。また、変更却下とは、両者の候補手は一致しなかったが、人間的な探索が選んだ候補手が却下された割合のことである。

図をみると、すべての状況において5割以上の確率で両者の候補手は一致している。割合で見ると、中盤あたりでは両者の候補手が一致する可能性が若干低く、コンピュータが強さを発揮しにくいあたりで、候補手の違いが現れやすくなっていることがわかる。中盤は探索の深さによる変化が大きく、探索の方法や深さによって候補手の変化が現れやすいことがうかがえる。

変更却下の割合を見ると、それほど大きな傾向は見られないが、強いというならば、中盤に高めの確率で現れている。中盤は状況の変化が大きい分、今回の簡易的な人間的探索ではあきらかな失敗をすることが多く、人間的探索が生かされない場面が多いことがわかる。変更却下の割合が減るということは、2-Hirn の効果を発揮できる回数が増えることである。よって、人間的探索の精度向上や、コンピュータ的探索による良い候補手の見落としの減少によって、この割合を下げるのが重要となる。

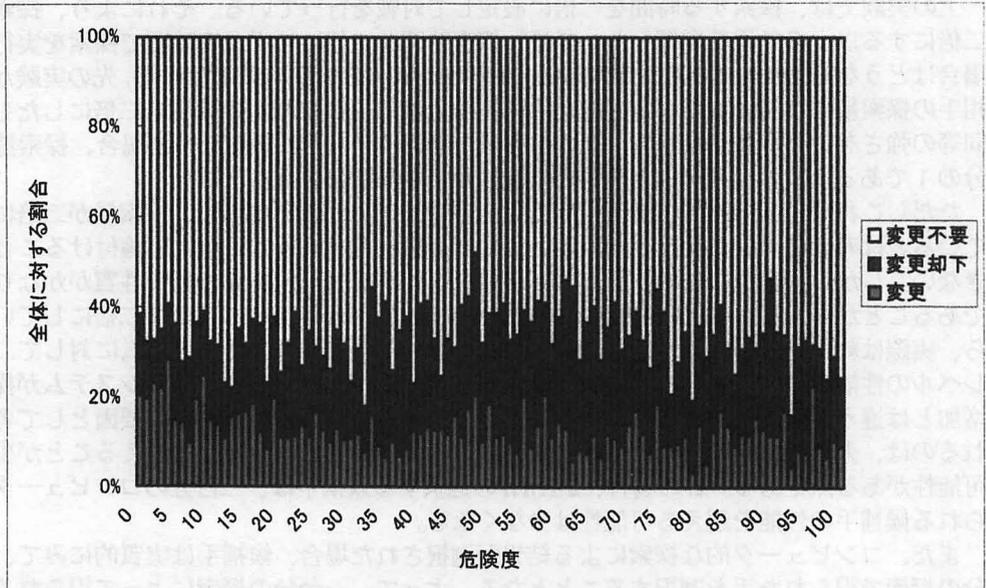


図2 候補手変更の割合グラフ

最後に変更の割合を見てみると、これも大きな傾向は見られないが、序盤での変更割合が割合大きいことがわかる。ここでの候補手は大きく変化が見られないことが多く、変更される可能性が高いと思われる。それが終盤になるにしたがって割合は低くなっている。終盤はコンピュータ的探索が選ぶ候補手の信頼性が十分高いことがその理由として考えられる。

3.6. コンピュータ的探索に対する人間的探索の探索比率

今回の実験で使用した設定で固定深さの探索を実行した場合の、コンピュータ的探索と人間的探索の比率について調べた。その際、探索量の比較を行えるようにするため、取り合い探索は行わずに実行している。その結果を表2に示す。

表2 コンピュータ的探索と人間的探索の比較

	同一部分	CP探索	HM探索	HMの比率
先手	65891	106400	1619	0.392
後手	62124	102674	1128	0.384

表2において、同一部分とは、コンピュータ的探索と人間的探索が探索した同一領域のノード数の平均である。CP探索とは、コンピュータ的な探索だけが探索した領域のノード数の平均であり、HM探索とは、人間的探索だけが探索した領域の平均ノード数である。そして、HMの比率とは、コンピュータ的な探索での探索量に対する、人間的探索の探索量の比率を示している。

これを見ると、人間的探索の行っている探索がコンピュータ的探索の4割以下であることがわかる。実際の適用では反復深化を行っているので、より深い探索に時間を費やしていくことがわかる。また、HM探索のノード数はとても少ないことがわかる。実際、HM探索部分が0である場合の割合は全体の約67%にのぼる。これは、確率延長を行う際に、全体的に探索量を減らすように設定していることが影響しているのではないと思われる。

3.7. 末端の深さにおける分布

3.6.では、固定深さにおける両者の相違について調べた。ここでは、実戦と同様に反復深化法を使用した場合に、探索木の末端が深さに対してどのような割合で分布しているのかを調べた。ここでは、図2を参考に、危険度が30未満の場合を序盤、危険度が30以上75未満の場合を中盤、75以上の場合を終盤として分け、それぞれについて調査した。その結果を図3~5に示す。

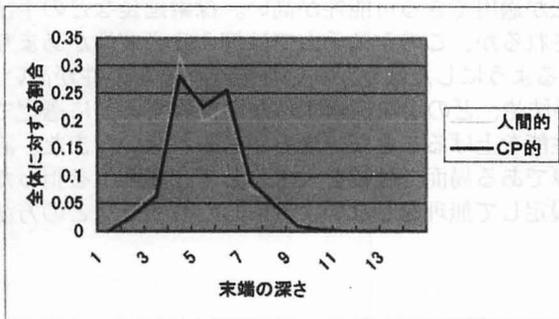


図3 序盤における末端の深さの分布

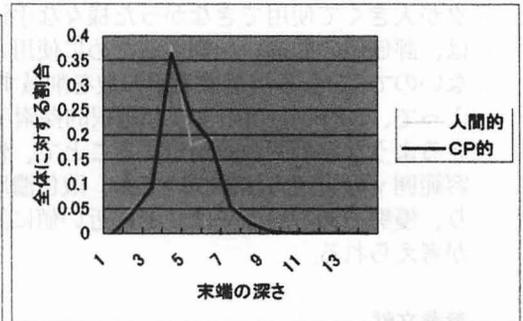


図4 中盤における末端の深さの分布

図を見ると、若干人間的探索の方が、深い位置の方向へと伸びている。しかし、両者の間にはそれほど大きな変化は見られない。人間的探索は、コンピュータ的探索とは大きく異なった範囲を探索するのが良いと思われる。よって、今回使用した人間的探索は決して好ましいものではないと考えられる。これを改善することによって更なる性能向上が期待できる。

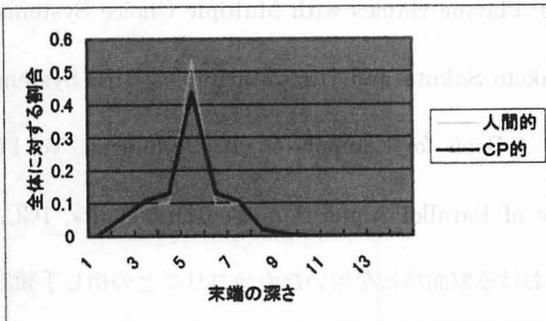


図5 終盤における末端の深さの分布

4. 考察

今回の実験では簡易的な方法を用いたが、単純に探索量を二倍にすることよりも高い勝率を示すことがわかった。より改善した手法を用いることで、さらなる向上が望められると思われる。しかし、実際に二倍にしたものと対戦比較した場合、その性能に追いつかないことから、2-Hirnによって得られる強さはかなり特殊なものであることがわかる。これは、コンピュー

タ的探索と人間的探索の比率からわかるように、人間的な探索がコンピュータ的探索の範囲を大きく逸脱して探索していないことが原因として考えられる。コンピュータ的探索の探索領域を改善し、より強い評価関数を用いるなどして狭く浅い探索を実行することで、改善される可能性は高い。

今回のシステムでは、最善手の変更を却下される場合が多く、2-Hirn が効果を発揮する場面が少ない。コンピュータ的探索と人間的探索の精度を向上させることによって、この割合を減らすことで、さらなる性能向上が考えられる。

5. おわりに

今回の実験では、サブシステムに対し、簡易的な手法を使用した。評価関数の性能を変えたりすることで、あきらかに悪い手を判断して、その部分の探索を完全に打ち切るなどの方法を行うことで、より高い効果を示す可能性は高い。

この手法は、研究する要素が多い。人間的な探索を行う部分は、従来の探索技法ではリスクが大きくて使用できなかった様々な手法が適用できる可能性が高い。探索延長などの手法は、評価値の間違いを抑えるために使用されるが、このシステムでは抑える必要性があまりないので、むしろ展開する手の数を削減するようにしたほうが高い性能を得る可能性が高い。よって、DFPM[10]のような選択的探索手法や、どの手を探索するかを探索する前に選定できるような評価関数を用意することで、性能を上げることができるとも思われる。また、許容範囲 γ の設定方法についても、敗色濃厚である局面では幅を大きくして起死回生を狙ったり、優勢である局面では、0 に近い値に設定して無理をしないようにしたりするなどの方法が考えられる。

参考文献

- [1] I.Althofer and R.G.Snatzake, Playing game with Multiple Choice Systems, 3rd International Conference on Computers and Games 2002, Edmonton, 2002.to appear in LNCS, Springer.
- [2] I. Althofer, 3-Hirn --- New Ways in Go with Computer, 10 August 2000.
- [3] I. Althofer, C. Donninger, U. Lorenz, and V. Rottmann. On timing, permanent brain, and human intervention. Proceedings "Advances in Computer Chess 7", University of Limburg Press, Maastricht, 1994.
- [4] I.Althofer and Raymond Georg Snatzke, Playing Games with Multiple Choice Systems: CG2003, 2003.
- [5] Fazrina Said, Tsuyoshi Hashimoto, Makoto Sakuta and Hiroyuki Iida, 3-Hirn System: The First Results in Shogi, GPW2002.
- [6] Paolo Ciancarini, Distributed Searches: A Basis for Comparison, ICCA Journal, Vol.17, No.4, pp.194-206, 1994.
- [7] H.Bal and R.vanRenesse, A Summary of Parallel Alpha-Beta Search Results, ICCA Journal, Vol.9, No.3, pp.146-149, 1986.
- [8] 松本慶太、乾伸雄、小谷善行、将棋棋譜における盤面情報を用いたカテゴリごとの指し手頻度測定, GPW2002.
- [9] 鶴岡慶雅、横山大作、丸山孝志、近山隆、局面の実現確率に基づくゲーム木探索アルゴリズム, GPW2001.
- [10] 飯田弘之、将棋プロ棋士の思考法をモデルとしたゲーム木探索、コンピュータ将棋の進歩, pp.24-49.