

Title	証明数を用いたゲーム木探索の新たなパラダイム
Author(s)	張, 嵩
Citation	
Issue Date	2019-06
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/16064">http://hdl.handle.net/10119/16064</a>
Rights	
Description	Supervisor : 飯田 弘之, 先端科学技術研究科, 博士

氏 名	Zhang Song
学 位 の 種 類	博士(情報科学)
学 位 記 番 号	博情第 415 号
学 位 授 与 年 月 日	令和元年 6 月 24 日
論 文 題 目	A New Paradigm of Game Tree Search using Proof Numbers
論 文 審 査 委 員	主査 飯田 弘之 北陸先端科学技術大学院大学 教授
	池田 心 同上 准教授
	白井 清昭 同上 准教授
	Nguyen Le Minh 同上 准教授
	Tsan-sheng Hsu 台湾大学 客員教授
	Shun-Chin Hsu 長榮大學 榮譽教授

## 論文の内容の要旨

Conspiracy number and proof number are two game-independent heuristics in a game-tree search. The conspiracy number is proposed in Conspiracy Number Search (CNS) which is a MIN/MAX tree search algorithm, trying to guarantee the accuracy of the MIN/MAX value of a root node. It shows the scale of “stability” of the root value. The proof number is inspired by the concept of conspiracy number, and applied in an AND/OR tree to show the scale of “difficulty” for proving a node. It is first proposed in Proof-Number Search (PN-search) which is one of the most powerful algorithms for solving games and complex endgame positions. The Monte-Carlo evaluation is another promising domain-independent heuristic which focuses on the analysis based on random sampling of the search space. The Monte-Carlo evaluation does not rely on any prior knowledge of human and has made significant achievements in complex games such as Go.

In this thesis, we select the conspiracy number search, the proof number search and the Monte-Carlo tree search as three example search algorithms with domain-independent heuristics to study its relations and differences, and finally propose a new perspective of the game tree search with domain-independent heuristics. The relations and differences of the three search algorithms mentioned can be summarized as follows. The Monte-Carlo tree search uses Monte-Carlo evaluations for the leaf nodes to indicate the most promising node for expansion. In other words, the Monte-Carlo evaluation can be regarded as a detector to obtain the information beneath the leaf nodes to forecast the promising search direction in advance. In contrast, the conspiracy number search and the proof number search tend to use the indicators corresponding to the structure or the shape of the search tree that has already been expanded. Therefore, it can be regarded as forecasting the promising search direction according to the information above the leaf nodes. As a natural induction of such understanding of the game tree search using domain-independent heuristics, we may get some improvements by combining the conspiracy number or the proof number idea with the Monte-Carlo evaluation into a search

algorithm, which can be considered as a combination of “the information above leaf nodes” and “the information beneath the leaf nodes”.

Our research focuses on applying or refining domain-independent heuristics such as the conspiracy number, the proof number and the Monte-Carlo evaluation to achieve such three purposes: (1) enhancing current search algorithm. For this purpose, we proposed the so-called Deep df-pn search algorithm to improve df-pn which is a depth-first version of PN-search by forcing a deeper search with a parameter. The experiments with Connect6 show a good performance of Deep df-pn. (2) Analyzing and visualizing game progress patterns for better understanding of games and master thinking way, such as showing the analysis of the game progress for learners in Chinese Chess tutorial system. For this purpose, we proposed the so-called Single Conspiracy Number method for long term position evaluation in Chinese Chess and obtained good results. (3) Studying the relations and differences between the conspiracy number, proof number and the Monte-Carlo evaluation and combining “the information above leaf nodes” and “the information beneath the leaf nodes” to propose a new search algorithm with domain-independent heuristics named probability-based proof number search. A series of experiments show that probability-based proof number search outperforms other famous search algorithms for solving games and endgame positions.

Keyword: combinatorial game, domain-independent heuristic, game solver, Monte-Carlo evaluation, game progress pattern

## 論文審査の結果の要旨

本学位論文はゲーム木探索でドメインに依存しない指標である証明数およびモンテカルロ法による勝率予測値を用いて探索を実行する新たな探索パラダイムを提案する．証明数は探索によりノード展開したゲーム木内部の情報であり，モンテカルロ法による勝率予測値はゲーム木外部の情報である．本研究では，ゲーム木内部および外部の両方の情報を利用する新しい探索アルゴリズムとして確率型証明数探索法を提案した．バランスのよいゲーム木を題材とした性能評価実験により，オリジナルの証明数探索やその改良版，そして，AlphaGo で用いられる UCT アルゴリズムなど既存の優れた探索アルゴリズムと比較した結果，提案手法が最も効率がよいことを検証した．この重要結論に到達するにあたり，以下の関連する研究も実施した．

バランスのよいゲーム木ではシーソー効果と呼ばれる現象のために，証明数探索が効果的でない場面が多々現れる．この問題を解決するために先に深層証明数探索（Deep PN）が提案された．ただし，Deep PN は最良優先型探索であるため，難しい問題を解くことができない．そこで，二つのパラメータを適宜調整することで Deep PN を深さ優先型と最良優先型の間のパフォーマンスとなるように改良し，Deep df-pn と名付けた．複数のゲームを題

材として評価実験を実施し、既存の優れた探索アルゴリズムと比較した結果、Deep df-pn が最高のパフォーマンスを示すことを確認した。

ゲーム木探索において、局面評価が一定の質が保証される場合、共謀数もまたゲーム木探索でドメインに依存しない指標と言える。ただし、共謀数がスカラー値でないため、実践的な利用が難しい。本研究では、探索の閾値を設定し、単独の共謀数をスカラー値として用いるシングル共謀数を提案した。試合中のシングル共謀数の推移に注目することで、試合中での長期的形勢判断が可能になることを示した。長期的判断が可能となったことで、形勢に応じて早期に戦略を変更するような新たな戦略のダイナミクスが可能となった。シングル共謀数は質の高い評価関数と併用することでより効果的であるが、タクティカルな局面では評価関数よりも効果的であることを確認した。

以上、本論文は、ゲーム木探索の新たなパラダイムを提案したものであり、学術的に貢献するところが大きい。よって博士（情報科学）の学位論文として十分価値あるものと認めた。