

# 論文の内容の要旨

論文題目 AND-OR Tree Search Algorithms for Domains with Uniform Branching Factors

分岐因子が一様な探索空間のための AND-OR 木探索アルゴリズム

氏名 美添 一樹

AND/OR 木探索とは、末端の節点が `true` 又は `false` の 2 値を持ち、木の内部節点が AND 節点か OR 節点で構成されるような木に対して探索を行い、根節点の論理値を求める問題である。AND/OR 木で表現できる問題は多数存在する。特に証明数を用いた探索アルゴリズムは詰将棋などのチェス型ゲームの終盤、詰碁、チェッカーの証明などで非常に有効であることが知られている。とりわけ、`df-pn`(深さ優先証明数探索)は詰将棋、チェッカーの終盤、詰碁などに適用され、大きな成功を収めている。このように、ゲーム中に現れるような複雑な AND/OR 木を探索する能力において、今日のコンピュータは人間を上回っていると広く信じられている。

しかしながら、人間には解けるがコンピュータにとって難しい問題がまだいくつか存在する。代表的な例は、玉が孤立した状態の詰将棋や領域が開いており脱出の可能性のある詰碁である。これらの問題に共通する特徴は、分岐因子が大きく、かつほぼ同様であることである。証明数を用いた探索アルゴリズムは、証明数が一番小さい節点から探索を行おうとする性質がある。証明数とは、ある節点が `true` であると証明するために探索する必要がある節点数の下限である。

ある節点を展開した直後の証明数は、単に分岐因子の数に比例する。そのため、「分岐因子が小さい選択枝ほど見込みがある」という仮定が成り立たない問題に対しては証明数を用いたアルゴリズムは遅くなる。既存のソルバは、それぞれの探索対象に特有の

知識を用いてこの問題を解決している。しかし依然として詰将棋は玉が孤立した詰将棋は苦手としており、詰碁は完全に囲われた問題に変換してからソルバに解かせるのが一般的である。

証明数探索には、一番証明が簡単そうな節点から展開するという性質がある。これは多くの問題において有効な性質であるが、例えば **alpha-beta** 探索などの他のアルゴリズムと比較すると、頑固に証明数だけを基準として探索するために他の知識を用いて性能を向上させるのが難しいという面がある。そのために、分岐因子が一様な探索空間、より正確には分岐因子が探索の手がかりにならないような探索空間に対しては、新たな技術を開発する必要がある。

我々は探索空間の性質に依存しない汎用の技術、**Dynamic widening** と  $\lambda$  **df-pn** を提案した。実験の対象となる問題は領域の閉じていない囲碁の問題とした。囲碁を選んだ理由は、これが既存のアルゴリズムにとって最も難しく、また広く知られている問題であるからである。**df-pn** を **dynamic widening** と組み合わせることにより、全合法手を考慮する場合には **df-pn** の性能を 25 倍程度向上させることが可能であった。しかしながら **dynamic widening** は前向き枝狩りと組み合わせると性能向上が見られない。対して  $\lambda$  **df-pn** は前向き枝狩りの有無に関わらず **df-pn** の性能を向上させる。我々は **dynamic widening** と  $\lambda$  **df-pn** を組み合わせて囲碁の問題を解き、性能を測定した。結果として、我々のアルゴリズムは既存のアルゴリズムにとっては難しい分岐因子が一様な問題を解くにあたって有望であると言える。