

## portfolio 型並列 SAT ソルバの研究開発

Title: Development of a Portfolio-based Parallel SAT Solver

菌部知大、稲葉真理

Tomohiro Sonobe and Mary Inaba

東京大学情報理工学系研究科創造情報学専攻

Department of Creative Informatics, The University of Tokyo, Hongo Tokyo 113-8656

SAT 問題とは与えられた論理式を真にするような変数割り当てが存在するかしないかを証明する問題である。その性質は古典的な NP 完全問題として知られており、解の探索に最悪の場合指数乗の計算時間がかかると信じられている問題である。この問題を解くプログラムは SAT ソルバと呼ばれており、近年の研究開発の結果扱える問題の規模と処理速度が飛躍的に向上し、回路設計やソフトウェア検証等の実アプリケーションの基盤エンジンとして使用されている。SAT ソルバのアルゴリズムは、変数を選択して真偽の値を割り振り、矛盾が生じたら直前に割り振った値を入れなおす backtrack を行う DPLL アルゴリズム[1]が基礎となっている。

逐次の SAT ソルバの開発のみならず、近年では並列 SAT ソルバの研究開発も精力的に行われている。これまでの並列 SAT ソルバは探索空間の分割統治法に基づくものが多かったが、分割に使用する変数の選び方によってワーカー間に割り当てられる探索空間の大きさが異なり、ロードバランシングを行うのが困難という問題点が存在した。これに対して、近年の主流戦略は portfolio[2]であり、探索空間の分割を行わず各ワーカーが全探索空間を独立に探索を行うため、ロードバランシングを必要としない手法である。しかし全てのワーカーが同じ探索を行っては並列効果が期待できないため、各ワーカーの探索を他のワーカーと異なるものにさせる diversification(探索の多様化)[3]が重要となる。従来の diversification は、各ワーカーの探索挙動を変更させることに重点をおいており、例えば値を割り振る変数の順番、backtrack の方式等の各種探索パラメータを変更することで実現してきた。しかし、並列数の大きい大規模な並列環境において、従来の diversification の手法ではワーカー間の探索空間の重複が顕著になり、並列効果が得られにくくなると考えられる。この問題に対して本研究では、各ワーカーの探索挙動を変更するのみならず、各ワーカーが重点的に探索する空間(変数)を重複無くあらかじめ指定することで、より大規模な並列環境においても portfolio における探索の多様性を保つことを目的とした手法を提案する。各ワーカーに割り当てる変数に関しては、お互いの依存関係の強いものどうしを探索開始前にグループ化しそれらを割り当てることで、各ワーカーは互いに独立な探索を行いつつ、特定の局所性の高い変数に対する探索に集中でき、全体として多様な探索を効率的に行うことが可能となる。

[1] Martin Davis, George Logemann, and Donald Loveland. A machine program for theorem-proving. *Communications of the ACM*, Vol. 5, No. 7, pp. 394–397, 1962.

[2] Carla P. Gomes and Bart Selman. Algorithm portfolio design: theory vs. practice. In *Proceedings of the 13th conference on Uncertainty in artificial intelligence, UAI'97*, pp. 190–197, 1997.

[3] Long Guo, Youssef Hamadi, Said Jabbour, and Lakhdar Sais. Diversification and intensification in parallel SAT solving. In *Proceedings of the 16th international conference on Principles and practice of constraint programming, CP'10*, pp. 252–265, 2010.