

要 旨

SAT ソルバにおける学習節の再利用が リスタート戦略に与える影響に関する研究

滝 優基

SAT (Boolean Satisfiability testing) は与えられた命題論理式を充足させる変数の割り当ての存在を判定する問題である．現在，SAT 問題を解く SAT ソルバは， 10^6 から 10^7 ぐらいの変数を持つ大きな問題でも扱うことができ，数十分程度という比較的現実的な時間で解くことができる．SAT 問題を高速に解けることと NP 問題を多項式時間で SAT 問題に変換できることから，ソフトウェアやハードウェアの検証にも SAT ソルバが用いられており，高速化の研究が盛んである．

SAT ソルバは，解を探索する際の変数の割り当てにより制約が偽となるような変数割り当ての矛盾が生じた場合，同じ矛盾を起こさないように学習節という新しい制約を得る．しかし，学習節が多くなりすぎると SAT ソルバの性能を低下させるため，学習節の削減を行う必要がある．既存研究ではリスタート戦略や学習節の評価尺度ののもとでの一定時間内に解ける SAT 問題の数の増減は報告されているが，学習節を削減することによる詳細な影響について研究が進んでいない．

そこで本論文では，学習節の削減によってどのような影響が生じるのかを明らかにする．学習節の削減戦略が異なる，MiniSat2.0，MiniSat2.2，GlueMiniSat2.2.5 の 3 つの SAT ソルバを用いて，削減を行った場合と行わなかった場合で調査を行った．その結果，すべての SAT ソルバで求解速度の低下が発生する副作用が確認できた．このことから，現状の削減戦略では副作用を完全に抑制できていない．

また，副作用を抑制する手法として学習節の再利用を提案した．学習節が削減されること

によって副作用が生じることから，削減された学習節を必要なときに再度追加することで抑制できると考えた．リスタート後の変数割り当てをもとに，割り当てた変数を含む学習節を追加するようにしたところ，最大で 9% の速度向上が見られた．

キーワード SAT ソルバ，学習節，リスタート戦略，学習節の再利用

Abstract

Effect of Reusing Learning Clauses on Restart Strategy in SAT Solver

Taki Yuuki

The state-of-the-art SAT solvers are based on CDCL algorithm. CDCL solvers avoid the same conflict of variable assignments with additional clauses learnt during the search. However, too many learnt clauses may slow down the SAT solvers. For this reason, SAT solvers take a strategy of reducing the number of the learnt clauses.

Reducing the number of learnt clauses may have side effects on the performance of SAT solvers. Such influence was not clarified in the previous studies.

In this study, we clarify the side effect of reduction of learnt clauses and propose a technique to reuse learnt clauses for suppression of this side effect. We have investigated case studies using SAT solvers of different strategies; MiniSat2.0, MiniSat2.2 and GlueMiniSat2.2.5. In this experiment, side effects were confirmed for all the SAT solvers. Therefore, the side effects are not fully suppressed by the current reduction strategies.

We also propose a technique of reusing the reduced learnt clauses to suppress the side effects. We consider that the wide search area immediately after restarts has the biggest impact on side effects. Therefore, after restart we reuse learnt clauses containing variables to which values are assigned. As a result, performance improvement of up to 9% was observed.

key words SAT solver, Learnt Clauses, Restart Strategy, Reusing Learnt Clauses