

定理証明器 UNSEARCHMO の効率化に関する一手法

3P-02

川那 宜充[†] 何 立風[‡] 加藤 昇平[#] 伊藤 英則[†][†]名古屋工業大学 [‡]愛知県立大学 [#]豊田工業高等専門学校

1 概要

定理証明器 SATCHMO[1] の改良には UNSEARCHMO[2] がある。UNSEARCHMO は推論中に得た部分結果を利用しないため、証明木上の異なる枝において同じ推論を重複して行うことがある。本稿では、証明木上のノードが充足不能であると証明したとき、その反駁に貢献したアトム¹の連言を lemma として保存し、その後の推論に利用することによって、重複な推論を防止する。また、本手法に基づく定理証明器を計算機上²に実装し、実験を行い効果を確認した。

2 SATCHMO と UNSEARCHMO

SATCHMO とは非ホーン節を含んだ節集合に対して、モデルジェネレーション・パラダイムに基づき推論を展開行なう、Prolog により数十行で簡潔に記述された定理証明器の一つである。しかし、SATCHMO では節を展開する順番を考慮していないため、非ホーン節の展開によっては証明木のノードが爆発的に増加し、証明が有効な時間内に終了しない場合がある。

そこで SATCHMO に関連性の概念を導入し、無駄な展開を抑制する改良手法が考案されている。それらは SATCHMO が前向きに推論を展開する際に、負節 (否定の連言である節) を一旦後向きに展開することによって関連性を得ている。

しかし、問題によっては証明木の展開よりも負節の展開にかかるコストが増大してしまい、推論するのに SATCHMO に比べてより多くの時間を

費してしまう可能性がある。そのため、負節を後向きに推論し証明木の展開を抑制する改良方法に関しては、一般に限界があることが知られている [5]。

そこで、異なるアプローチからの改良方法として UNSEARCHMO が提案されている。UNSEARCHMO では推論中に候補となるモデルに対して充足不能が導かれた時点でその部分結果を保存し、以降の推論に対して部分結果を利用する事によって無駄な展開を抑制する。

3 lemma による反駁の導入

現在モデル候補となっているアトムの集合を M 、次の推論に用いる違反節¹を $A_1, \dots, A_m \rightarrow C_1; \dots; C_n$ とした時、UNSEARCHMO では以下の手順で M に対する反駁に有用な集合 U_M を求める。

1. 違反節が負節である時、 U_M は違反節の本体、即ち $U_M = \{A_i | 1 \leq i \leq m\}$ である。
2. $C_j \in U_{M \cup \{C_j\}}$ ($1 \leq j \leq n$) である時、
 $U_M = \{A_i | 1 \leq i \leq m\} \cup \{U_{M \cup \{C_1\}} - C_1\} \cup \dots \cup \{U_{M \cup \{C_n\}} - C_n\}$ である。
3. $C_j \notin U_{M \cup \{C_j\}}$ ($1 \leq j \leq n$) である時、 $U_M = U_{M \cup \{C_j\}}$ である。

このとき求められた有用な集合 U_M は M に対して必要な反駁であり、 M がモデル候補とはならないことを示す。UNSEARCHMO では $C_j \notin U_{M \cup \{C_j\}}$ が判明した時点で $U_M = U_{M \cup \{C_j\}}$ より $U_{M \cup \{C_j\}}$ が M の反駁であることを利用し、 $C_{j+1}; \dots; C_n$ の展開を抑制する。

しかし、このとき U_M は単に M に対してのみ有効な集合ではなく、証明木上のノードが充足不

¹ M において本体が充足不能、頭部が充足可能である推論節

An Improvement of UNSEARCHMO

Norimitsu Kawana[†], Lifeng He[‡], Shohey Katoh[#], and Hidenori Itoh[†]

[†]Nagoya Institute of TECHnology, Nagoya, Japan

[‡]Aichi Prefectural University, Aichi, Japan

[#]Toyota National College of Technology Toyota, Japan
 {kawana,helifeng,itoth}@juno.ics.nitech.ac.jp

上記の手順により求められた U_M は、任意のモデル候補である集合 M' に於いて $U_M \subset M'$ である時、同様に U_M は M' に対しての反駁でもあり、 M' がモデル候補とはならないことを表している。

本稿では [4] で述べられるように、推論の途中に得られた部分結果 U_M をその後の推論に lemma として利用することを UNSEARCHMO に導入し、証明木上のある異なる枝においても同じ推論を重複して行わず推論を効率化する手法を提案する。

4 実験結果

TPTP²[3] より参考となる非ホーン節を含む 19 問を抜粋し、比較実験を行った。実験結果を表 4.1 に示す。表 4.1 において S , U , L はそれぞれ定理証明器 SATCHMO, UNSEARCHMO, 本手法を表す。

本実験では問題に含まれる節集合は一律に SATCHMO の前向き推論のフォーマットに変換して実験を行った。実験は Pentium III プロセッサ 500MHz の計算機及び Soralis 5.7 の OS 上でを行い、証明器の実装には SWI-Prolog を用いた。

表中の \times は 24000 秒 (= 6.5 時間) をかけても証明が終了しなかったことを示す、* は再帰的に定義される関数子を含むために通常の SATCHMO, UNSEARCHMO, 本手法では対応できず、level-saturation と呼ばれる技法を導入して実験を行った³。また + は問題は充足可能な問題であり、それ以外の問題は充足不能な問題であることを示す。

5 まとめ

本稿では、定理証明器 UNSEARCHMO に関して lemma の概念を導入することによる推論の効率化手法を提案し、本手法に基づく定理証明器を計算機上に実装した。TPTP に存在する 19 の問題に対して本手法と SATCHMO, 本手法と UNSEARCHMO との比較実験を行い、その効果を確認した。

²本稿は TPTP v2.4.1 による実験である。

³level-saturation に関しては元となる SATCHMO の論文に詳細が記されている。

表 4.1: 実験結果

| 問題 | S | U | L |
|---------------|----------|----------|---------|
| HWV008-1.002 | 1.36 | 0.53 | 0.41 |
| KRS013-1 | 1.91 | 0.02 | 0.03 |
| MSC006-1 | 0.09 | 0.05 | 0.04 |
| MSC007-2.005* | 35.79 | 17.45 | 5.74 |
| PUZ001-2* | 900.78 | 0.22 | 0.17 |
| PUZ005-1* | \times | 0.18 | 0.10 |
| PUZ010-1 | 50.25 | 34.48 | 28.76 |
| PUZ018-2+ | \times | 2947.17 | 3.73 |
| PUZ023-1 | 0.04 | 0.03 | 0.02 |
| PUZ024-1 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| PUZ025-1 | 0.05 | 0.04 | 0.05 |
| PUZ026-1 | 0.04 | 0.06 | 0.04 |
| PUZ030-1 | 0.03 | 0.08 | 0.08 |
| SWV002-1* | \times | \times | 2877.93 |
| SWV009-1 | 18.57 | 0.05 | 0.04 |
| SYN437-1+ | \times | \times | 300.79 |
| SYN443-1 | \times | 21134.95 | 14.97 |
| SYN447-1 | \times | \times | 173.40 |
| SYN511-1 | \times | 9260.62 | 15.22 |

参考文献

- [1] R. Manthey and F. Bry: SATCHMO: a theorem prover implemented in Prolog
Proceedings of the 9th International Conference on Automated Deduction, Lecture Notes in Computer Science 310, pp.415-434. Springer-Verlag, 1988
- [2] L. He: UNSEARCHMO: Eliminating Redundant Search Space on Backtracking for Forward Chaining Theorem Proving
Seventeenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI), pp.618-623, Seattle, Washington, UAS, Aug. 2001.
- [3] <http://www.cs.miami.edu/~tptp/>
- [4] R. Lets, K. Mayrand C. Goller: Controlled Integration of the Cut Rule into Connection Tableau Calculi
J. of Automated Reasoning, **13**, pp.297-337,1994.
- [5] L. He, Y. Chao, T. Nakamura, H. Itoh An Improvement of Theorem Prover A-SATCHMORE
人工知能学会誌 Vol.15 No.6 pp.1125-1129,Nov. 2000