

解集合プログラミングを用いた優先度付き巨大近傍探索の実装と評価

桑原 和也[†] 宋 剛秀[‡] 田村 直之[§] 番原 睦則[¶]
名古屋大学[†] 神戸大学[‡] 神戸大学[§] 名古屋大学[¶]

解集合プログラミング (Answer Set Programming; ASP [2]) は、論理プログラミングから派生した宣言的プログラミングパラダイムである。ASP 言語は一階論理に基づく知識表現言語の一種である。ASP ソルバーは安定モデル意味論 [2] に基づく解集合を計算するプログラムである。近年, SAT 技術を応用した高速 ASP ソルバーが実現され, 人工知能分野の諸問題を中心に実用的応用が急速に拡大している。

解集合プログラミングが成功した応用事例の一つに、**カリキュラムベース・コース時間割** (Curriculum-Based Course TimeTabling; CB-CTT) がある。CB-CTT は大学等での一週間の講義スケジュールを作成する求解困難な組合せ最適化問題である。CB-CTT は必ず満たすべきハード制約と、できるだけ満たしたい重み付きソフト制約から構成される。違反するソフト制約の重みの総和の最小化が目的となる。解集合プログラミングは、この問題に対し、ASP ソルバーの系統的探索を活かして、未解決問題の最適値決定を含む優れた性能を示している [1]。

しかし、その一方で、ソフト制約の種類が多い問題集においては、確率的局所探索に基づくメタ戦略が、多くの問題に対してより高精度な解を求めている。以上から、系統的探索の長所である“最適性の保証”と確率的局所探索の長所である“計算時間相応の解精度”の両方を備

えた統合的探索手法を実現することは重要な研究課題といえる。

本発表では、ASP 技術を用いた**優先度付き巨大近傍探索** (Large Neighborhood Prioritized Search; LNPS) の実装、および、開発したソルバー *asprior* の性能評価について述べる。

先行研究で提案した LNPS [3] は、ASP の系統的探索とメタ戦略の一種である巨大近傍探索 (Large Neighborhood Search; LNS [4]) を統合した探索手法である。LNS は解に含まれる変数の値割当ての一部をランダムに選んで取り消し、その変数のみに対して再割当てを行うことで解を再構築する反復解法である。これに対して、LNPS は、解の再構築の操作を、値割当てをなるべく維持したままでの再探索に置き換えることで、取り消されなかった変数への再割当てを許す。これによって、どの値割当てを取り消すかに依存しすぎない探索を行うことができる点が特長である。

開発した *asprior* は、ASP ファクト形式の問題インスタンスと問題を解く ASP 符号化を入力とし、LNPS アルゴリズムを用いて解を求める汎用的なソルバーである (図 1 参照)。 *asprior* は、高速 ASP ソルバー *clingo* の Python インターフェースを利用して実装されている。

提案手法を評価するために、国際時間割競技会の CB-CTT 問題集 (全 21 問) を用いて性能評価を行った。その結果、表 1 に示すように、既知の最良値との比について、通常の ASP 解法が +437% であったのに対し、提案手法は、その比を +16% まで大幅に改善できた。さらに、comp07, comp09, comp13, comp18 について、既

ASP-based Implementation of Large Neighborhood Prioritized Search and its Evaluation

[†] Kazuya Kuwahara, Nagoya University

[‡] Takehide Soh, Kobe University

[§] Naoyuki Tamura, Kobe University

[¶] Mutsunori Banbara, Nagoya University

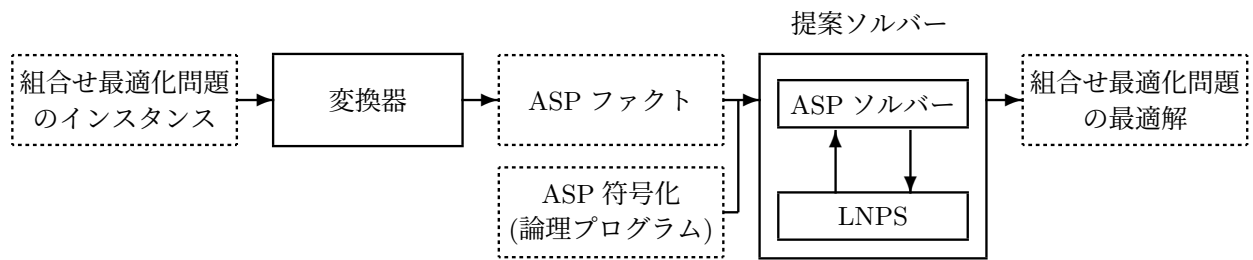


図1 提案ソルバー *asprior* の構成

表1 他のアプローチとの比較結果

問題名	既知の最良値 (#)	既存手法 ASP		提案手法 LNPS	
		最良値	#との比 (%)	最良値	#との比 (%)
comp01	11	129	+1,072	11	0
comp02	130	331	+154	172	+32
comp03	142	302	+112	143	+1
comp04	49	49	0	49	0
comp05	570	1,940	+240	776	+36
comp06	85	822	+867	102	+20
comp07	42	924	+2,100	40	-5
comp08	55	55	0	55	0
comp09	150	254	+69	138	-8
comp10	72	822	+1,041	80	+11
comp11	0	0	0	0	0
comp12	483	1,246	+157	664	+37
comp13	147	301	+104	146	-1
comp14	67	67	0	83	+23
comp15	176	607	+244	198	+13
comp16	96	944	+883	134	+40
comp17	155	412	+165	184	+19
comp18	137	471	+243	136	-1
comp19	125	890	+612	144	+15
comp20	124	1,386	+1,017	237	+91
comp21	151	310	+105	161	+7
#との比の平均			+437		+16

知の最良値を更新することに成功した。今後の課題としては、アダプティブ LNPS への拡張や他の時間割問題への適用などが挙げられる。

参考文献

[1] Mutsunori Banbara, Katsumi Inoue, Benjamin Kaufmann, Tenda Okimoto, Torsten Schaub, Takehide Soh, Naoyuki Tamura, and Philipp Wanko. *teaspoon: Solving the curriculum-based course timetabling problems with answer set programming*. *Annals of Operations Research*, Vol. 275, No. 1, p. 3–37, 2019.

[2] Michael Gelfond and Vladimir Lifschitz. The

stable model semantics for logic programming. In *Proceedings of the Fifth International Conference and Symposium on Logic Programming*, pp. 1070–1080. MIT Press, 1988.

[3] 桑原和也, 田村直之, 番原睦則. 解集合プログラミングに基づく系統的探索と確率的局所探索の統合的手法に関する一考察. 2021年度人工知能学会全国大会 (第35回) 論文集, pp. 2E1-OS-13a-01, 2021.

[4] David Pisinger and Stefan Ropke. Large neighborhood search. *Handbook of Metaheuristics*, Vol. 146, pp. 399–419, 2010.