

УДК 519.7

Разработка CDCL решателя с поддержкой линейных псевдоболевых ограничений и поиск вероятностных лазеек в задачах 0-1-ЦЛП.

Андреев А.В.(Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н., доцент Семёнов А.А.

(Университет ИТМО)

Введение. За последние 20 лет производительность алгоритмов булевой выполнимости — так называемых решателей SAT — значительно улучшилась, и сегодня решатели на основе conflict-driven clause learning (CDCL)[1] обычно используются в самых разных областях и приложениях. Стратегия CDCL может быть естественным образом обобщена на случай линейных псевдоболевых ограничений, то есть линейных целочисленных неравенств. Данный тип ограничений фигурирует в самых различных задачах математического программирования: задачи логистики, задачи составления расписаний, задачи размещения и т.п. Задачи с псевдоболевыми ограничениями подразумевают, что входящие в них переменные принимают целочисленные значения из множества $\{0,1\}$. На сегодня одним из основных методов решения таких задач является метод ветвей и границ [2]. Однако интерес представляет возможность решать такие задачи, используя стратегии сокращения комбинаторного перебора, близкие по своему смыслу к CDCL (то есть, по сути, генерирующие некоторые запреты пространства поиска). Такого сорта работы активно ведутся в научном сообществе и известные подходы основаны на следующих принципах:

- 1) Трансляция неравенств в конъюнктивную нормальную форму с последующим запуском CDCL решателя [3].
- 2) Так называемая “ленивая” (lazy) модификация CDCL, в которой сохраняется формат линейных псевдоболевых ограничений, а вывод новой информации, полученной в процессе анализа конфликта, осуществляется в форме дизъюнктов [4].
- 3) Использование системы доказательства на основе Cutting Planes [5,6].
- 4) Гибридные подходы.

В ряде появившихся в последнее время статей [7,8] ставилась задача поиска т.н. лазеек (в англ. варианте “Backdoors”), то есть множеств переменных, информация о которых позволяет ускорить работу SAT решателя на рассматриваемой формуле. Во многих случаях знание лазейки дает возможность не только снизить время работы SAT решателя, но и построить некоторый план параллельного решения соответствующей SAT задачи. В свете сказанного выглядит актуальной задача разработки алгоритмов поиска лазеек с использованием псевдоболевых решателей. В статьях [7,8] общие принципы поиска лазеек были развиты для решателей, базирующихся на стратегии CDCL. Соответственно, и для псевдоболевых решателей имеет смысл основываться на этой стратегии. Нам не известно решений проблемы поиска лазеек в системах псевдоболевых ограничений, использующих решатели и алгоритмы, перечисленные выше.

Основная часть. Ставятся и решаются следующие задачи: 1) разработать базовые алгоритмы, реализующие стратегию CDCL на системах псевдоболевых ограничений: алгоритмы анализа конфликтов и генерации обучающих дизъюнктов, механизмы “ленивой” работы с генерируемыми базами ограничений, алгоритмы эффективного препроцессинга; 2) интегрировать разработанный решатель систем псевдоболевых ограничений в оптимизационную среду поиска лазеек в комбинаторных задачах Evoguess-AI [9]; 3) использовать разработанные алгоритмы для решения систем псевдоболевых ограничений, кодирующих трудные комбинаторные задачи.

В разрабатываемом решателе предполагается учесть недостатки известных версий, перечисленных выше – в первую очередь, реализовать эффективные алгоритмы работы с ограничениями, основанные на “ленивых” принципах (структуры типа ‘watched literals’).

Выводы. Планируется, что разработанный решатель в сочетании с техникой вероятностных лазеек из [8] позволит решить ряд трудных комбинаторных задач (в частности, задачи проверки эквивалентности булевых схем) быстрее, чем известные методы.

Список использованных источников:

1. Joao Marques-Silva, Inês Lynce, Sharad Malik Conflict-driven clause learning SAT solvers // SAT Handbook. - 2009. - С. 131-154.
2. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация: Алгоритмы и сложность. - М.: Мир, 1984.
3. Niklas Een, Niklas Sörensson. Translating pseudo-Boolean constraints into SAT // JSAT. - 2006. - N. 2. - С. 1-26.
4. D. Le Berre and A. Parrain. The Sat4j library, release 2.2. // Journal on Satisfiability, Boolean Modeling and Computation. - 2010. - N. 2-3. - С. 59-64.
5. D. Chai and A. Kuehlmann. A fast pseudo-Boolean constraint solver. // In DAC'03: Proceedings of the 40th annual Design Automation Conference. - 2003. - С. 830-835.
6. Jan Elffers and Jakob Nordström Divide and Conquer: Towards Faster Pseudo-Boolean Solving. // In Proceedings of the 27th International Joint Conference on Artificial Intelligence and the 23rd European Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-ECAI '18). - 2018. - С. 1291-1299.
7. Semenov A., Chivilikhin D., Pavlenko A., Otpuschennikov I., Ulyantsev V., Ignatiev A. Evaluating the hardness of SAT instances using evolutionary optimization algorithms. // Applications of Evolutionary Computation: 22nd International Conference, EvoApplications 2019, Held as Part of EvoStar 2019, Leipzig, Germany, April 24–26, 2019, Proceedings 22. - 2019. - С. 237-253.
8. Alexander Semenov, Artem Pavlenko, Daniil Chivilikhin, Stepan Kochemazov. On probabilistic generalization of backdoors in Boolean satisfiability. // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. - 2022. - С. 10353-10361.
9. Artem Pavlenko, Alexander Semenov, Vladimir Ulyantsev. Evolutionary computation techniques for constructing SAT-based attacks in algebraic cryptanalysis // Applications of Evolutionary Computation: 22nd International Conference, EvoApplications 2019, Held as Part of EvoStar 2019, Leipzig, Germany, April 24–26, 2019, Proceedings 22. - 2019. - С. 237-253. (<https://github.com/aimclub/evoguess-ai>)