

1. Экспериментальные исследования

Замеры проводились на ноутбуке с Ubuntu 21.04, Intel Core i5-7300HQ CPU, 2.50GHz, DDR4 8Gb RAM. В таблице 1 приведено сравнение элиминации квантора по времени и длине итоговой формулы для SMT-решателей [Z3](#) и [Princess](#) (для последнего только сравнение длин результатов) и созданной реализации. Заметим, что замерялось только время элиминации без учёта парсинга входной формулы и вывода результата. В таблице 1 представлены средние значения и стандартные отклонения (σ) по 20 запускам (в миллисекундах), а также длина найденной формулы (в символах¹).

Таблица 1 — Сравнение времени элиминации (мс) и длины формулы-результата.

| | Boolector (PA + 2^x) | | | Z3 | | | Princess |
|----|-------------------------|-------------|---------------|---------------|----------|---------------|---------------|
| | Среднее время | σ | Длина формулы | Среднее время | σ | Длина формулы | Длина формулы |
| 1 | 0.006 | 0.001 | 1 | 1.054 | 0.022 | 1 | 1 |
| 2 | 0.009 | 0.005 | 1 | 5.196 | 3.785 | 1 | 1 |
| 3 | 0.030 | 0.006 | 49 | 4.825 | 0.048 | 2210 | 1 |
| 4 | 0.011 | 0.001 | 62 | 26606.022 | 193.081 | 287203 | 171141 |
| 5 | 0.027 | 0.003 | 61 | 21.929 | 0.246 | 14431 | 1242 |
| 6 | 0.013 | 0.006 | 66 | 131.174 | 1.028 | 62412 | 18019 |
| 7 | 0.033 | 0.013 | 1 | 0.760 | 0.032 | 1 | 1 |
| 8 | 0.009 | $< 10^{-3}$ | 41 | 4.309 | 0.037 | 2361 | 1 |
| 9 | 0.026 | 0.004 | 1 | 4.827 | 0.032 | 1 | 1 |
| 10 | 0.009 | 0.001 | 51 | 18.071 | 0.159 | 14837 | 21 |
| 11 | 0.011 | 0.001 | 95 | 16.259 | 0.274 | 15171 | 1950 |
| 12 | 0.036 | 0.011 | 76 | 129.297 | 1.074 | 88648 | 1 |
| 13 | 0.012 | 0.001 | 79 | 71.119 | 0.648 | 44904 | 5644 |
| 14 | 0.060 | 0.022 | 1 | 4.738 | 0.057 | 1 | 1 |
| 15 | 0.061 | 0.018 | 395 | 20.038 | 0.238 | 716 | 997 |
| 16 | 0.110 | 0.011 | 1 | 124.561 | 0.921 | 1 | 1 |

Таблица составлена по результатам запуска программ на следующих тестах (n — размер битовых векторов):

¹Служебные слова и символы не учитываются (в Z3 «(goals (goal» и закрывающая скобка), а длину тождественно верных/ложных формул будем считать равной 1 для единообразия (на самом деле они могут выводиться как «true», «false», «»).

1. $\exists x. x \geq 9505$ ($n = 16$) — тест */conjunction_level_benchmarks/Delta*
*TR_RFRNC_OUT_QESMT_benchmark_conjunction_38.smt*² из набо-
ра тестов [Benchmarks](#).
2. $\exists x. y \leq x \wedge 2 \leq x \wedge z \leq x$ ($n = 4$)
3. $\forall x. 3 \cdot y \leq x \wedge x \leq 12 \cdot y$ ($n = 4$)
4. $\exists x. x \leq 997 \cdot y \wedge z \leq x \wedge x \leq t$ ($n = 10$)
5. $\exists x. x \leq 2 \cdot y + z \wedge 10 \cdot y \leq x$ ($n = 6$)
6. $\exists x. x \leq 5 \cdot y + 7 \wedge 8 \cdot (y + z) \leq x$ ($n = 8$)
7. $\exists x. y + 15 < x \wedge x < 1$ ($n = 4$)
8. $\exists x. 3 \cdot (1 \ll y) \leq x \wedge x \leq 7 \cdot (1 \ll y)$ ($n = 4$)
9. $\forall x. (1 \ll y) \leq x \wedge 2 \leq x \wedge z \leq x$ ($n = 4$)
10. $\exists x. 3 \cdot (1 \ll y) \leq x \wedge x \leq 12 \cdot y$ ($n = 6$)
11. $\exists x. x \leq 3 \cdot (1 \ll y) \wedge (1 \ll z) \leq x \wedge x \leq t$ ($n = 6$)
12. $\forall x. x \leq 2 \cdot (1 \ll y) + (1 \ll z) \wedge 10 \cdot (1 \ll y) \leq x$ ($n = 8$)
13. $\exists x. x \leq 5 \cdot (1 \ll y) + 7 \wedge 8 \cdot ((1 \ll y) + z) \leq x$ ($n = 8$)
14. $\exists x. (1 \ll x) \leq (1 \ll y) + 11 \cdot y + 4$ ($n = 4$)
15. $\exists x. (1 \ll x) \leq y + 3 \cdot z + 8$ ($n = 6$)
16. $\exists x. (1 \ll x) \leq 7 \cdot y \wedge (1 \ll x) \leq z \wedge (1 \ll x) \leq (1 \ll t)$ ($n = 8$)

²Формула была переведена из формата SMT-LIB в SMT-LIB v.2.