

# ParKissat: 基于变元序随机扰动和预处理的SAT并行求解器

*ParKissat: Random Shuffle Based and Pre-processing Extended Parallel Solvers with Clause Sharing*  
(Proceedings of SAT Competition 2022)

联系人: 张昕荻, 陈志翰, 蔡少伟

联系方式: {zhangxd,chenzh,caisw}@ios.ac.cn

下载链接: <https://github.com/shaowei-cai-group/ParKissat-RS>

## 背景

### 并行求解需求

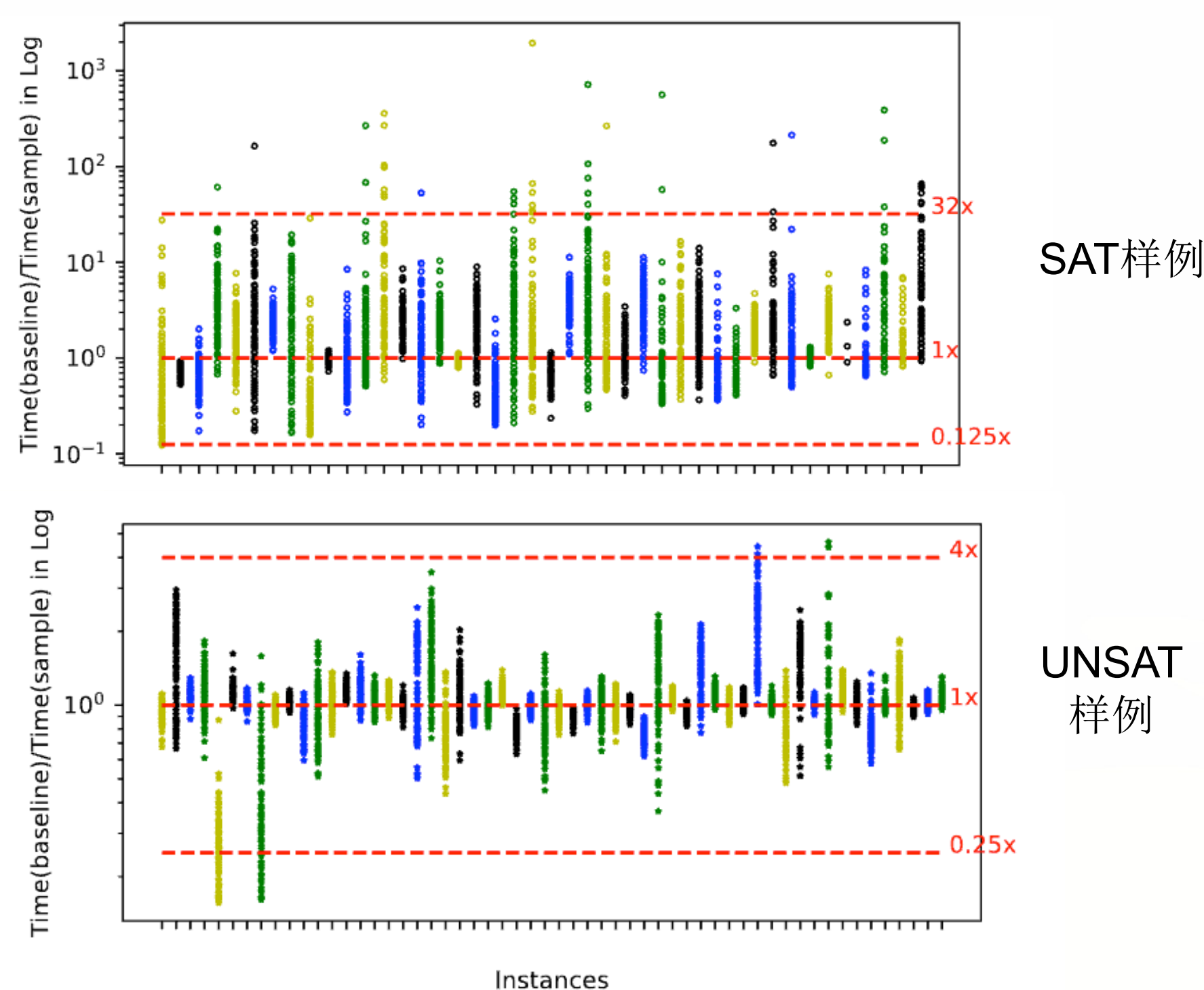
- ▶ SAT 在 EDA、密码学、AI、定理证明等领域有重要应用价值。
- ▶ 串行求解已经难以满足工业和学术界样例规模大、结构难的实际需求。

### SAT 并行求解现状

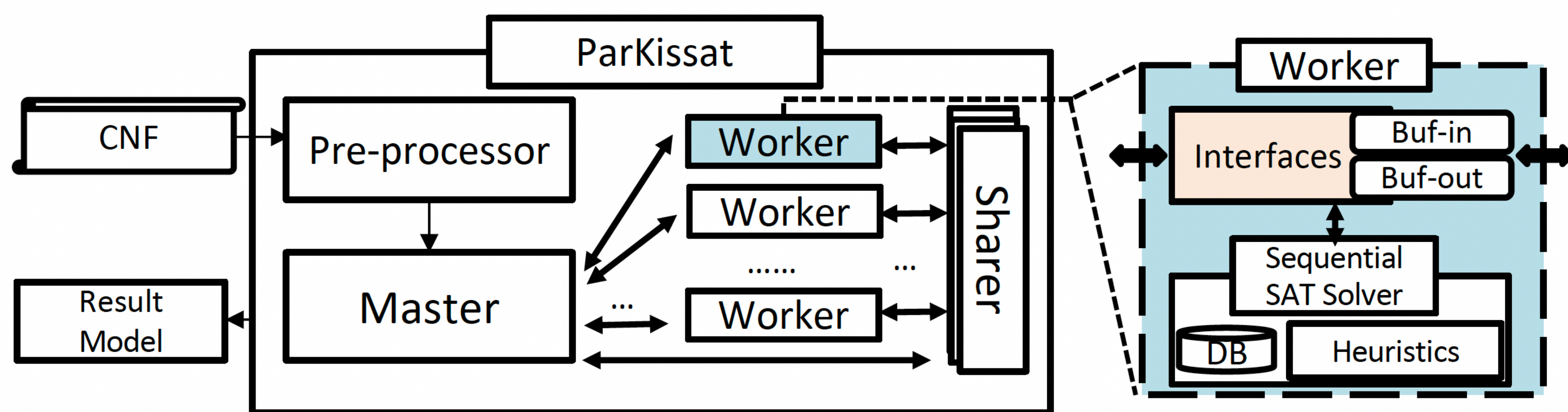
- ▶ 基于“分治”的并行策略: 存在负载严重不均衡的现象, 且完备性需要所有线程的求解结果共同决定。
- ▶ 基于“多样性”的并行策略: 求解能力受到最优参数和求解器的限制, 可供选择的参数和求解器有限。

### 串行求解器存在运行时间的重尾分布现象

▶ 对求解启发式做随机扰动会对求解能力和时间产生巨大的影响, 尤其是对可满足性样例。



## 求解器框架



## 关键技术

### Master - Worker 设计模式

#### 多样性策略

#### Random Shuffle (变元序随机扰动)

利用串行求解器的重尾分布现象, 不同线程采用不同的随机变量初始搜索顺序。

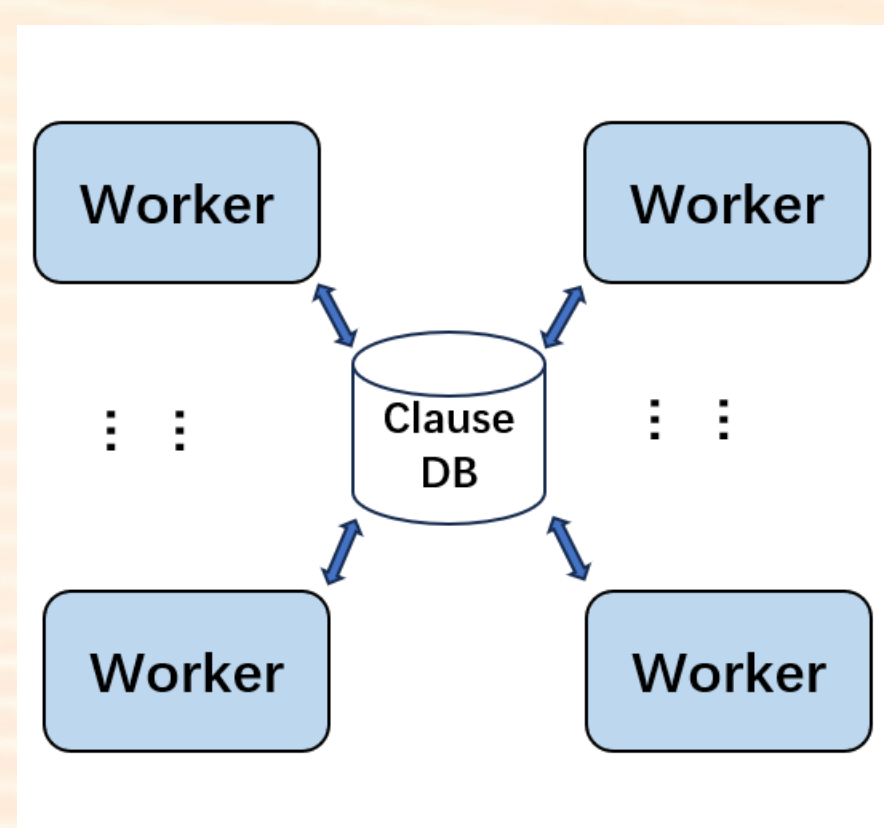
#### 预处理

- ▶ 消解检测 (Resolution Checking)
  - 电路验证问题中大部分情况下只涉及电路的一个子部分, 而建模整个电路会使得建模后的 CNF 中存在一些未使用的门变量。
  - 门未被使用当且仅当
 
$$\text{Resolve}(S(\neg x), S(x)) = \emptyset,$$
 即文字  $x$  相关的子句与文字  $\neg x$  相关的子句归结之后为空。
- ▶ 等价文字替代 (Equivalent-Literal Substitution)

迭代的识别子句中的等价文字, 并通过带符号的并查集维护并合并等价的文字。

#### 子句共享

- ▶ 只共享高质量子句: Literal Block Distance (LBD)  $\leq 2$
- ▶ 每个线程每 0.5s 会向其他线程共享最多 1500 个文字



## 实验

高效性

Solver	#SAT	PAR2	#UNSAT	PAR2	#ALL	PAR2
ParKissat	166	641.66	178	901.32	344	1676.70
NPS-KISSAT	162	878.10	166	1614.52	328	2113.6
P-MCOMSPS	147	1914.51	168	1480.71	315	2498.96
PAKIS	154	1441.91	156	2186.94	310	2626.49
TREENGELING	123	3522.31	154	2415.21	277	3633.55

加速比

C	#SAT	Speedup	#UNSAT	Speedup	#ALL	Speedup
1	146	1.0	144	1.0	290	1.0
2	146	4.0	154	1.7	300	2.8
4	155	6.8	163	2.1	318	4.5
8	159	11.6	170	3.1	327	7.3
16	160	20.9	175	4.6	335	12.7
32	166	26.9	178	6.9	344	16.9
64	167	25.3	179	9.4	346	17.4

## 学科竞赛

- ▶ 2022年, 获得中国首个国际 SAT 比赛并行组**冠军**, 领先第二名 1/4 时间
- ▶ 2023年, 改进版本求解器PRS获得国际 SAT 比赛并行组**冠军**、云计算赛道亚军
- ▶ 2022年, 获得逻辑学联合会议 (FLoC) 奥林匹克竞赛**金牌**



Main Parallel Track			
Winning Solvers			
Solver	Authors	PAR-2	Solved
1	parkissat-rs	2105.19	326
2	NPS	2799.64	303
3	DPS	2799.72	305
4	Mallob-Ki	2987.64	292

Parallel Track			
Solver	Authors	PAR-2	Solved
1	PRS-parallel	1738.73	315
2	Mallob64	2272.73	295
3	p-Kissat	2294.50	293

▶ Same number solved by parallel and cloud track winner (64 cores and 5000 seconds vs 1600 cores and 1000 seconds)