

# 第四届神经网络国际验证竞赛 (VNN-COMP 2023): 总结与结果

Christopher Brix<sup>1</sup>, Stanley Bak<sup>2</sup>, Changliu Liu<sup>3</sup>, and Taylor T. Johnson<sup>4</sup>

<sup>1</sup> RWTH Aachen University, Aachen, Germany  
brix@cs.rwth-aachen.de

<sup>2</sup> Stony Brook University, Stony Brook, New York, USA  
stanley.bak@stonybrook.edu

<sup>3</sup> Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, USA  
cliu6@andrew.cmu.edu

<sup>4</sup> Vanderbilt University, Nashville, Tennessee, USA  
taylor.johnson@vanderbilt.edu

## Abstract

本报告总结了第 4 届国际神经网络验证竞赛 (VNN-COMP 2023)，该竞赛是第 6 届 ML 支持自治系统形式化方法研讨会 (FoMLAS) 的一部分，该研讨会与第 35 届国际计算机辅助验证会议 (CAV) 同期举行。VNN-COMP 每年举行一次，旨在促进对最先进的神经网络验证工具进行公平客观的比较，鼓励工具接口的标准化，并将神经网络验证社区聚集在一起。为此，定义了标准化的网络格式 (ONNX) 和规范 (VNN-LIB)，在等价硬件上评估工具（使用基于 AWS 实例的自动评估管道），并在最终测试集公开之前由参与者选择工具参数。在 2023 年的迭代中，7 个团队参加了一组不同的 10 个得分基准和 4 个未得分基准。本报告总结了本次比赛的规则、基准、参赛工具、结果和经验教训。

## 1 介绍

基于深度学习的系统越来越多地部署在广泛的领域，包括推荐系统、计算机视觉和自动驾驶。虽然这些方法的名义性能在过去几年中显着提高，甚至经常超过人类的表现，但它们在很大程度上缺乏对其行为的正式保证。然而，在安全关键型应用中，包括自主系统、机器人、网络安全和网络物理系统，此类保证对于认证和自信部署至关重要。

虽然关于传统设计系统验证的文献广泛而成功，但神经网络验证仍然是一个悬而未决的问题，尽管在过去几年中做出了重大努力。2020 年，国际神经网络验证竞赛 (VNN-COMP) 成立，旨在促进现有方法之间的比较，将研究该问题的研究人员聚集在一起，并帮助塑造该领域的未来方向。2023 年，作为第 6 届 ML 支持自治系统形式化方法研讨会 (FoMLAS) 的一部分，第 4 届年度 VNN-COMP<sup>1</sup> 的迭代与第 35 届国际计算机辅助验证会议 (CAV) 同期举行。

VNN-COMP 的第四次迭代延续了去年标准化和自动化程度的上升趋势，旨在实现参与工具之间的公平比较，并简化对各种（现实世界）问题的大量工具的评估。与上一次迭代一样，VNN-COMP 2023 标准化了 1) 神经网络和规范格式，ONNX 用于神经网络，VNN-LIB [?] 用于规范，2) 评估硬件，为参与者提供一系列成本等效的 AWS 实例的选择，这些实例在 CPU 和 GPU 性能之间具有不同的权衡，以及 3) 评估管道，为工具的安装和评估提供统一的接口。

比赛于 2023 年 2 月开始征集参赛。到 3 月，已有几支队伍注册，使规则讨论得以在 2023 年 4 月完成（参见 ?? 中的概述）。从 2023 年 4 月到 6 月，提出并讨论了基准。同时，组织团队决定继续使用 AWS 作为评估平台，并开始为基准和工具实施自动提交和测试系统。截至 2023 年 7 月中旬，有 7 个团队提交了他们的工具，组织者对所有参赛者进行了评估，以获得最终结果，并在 ?? 中进行了讨论，并于 2023 年 7 月 18 日在 FoMLAS 上展示。在官方 GitHub

---

<sup>1</sup><https://sites.google.com/view/vnn2023/home>

存储库<sup>2</sup>上，讨论分为三个问题：规则讨论、基准讨论和工具提交。所有提交的基准测试<sup>3</sup>和最终结果<sup>4</sup>都汇总在单独的 GitHub 存储库中。

本报告的其余部分组织如下：?? 讨论比赛规则，?? 列出所有参与工具，?? 列出所有基准，?? 总结结果，?? 结束报告，讨论未来潜在的改进。

---

<sup>2</sup><https://github.com/stanleybak/vnncomp2023/issues>

<sup>3</sup>[https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023\\_benchmarks](https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023_benchmarks)

<sup>4</sup>[https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023\\_results](https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023_results)

## 2 规则

~ 术语 实例由属性规范（前置和后置条件）、网络和超时定义。例如，一个实例可能由一个 MNIST 分类器组成，该分类器具有一个输入图像、一个给定的局部鲁棒性阈值  $\epsilon$  和一个特定的超时。基准测试被定义为一组相关实例。例如，一个基准测试可能由一个特定的 MNIST 分类器组成，该分类器具有 100 个输入图像、可能不同的鲁棒性阈值  $\epsilon$  以及每个输入一个超时。

~ 运行时上限 运行时间是按实例限制的，即任何验证实例将在最多 X 秒后超时（并被终止），由基准测试提议者确定。对于每个实例，这些值可能不同。每个基准测试的总运行时间（每个实例所有超时的总和）不得超过 6 小时。例如，基准测试建议可以有 6 个超时为 1 小时的实例，或者 100 个实例的超时时间为 3.6 分钟。为了进行公平的比较，我们通过在一系列微小的网络上运行每个工具来测量每个工具的启动开销，并从总运行时中减去最小开销。

~ 硬件 为了实现结果的可比性，所有工具都使用 Amazon Web Services (AWS) 在同等成本的硬件上进行了评估。每个团队都可以在一系列 AWS 实例类型（参见 ??）之间做出决定，提供 CPU、GPU 或混合焦点。

Table 1: 可用的 AWS 实例。

|             | vCPUs | RAM [GB] | GPU                        |
|-------------|-------|----------|----------------------------|
| p3.2xlarge  | 8     | 61       | V100 GPU with 16 GB memory |
| m5.16xlarge | 64    | 256      | <del>X</del>               |
| g5.8xlarge  | 32    | 128      | A10G GPU with 24 GB memory |

**得分** 最终分数是所有基准分数的总和。每个基准分数是给定工具实现的分数（下面讨论的实例分数之和），由该基准上的任何工具获得的最大分数进行标准化。因此，基准测试实例分数总和最高的工具将获得 100 的基准分数，确保所有基准的权重相等，无论构成实例的数量如何。

~ 实例分数 每个实例的评分如下：

- 正确保持（性能证明）：10 分；
- 正确违规（找到反例）：10 分；
- 错误结果：-150 分（与 2022 年相比，罚款有所增加）。

然而，任何给定实例的基本事实通常不是先验的。因此，在工具之间出现分歧的情况下，我们将举证责任放在工具身上，声称违反了规范，即可以找到反例，如果它产生了有效的反例，则认为它完全正确。提供的反例应该定义网络的输入和结果输出。但是，对于某些工具和实例，输出定义缺失或与网络输出不同，该输出由用于评估反例的 `onnxruntime` 包计算（通过给定输入执行推理）。竞争规则对如何处理这个问题含糊不清。我们决定放弃反例文件中的所有输出，并仅根据给定的输入及其各自的输出（由 `onnxruntime` 计算）进行评估。使用替代评估的排名，其中不正确或缺失的输出会导致惩罚，可以在附录 ?? 中找到。

~ 时间奖励 与往年相比，没有发放时间奖金。相反，在时间限制内计算正确结果的所有工具都会获得相同数量的点数。

**开销校正** 测量了工具的开销，但仅用于调整超时。它没有影响分数，因为没有颁发时间奖金。为了测量特定于工具的开销，我们创建了简单的网络实例，并将其包含在测量中。然后，我们观察了所有实例的最短验证时间，并将其视为该工具的开销时间。

**格式** 与 2022 年一样，我们将神经网络标准化为 `onnx` 格式，规范标准化为 `vnnlib` 格式，反例格式类似于 `vnnlib` 格式。此外，工具作者需要提供脚本，使其工具的安装过程完全自动化，包括获取可能需要的任何许可证。与前一年类似，必须提供准备和执行脚本，以便在由网络文

件、规范文件和超时组成的特定实例上运行其工具。规范被解释为反例的定义，这意味着如果一个属性被证明是不满足的，则该属性被证明是“正确的”，相反，如果找到一个满足规范的反例，则该属性被证明是违反的。规范包括前置和后置条件下的合相分离，允许对多个超盒子的对抗鲁棒性进行编码，从而实现广泛的属性。例如，超盒子中输入的鲁棒性必须编码为析取属性，其中任何其他类都是预测的。

### 3 参与者

我们列出了 ?? 年参加 VNN-COMP 2023 的工具和团队，并在下面复制了他们自己对其工具的描述。

Table 2: 参与工具的主要功能摘要。hardware 列描述了使用 p3 的 AWS 实例，以及使 GPU 可用的 g5，有关更多详细信息，请参阅 ??。许可证是指使用相应工具所需的外部许可证，而不是工具本身的许可证。

| Tool                   | References      | Organizations   | Place | Hardware | Licenses |
|------------------------|-----------------|---|-------|----------|----------|
| $\alpha, \beta$ -CROWN | [?, ?, ?, ?, ?] | UIUC, CMU, UCLA, Drexel, Columbia, RWTH Aachen, Sun Yat-Sen, UMich. | 1     | g5       | GUROBI   |
| FastBATLLNN            | [?]             | University of California  | 7     | t2       | -        |
| Marabou                | [?]             | Hebrew University of Jerusalem, Stanford University, NRI Secure     | 2     | m5       | GUROBI   |
| NeuralSAT              | [?]             | George Mason University   | 4     | g5       | GUROBI   |
| nenum                  | [?, ?]          | Stony Brook University  | 5     | m5       | -        |
| NNV                    | [?, ?]          | Vanderbilt University, University of Nebraska                       | 6     | m5       | MATLAB   |
| PyRAT                  | [?]             | Universite Paris-Saclay, CEA, List                                  | 3     | m5       | -        |

#### 3.1 $\alpha, \beta$ -皇冠

~ 团队  $\alpha, \beta$ -CROWN 由来自 UIUC、CMU、加州大学洛杉矶分校、德雷克塞尔大学、哥伦比亚大学、亚琛工业大学、中山大学和密歇根大学的多机构团队开发。

- 团队负责人：张欢 (UIUC/CMU) 和李林怡 (UIUC)
- VNN-COMP 2023 团队成员：Zhouxing Shi (加州大学洛杉矶分校)、Christopher Brix (亚琛工业大学)、Kaidi Xu (德雷克塞尔大学)、钟翔如 (中山大学)、Qirui Jin (密歇根大学)、Zhuowen Yuan (UIUC)。

~ 描述  $\alpha, \beta$ -CROWN (**alpha-beta-CROWN**) 是一个基于线性有界传播框架的高效神经网络验证器，建立在基于有界传播的神经网络验证器的一系列工作之上：CROWN [?, ?]， $\alpha$ -CROWN [?],  $\beta$ -CROWN [?], GCP-CROWN [?], 以及非线性分支和边界 [?]。  $\alpha, \beta$ -CROWN 的核心技术将高效的 GPU 加速线性有界传播方法与分支和边界方法相结合。以前，仅对 ReLU 神经网络进行分支和绑定。在这一年里，我们扩展了一般非线性的分支和边界 [?]，并对通用非线性计算图进行了强有力的验证，例如在 ML4ACOPF 基准测试中。

$\alpha, \beta$ -CROWN 中的线性有界传播算法基于我们的 **auto\_LiRPA** 库 [?]，它支持通用神经网络架构（包括卷积层、池化层、残差连接、循环神经网络和 Transformer）和广泛的激活函数（例如 ReLU、tanh、三角函数、sigmoid、max pooling 和 average pooling），并在具有 Pytorch 和 CUDA 的 GPU 上高效实现。我们使用梯度上升（称为  $\alpha$ -CROWN 或优化的 CROWN/LiRPA [?]）联合优化中间层边界和最终层边界。最重要的是，我们使用 branch and bound [?] (BaB) 并通过  $\beta$ -CROWN 算法 [?] 将 BaB 中的拆分约束有效地纳入到有

界传播过程中, 在 GCP-CROWN [?] 中使用切割平面方法进一步收紧边界, 并支持分支和边界 [?] 中的一般非线性。对于较小的网络, 我们还使用混合整数规划 (MIP) 公式 [?] 结合  $\alpha$ -CROWN 的紧密中间层边界 (称为  $\alpha$ -CROWN + MIP [?])。高效、可优化和 GPU 加速的有界传播与 BaB 相结合, 产生了一个强大且可扩展的神经网络验证器。

~ 链接 <https://github.com/Verified-Intelligence/alpha-beta-CROWN> (最新版本)

~ 比赛提交 [https://github.com/Verified-Intelligence/alpha-beta-CROWN\\_vnncomp23](https://github.com/Verified-Intelligence/alpha-beta-CROWN_vnncomp23) (仅供转载比赛结果之用, 请以最新版本作其他用途)

~ 硬件和许可证 具有 32 位或 64 位浮点的 CPU 和 GPU; gtrsb 基准测试需要 Gurobi 许可证。

~ 参与基准测试 所有基准测试。

### 3.2 快速 BATLLNN

**团队** James Ferlez (开发人员)、Haitham Khedr (测试人员) 和 Yasser Shoukry (主管) (加州大学欧文分校)

**描述** FastBATLLNN [?] 是双层晶格 (TLL) 神经网络 (NN) 的盒状 (超矩形) 输出属性的快速验证器。FastBATLLNN 利用 TLL 架构的独特语义和盒状输出约束的解耦特性来提供快速的多项式时间验证算法: 即 TLL NN 中要验证的神经元数量的多项式时间 (对于固定的输入维度)。FastBATLLNN 的基本工作原理是将 TLL 验证问题转换为超平面排列的区域枚举问题 (该排列是从 TLL NN 和验证属性共同派生的)。然而, 由于 FastBATLLNN 利用了 TLL NN 的独特属性和盒状输出约束, 因此其使用必然仅限于用这些术语表述的验证问题。因此, FastBATLLNN 只能在 tllverifybench 基准上竞争。

**链接** <https://github.com/jferlez/FastBATLLNN-VNNCOMP>

~ 犯 6100258b50a3fadf9792aec4ccf39ed14778e338

**硬件和许可证** CPU; 无需许可证

**参与基准测试** tllverifybench

### 3.3 马拉布

**团队** Haoze Wu (斯坦福大学), Clark Barrett (斯坦福大学), Guy Katz (耶路撒冷希伯来大学)

**描述** Marabou [?] 是一个用户友好的神经网络验证工具包, 可以通过编码和解决有关网络属性的查询作为约束满足问题来回答这些查询。它具有 Python/C++ API, 用户可以通过这些 API 加载神经网络并在神经网络上定义任意线性属性。Marabou 支持许多不同的线性、分段线性和非线性 [?, ?] 操作和架构 (例如, FFNN、CNN、残差连接、图神经网络 [?])。

在后台, Marabou 对给定的验证查询采用统一的求解策略。特别是, Marabou 采用专门的凸优化程序 [?] 和抽象解释 [?, ?] 进行完整的分析。它还使用 Split-and-Conquer 算法 [?] 进行并行化。<sup>5</sup>

**链接** <https://github.com/NeuralNetworkVerification/Marabou>

~ 犯 1a3ca6010b51bba792ef8ddd5e1ccf9119121bd8

**硬件和许可证** CPU, 无需许可证。也可以使用 Gurobi 加速 (需要许可证)

<sup>5</sup>多亏了  $\alpha - \beta$ -CROWN 团队的作者, 才发现了 Marabou 竞赛版在 ViT 基准上的不健全问题。该基准测试中的网络包含双线性和 softmax 连接。对于这个基准测试, Marabou 的竞争版本首先执行 DeepPoly 风格的抽象解释, 然后在 Gurobi 优化器中对验证问题进行编码。事实证明, Gurobi 可以在预期有反例的基准上报告“不可行”。Marabou 团队正在积极研究解决这个问题。

**参与基准测试** `acasxu` , `cgan` , `collins_rul_cnn` , `dist_shift` , `ml4acopf` , `nn4sys` , `tllverifybench` , `traffic_signs_recognition` , `vggnet16` , `vit` .

### 3.4 nnenum

- ~ 团队 Ali Arjomandbigdeli (学生), Stanley Bak (导师) (Stony Brook University)
- ~ 描述 nnenum tool [?] 使用多层次抽象, 在不牺牲完整性的情况下实现对 ReLU 网络的高性能验证 [?]. 核心验证方法基于使用星集 [?] 的可达性分析, 结合 ImageStar 方法 [?], 通过 ONNX 运行时支持的所有线性层 (例如具有任意参数的卷积层) 传播 STEs. 该工具是用 Python 3 编写的, 并使用 GLPK 进行 LP 求解. 今年新增了对单下限和单上界传播的支持, 以及原虫, 类似于 DeepPoly 方法或 CROWN 方法. 我们还添加了一个选项, 使用 Gurobi 而不是 GLPK 进行 LP 求解.
- ~ 链接 <https://github.com/aliabigdeli/nnenum>
- ~ 犯 2e14cdf09f66d8b3c4622ad29d8bedd815d056e8
- ~ 硬件和许可证 CPU, Gurobi 许可证 (可选)
- ~ 参与基准测试 `acasxu` , `cgan` , `collins-rul-cnn` , `nn4sys` , `tllverifybench` , `vggnet16` .

### 3.5 NNV 公司

- ~ 团队 Diego Manzananas Lopez (范德比尔特大学), Neelanjana Pal (范德比尔特大学), Samuel Sasaki (范德比尔特大学), Hoang-Dung Tran (内布拉斯加大学林肯分校), Taylor T. Johnson (范德比尔特大学)
- ~ 描述 神经网络验证 (NNV) 工具 [?, ?] 是一种用于深度学习模型和信息物理系统的形式化验证软件工具, 具有用 MATLAB 编写的神经网络组件, 可在 <https://github.com/verivital/nnv> 上获得. NNV 使用星集状态空间表示和可达性算法, 允许逐层计算前馈 [?], 卷积 [?], 语义分割 (SSNN) [?] 和递归 (RNN) [?] 神经网络, 以及神经网络控制系统 (NNCS) [?, ?] 和神经常微分方程 (Neural ODE) [?] 的精确或超近似可达集. 基于星集的算法自然是可并行的, 这使得 NNV 可以设计为在多核平台上高效执行. 此外, 如果违反了特定的安全属性, NNV 可用于构建和可视化神经网络的完整反例输入集 (精确分析). 在本次比赛中, 我们对所有属性都使用相同的验证方法 (即不对单个基准进行微调). 首先, 我们对固定数量的样本进行仿真引导搜索, 寻找反例. 如果没有找到反例 (即, 证明该属性是 SAT), 则我们使用迭代细化方法, 使用可达性分析来验证属性 (UNSAT). 这包括使用松弛近似方法 [?] 执行可达性分析, 如果没有验证, 则基于 Zonotope 预过滤方法 [?], 最后在可能的情况下使用精确分析 [?] 直到规范得到验证或超时.
- ~ 链接 <https://github.com/verivital/nnv>
- ~ 犯 FB858B070D7C2FB1F036AC7FC374E1B9DFB5055E
- ~ 硬件和许可证 CPU, MATLAB 许可证.
- ~ 参与基准测试 `acasxu` , `cgan` , `collins-rul-cnn` , `dist-shift` , `nn4sys` , `tllverifybench` .

### 3.6 神经 SAT

- ~ 团队 Hai Duong 和 Thanhvu Nguyen (乔治·梅森饰)。

~ 描述 NeuralSAT [?] 将子句学习集成到现代约束求解中, 以提高性能并解决回溯 SAT 挑战, 在 SMT 求解中使用基于抽象的理论求解器和基于抽象的 DNN 验证来加快不可行性检查。右图概述了 NeuralSAT, 它实现了 Z3 和 CVC 等现代 SMT 求解器中使用的 DPLL (T) 框架。NeuralSAT 的设计灵感来自 SMT 求解器中使用的核心算法, 如 CDCL 组件 (浅色) 和理论求解 (深色)。NeuralSAT 可以被视为 DNN 的原生满足性求解器, 并继承了现代 SMT 求解器的优点。该工具是用 Python 编写的, 并使用 Gurobi 进行 LP 求解。自从参与 VNN-COMP 以来, NeuralSAT 已经更新了并行 DPLL 搜索和许多其他优化。

~ 链接 <https://github.com/dynaroars/neuralsat>

~ 犯 5693c3da130942283744ce56c2e74ac6c16eef94

~ 硬件和许可证 GPU、Gurobi 许可证

~ 参与基准测试 acasxu, cgan, collins-rul-cnn, dist-shift, nn4sys, vggnet16, tllverifybench, traffic-signs-recognition, reach-prob-density, metaroom.

### 3.7 PyRAT

~ 团队 Augustin Lemesle、Julien Lehmann、Serge Durand、Zakaria Chihani (CEA 名单)

~ 描述 PyRAT (Python 可达性评估工具) 是一种基于 Python 和抽象解释技术验证各种类型神经网络的工具。PyRAT 可以利用多个抽象域 (如区间、Zonotopes 或多面体) 来有效地计算不同神经网络架构的边界, 例如密集、卷积、残差或递归神经网络。它支持 ReLU、Sigmoid、Tanh、Softmax 激活功能。PyRAT 可以在 CPU 和 GPU 上高效工作, 并且在使用 CPU 时具有良好的浮点计算能力。PyRAT 是正确的, 因为达到的输出边界将始终是结果的近似值。根据基准测试, 可以选择多种验证模式和域。对于较小的网络和问题, PyRAT 可以通过启发式方法 (如 ReCIPH [?]) 在输入上利用分支和绑定策略。在较大的网络上, PyRAT 将使用 GPU 计算以及本地反示例检查来验证或伪造属性。

~ 链接 <https://git.frama-c.com/pub/pyrat>

~ 犯 50288df457653d8767c2d6f5481cc3e72e3d6727

~ 硬件和许可证 CPU 和 GPU, 闭源 CEA 许可证。

~ 参与基准测试 acasxu, cgan, collins\_rul\_cnn, dist\_shift, nn4sys, tllverifybench, traffic\_signs\_recognition, vggnet16.



## 4 基准

在本节中，我们提供了所有基准的概述，并复制了基准提出者的描述。

Table 3: 所有评分基准的概述。

| Category     | Benchmark                 | Application                               | Network Types                            | # Params    | Effective Input Dim |
|--------------|---------------------------|---|--|-------------|---------------------|
| Complex      | cGAN                      | Image Generation & Image Prediction       | Complex (Conv. + Vision Transformer)     | 500k - 68M  | 5                   |
|              | NN4Sys                    | Dataset Indexing & Cardinality Prediction | Complex (ReLU + Sigmoid)                 | 33k - 37M   | 1-308               |
|              | ml4acopf                  | Power System                              | Complex (ReLU + Trigonometric + Sigmoid) | 4k-680k     | 22 - 402            |
|              | ViT                       | Vision                                    | Conv. + Residual + Softmax + BatchNorm   | 68k - 76k   | 3072                |
| CNN & ResNet | Collins RUL CNN           | Condition Based Maintenance               | Conv. + ReLU, Dropout                    | 60k - 262k  | 400 - 800           |
|              | VGGNet16                  | Image Classification                      | Conv. + ReLU + MaxPool                   | 138M        | 150k                |
|              | Traffic Signs Recognition | Image Classification                      | Conv. + Sign + MakPool + BatchNorm       | 905k - 1.7M | 2.7k - 12k          |
| FC           | TLL Verify Bench          | Two-Level Lattice NN                      | Two-Level Lattice NN (FC. + ReLU)        | 17k - 67M   | 2                   |
|              | Acas XU                   | Collision Detection                       | FC. + ReLU                               | 13k         | 5                   |
|              | Dist Shift                | Distribution Shift Detection              | FC. + ReLU + Sigmoid                     | 342k - 855k | 792                 |

### 4.1 cGAN

~ 提案人 Feiyang Cai, Ali Arjomandbigdeli, Stanley Bak (石溪大学)

~ 赋予动机 虽然现有的神经网络验证基准侧重于判别模型，但在鲁棒性评估方面，对实用且广泛使用的生成网络的探索仍然被忽视。该基准测试引入了一组图像生成网络，专门用于验证生成网络的鲁棒性。

~ 网络 生成网络使用条件生成对抗网络 (cGAN) 进行训练，其目标是生成包含位于自我车辆前方特定距离处的车辆障碍物的相机图像，其中距离由输入距离条件控制。要验证的网络是生成器和鉴别器的串联。生成器有两个输入：1) 距离条件 (1D 标量) 和 2) 控制环境的噪声矢量 (4D 矢量)。生成器的输出是生成的图像。鉴别器将生成的图像作为输入并输出两个值：1) 真实/虚假分数 (1D 标量) 和 2) 预测距离 (1D 标量)。针对不同的难度级别，提供了几种不同的模型，具有不同的架构 (CNN 和视觉转换器) 和图像尺寸 (32x32, 64x64)。

~ 规格 验证任务是检查生成的图像是否与输入距离条件对齐，或者验证输入距离条件是否与生成图像的预测距离匹配。在每个规范中，输入 (条件距离和潜在变量) 被限制在较小的范围内，输出是预测距离，其中心与条件距离相同，但范围略大。

~ 链接 [https://github.com/feiyang-cai/cgan\\_benchmark2023](https://github.com/feiyang-cai/cgan_benchmark2023)

## 4.2 NN4 系统

~ 提案人  $\alpha, \beta$ -CROWN 团队, 与东北大学的 Cheng Tan 和 Haoyu He 合作。

~ 应用 该基准测试包含用于数据库学习索引和学习基数估计的网络, 该网络将来自各个维度的输入映射到单个标量作为输出。

- 背景: 学习索引和学习基数都是计算机系统神经网络 (NN4Sys) 中的实例, NN4Sys 是基于神经网络执行系统操作的方法。这些方法显示出巨大的潜力, 但有一个缺点—NN4Sys 模型 (神经网络) 的输出可能是任意的, 这可能会导致系统中出现意外问题。
- 验证内容: 我们的基准测试提供了多对 (1) 经过训练的 NN4Sys 模型和 (2) 相应的规范。我们设计了具有不同参数的这些对, 以便它们能够满足各种用户需求, 并为验证者带来不同的困难。我们在 NN4SysBench 报告中描述了基准测试的详细信息 [?] : <http://naizhengtan.github.io/doc/papers/characterizing22haoyu.pdf> .
- 将 NN4Sys 应用程序转换为 VNN 基准测试: 原始的 NN4Sys 应用程序具有难以表达的复杂功能。我们定制了神经网络及其规格, 使其适合 VNN-COMP。例如, learned index [?] 在树结构中包含多个 NN, 它们共同用于一个目的。然而, 这种级联结构不方便/不支持验证, 因为存在“切换”操作—根据第一阶段 NN 的预测在第二阶段选择一个 NN。为了将学习到的索引转换为标准形式, 我们将 NN 合并为一个更大的 NN。
- 关于更广泛影响的说明: 将神经网络用于系统是一个广泛的话题, 但许多现有作品缺乏严格的安全保障。我们相信 NN 验证可以帮助系统开发人员获得将 NN 应用于关键系统的信心。我们希望我们的基准可以成为实现这一愿景的早期一步。

~ 网络 该基准测试有六个具有不同参数的网络: 两个用于学习索引, 四个用于学习基数估计。学习索引使用完全连接的前馈神经网络。基数估计具有相对复杂的内部结构; 有关详细信息, 请参阅我们的 NN4SysBench 报告 (上面列出的 URL)。

~ 规格 对于学习索引, 该规范旨在检查预测误差是否有限。该规范是输入和输出间隔对的集合, 因此输入间隔中的任何输入都应映射到相应的输出间隔。对于学习基数估计, 规范检查预测误差范围 (类似于学习索引) 和网络的单调性。通过单调性规范, 我们的意思是对于两个输入, 网络应该为较大的输入产生更大的输出, 这是基数估计所要求的。

链接: [https://github.com/Cl1212/VNNComp22\\_NN4Sys](https://github.com/Cl1212/VNNComp22_NN4Sys)

### 4.3 柯林斯-RUL-CNN

~ 提案人 Collins Aerospace, Applied Research & Technology ([网站](#)) .

~ 赋予动机 机器学习 (ML) 是航空业的一项颠覆性技术。这尤其涉及对安全至关重要的飞机功能, 在这些功能中, 必须使用高保证的设计和验证方法, 才能获得认证机构对基于 ML 的新产品的批准。评估经过训练的模型 (例如神经网络) 的正确性和鲁棒性是证明不存在意外功能的关键步骤 [?, ?]。提供此基准的主要动机是通过为未来航空电子系统中的神经网络提供现实用例来加强 VNN 社区与航空航天业之间的互动 [?]。

~ 应用 剩余使用寿命 (RUL) 是预后和健康管理 (PHM) 中广泛使用的指标, 它表示组件 (例如机械轴承、液压泵、飞机发动机) 的剩余寿命。RUL 用于基于状态的维护 (CBM), 以支持飞机维护和飞行准备。它有助于增加组件的手动检查和组件的维护周期安排, 例如维修或更换, 从而从预防性维护转变为预测性维护 (仅在需要时进行维护, 基于组件的当前状况和估计的未来状况)。这样可以消除或延长维修操作和检查周期, 优化部件维修 (例如, 更换润滑剂), 制定检查和维修计划, 并节省大量成本。最后, RUL 功能还可用于机载 (飞行中) 应用, 以动态通知飞行员飞行过程中飞机部件的健康状况。多变量时间序列数据通常用作 RUL 函数输入, 例如, 在几个后续时间步长 (在时间窗口内) 从一组监控组件状态的传感器进行测量。其他输入可能包括有关当前飞行阶段、任务和环境的信息。这种高度多维的输入空间促使人们使用深度学习 (DL) 解决方案, 因为它们能够从原始数据中执行自动特征提取。

~ 网络 该基准测试包括 3 个不同复杂度的卷积神经网络 (CNN): 不同数量的滤波器和不同大小的输入空间。所有网络仅包含具有 ReLU 激活的卷积层和全连接层。所有 CNN 都执行回归函数。它们已在同一数据集 (飞行过程中机械部件退化的时间序列数据) 上进行了训练。

~ 规格 我们为基于 NN 的 RUL 估计函数提出了 3 个属性。首先, 两个属性 (鲁棒性和单调性) 是局部的, 即围绕给定点定义。我们提供了一个带有可调整随机种子的脚本, 该种子可以围绕从测试数据集中随机选择的输入点生成这些属性。对于鲁棒性属性, 输入扰动 (增量) 在 5 % 和 40 % 之间变化, 而受扰动输入的数量在 2 到 16 之间变化。对于单调性属性, 考虑从给定点开始的 5 个 % 和 20 个 % 之间的单调偏移。最后一种类型的属性 (“if-then”) 要求输出 (RUL) 在给定特定输入范围的情况下处于预期值范围内。提供了几个不同复杂度的 if-then 属性 (取决于范围宽度)。

~ 链接 <https://github.com/loonwerks/vnncomp2022>

~ 纸 在 [?] 或根据要求提供。

#### 4.4 VGGNET16 2023

~ 提案人 Stanley Bak, 石溪大学

~ 赋予动机 该基准测试试图通过使用在 ImageNet 上运行的经过充分研究的 VGGNET-16 架构 [?] 来扩大所分析网络的规模。在可能导致图像错误分类的像素级扰动上提出了输入输出属性。

~ 网络 所有属性都在同一网络上运行, 其中包括 1.38 亿个参数。该网络具有卷积层、ReLU 激活函数以及最大池化层。

~ 规格 分析的特性范围从单像素扰动到所有 150528 像素上的扰动 (L-无穷扰动)。图像的子集用于创建规范, 每个类别一个, 随机选择用于攻击。扰动的像素也是根据随机种子随机选择的。

~ 链接 [https://github.com/stanleybak/vggnet16\\_benchmark2022/](https://github.com/stanleybak/vggnet16_benchmark2022/)

#### 4.5 TLL 验证工作台

~ 提案人 James Ferlez (加州大学欧文分校)

~ 赋予动机 该基准测试由两级晶格 (TLL) NN 组成, 这些神经网络已被证明适用于快速验证算法 (例如 [?])。因此, 该基准被提出作为将特定于 TLL 的验证算法与通用 NN 验证算法 (即可以验证任意深度、全连接的 ReLU NN 的算法) 进行比较的一种手段。

~ 网络 此基准测试中的网络是 [?, Experiment 3] 中使用的网络的子集。这些 TLL NN 中的每一个都有  $n = 2$  个输入和  $m = 1$  输出。TLL NN 的架构由两个参数进一步指定:  $N$  (局部线性函数的数量) 和  $M$  (选择器集的数量)。该基准测试包含大小为  $N = M = 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64$  的 TLL, 每个 TLL 30 随机生成的示例 (生成过程在 [?, Section 6.1.1] 中描述)。在运行时, 指定的验证超时决定了基准测试中包含多少个这样的网络, 以实现 6 小时的总运行时间; 此选择过程是确定性的。最后, TLL NN 具有使用多个计算路径的自然表示 [?, Figure 1], 但许多工具仅与全连接网络兼容。因此, 该基准测试中的 ONNX 模型通过“堆叠”这些计算路径来实现 TLL NN, 以形成完全连接的 NN (导致稀疏权重矩阵: 即具有许多零权重和偏差)。TLLnet 类 (<https://github.com/jferlez/TLLnet>) 包含通过 `exportONNX` 方法生成这些实现所需的代码。

~ 规格 所有规范都将超立方体  $[-2, 2]^2$  作为输入约束。由于所有网络只有一个输出, 因此输出属性由随机生成的实数和随机生成的不等式方向组成。来自网络的随机输出样本用于粗略地确保实数属性在 NN 的输出范围内和在 NN 的输出范围之外 (高于或低于输入约束集上的所有 NN 输出) 的可能性相等。不等式方向是独立生成的, 每个方向具有相等的概率。该方案将基准偏向于存在反例的验证问题。

~ 链接 <https://github.com/jferlez/TLLVerifyBench>

~ 犯 199d2c26d0ec456e62906366b694a875a21ff7ef

#### 4.6 交通标志识别

~ 提案人 M ă d ă lina Era ș cu 和 Andreea Postovan (罗马尼亚蒂米什瓦拉西大学)

~ 赋予动机 在城市和高速公路行驶中, 交通标志在确保道路安全和管理交通流量方面发挥着至关重要的作用。这些标志的识别是自动驾驶视觉系统的重要组成部分, 面临着诸如对抗性示例的敏感性 [?] 和遮挡 [?] 等挑战, 这些挑战源于不同的交通场景条件。

~ 网络 在自动驾驶领域内, 二进制神经网络 (BNN) 在计算受限和能量受限的环境中显示出前景 [?]. BNN 将权重和/或激活二值化为  $\pm 1$ , 与传统神经网络 (NN) 相比, BNN 为图像识别提供了更小的模型大小和简化的卷积操作。

我们使用德国交通标志识别基准 (GTSRB) 数据集训练和测试了各种 BNN 架构 [?]. 这个多类数据集包含 43 个类别的德国路标图

像，由于透视变化、阴影、颜色退化和照明条件等因素，对人类和模型都提出了挑战。该数据集还使用比利时交通标志 [?] 和中国交通标志 [?] 数据集进行了测试。比利时交通标志数据集有 62 个类，其中 23 个类与 GTSRB 重叠。中国交通标志数据集有 58 个类别，与 GTSRB 共享 15 个类别。预处理步骤包括重新标记比利时和中国数据集中的类以匹配 GTSRB 中的类，并消除不重叠的类（详见 [?]）。

我们提供了三种模型，其结构如图 ??、?? 和 ?? 所示。它们包含 QConv、批量归一化 (BN)、最大池化 (ML)、全连接/密集 (D) 层。请注意，QConv 层对相应的卷积层进行二值化。所有模型都经过了 30 个时期的训练。图 ?? 中的模型使用尺寸为 64px x 64 px 的图像进行训练，图 ?? 中的模型尺寸为 48px x 48 px，图 ?? 中的模型尺寸为 30px x 30 px。涉及批量归一化层的两个模型除了引入二元参数外，还引入了实值参数，而第三个模型仅包含二元参数（见表 ??）用于统计。

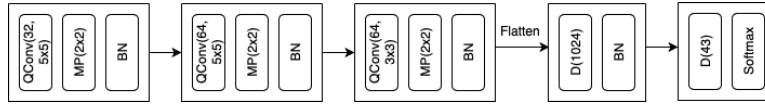


Figure 1: GTSRB 和比利时数据集的精度高效架构

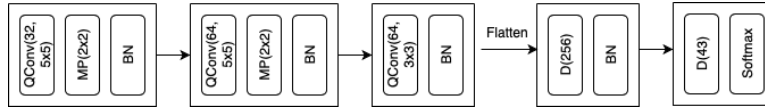


Figure 2: 中文数据集的精度高效架构

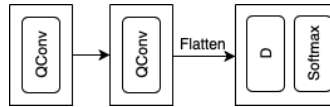


Figure 3: XNOR (QConv) 架构

~ 规格 为了评估上述网络的对抗鲁棒性，我们评估了零附近无穷范数内的扰动，半径表示为  $\epsilon = \{1, 3, 5, 10, 15\}$ 。这涉及从 GTSRB 数据集的测试集中为每个模型随机选择三个不同的图像，并为集中的每个 epsilon 生成 VNNLIB 文件。我们总共创建了 45 个 VNNLIB 文件。由于求解所有实例的总超时时间限制为 6 小时，因此每个实例的最大超时时间为 480 秒。要查看提交给 VNNCOMP 2023 的生成 VNNLIB 规范文件，以及生成新文件，请参阅 <https://github.com/apostovan21/vnncomp2023>。

~ 链接 <https://github.com/apostovan21/vnncomp2023>

## 4.7 ViT 的

~ 提案人  $\alpha, \beta$ -CROWN 团队。

~ 赋予动机 Transformers 与具有相对简单的激活函数的简单前馈网络相比，基于自注意力机制的 [?] 具有更复杂的架构，包含更多种类的非线性。这使得验证变形金刚具有挑战性。我们



Table 4: 训练和测试统计

| Input size  | Model name | Accuracy |       |         | # Params |      |         |
|-------------|------------|----------|-------|---------|----------|------|---------|
|             |            | German   | China | Belgium | Binary   | Real | Total   |
| 64px × 64px | Figure ??  | 96.45    | 81.50 | 88.17   | 1772896  | 2368 | 1775264 |
| 48px × 48px | Figure ??  | 95.28    | 83.90 | 87.78   | 904288   | 832  | 905120  |
| 30px × 30px | Figure ??  | 81.54    | N/A   | N/A     | 1005584  | 0    | 1005584 |

的目标是鼓励开发基于 Transformer 的模型的验证技术，我们还旨在对神经网络验证器进行相对复杂的神经网络架构和更一般的非线性基准测试。因此，我们提出了视觉变形金刚（ViTs）[?] 的新基准。该基准是基于我们对具有一般非线性的模型的神经网络验证工作而开发的 [?]。

~ 网络 基准测试包含两个 ViT，如 ?? 所示。考虑到 ViTs 验证的难度，我们对 ViTs 进行了修改，使模型相对较浅和狭窄，显著减少了层数和注意力头。在 [?] 之后，我们还将层归一化替换为批量归一化。模型主要使用 PGD 训练 [?] 进行训练，我们还为其中一个模型添加了加权 IBP [?, ?] 损失作为正则化。

Table 5: ViT 基准测试中的网络。

| Model               | PGD_2_3_16      | IBP_3_3_8       |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| Layers              | 2               | 3               |
| Attention heads     | 3               | 3               |
| Patch size          | 16              | 8               |
| Weight of IBP loss  | 0               | 0.01            |
| Training $\epsilon$ | $\frac{2}{255}$ | $\frac{1}{255}$ |
| Clean accuracy      | 59.78 %         | 62.21 %         |

~ 规格 该规范由具有  $\ell_\infty$  扰动的鲁棒性验证问题生成。我们使用 CIFAR-10 数据集，在测试时扰动大小为  $\epsilon = \frac{1}{255}$ 。我们已经过滤了 CIFAR-10 测试集，以排除可以找到对抗性示例或已经可以轻松验证的类似 CROWN 的 vanilla CROWN 方法 [?, ?] 实例。我们为每个模型随机保留 100 个实例，超时阈值为 100 秒。

~ 链接 [https://github.com/shizhouxing/ViT\\_vnncomp2023](https://github.com/shizhouxing/ViT_vnncomp2023)

## 4.8 现实世界的分布变化

~ 提案人 Marabou 团队。

~ 赋予动机 虽然对感知网络的手工扰动（例如，范数有界）的鲁棒性更常被研究，但对现实世界分布变化的鲁棒性 [?] 研究较少，但具有实际意义。此基准测试集包含用于验证后一种类型的稳健性的查询。

~ 网络 该网络是生成模型和 MNIST 分类器的串联。生成模型经过训练，可以接收未受干扰的图像，并在潜在空间中嵌入特定类型的分布位移，并生成受扰动的图像。在这种情况下捕获的分布偏移是“剪切”扰动。

~ 规格 验证任务是证明分类器正确地对扰动集中的所有图像进行分类，扰动集是由生成模型生成的一组图像，给定一个固定图像和一个球，该图像上的平均扰动居中（在潜在空间中）。该平均扰动由先验网络计算。

~ 链接 <https://github.com/wu-haoze/dist-shift-vnn-comp>

## 4.9 ML4ACOPF

~ 提案人 Haoruo Zhao、Michael Klaminkin、Mathieu Tanneau、Wenbo Chen 和 Pascal Van Hentenryck (佐治亚理工学院), 以及 Hassan Hijazi、Juston Moore 和 Haydn Jones (洛斯阿拉莫斯国家实验室)。

~ 赋予动机 机器学习模型用于预测电力系统中称为交流最佳潮流 (ACOPF) 的优化模型的解决方案。由于解是连续的, 因此采用回归模型。目的是评估这些机器学习模型预测的质量, 特别是通过确定它们是否满足优化模型的约束。鉴于在满足某些约束条件方面存在挑战, 目标是验证违反这些约束条件的最坏情况是否在可接受的容忍水平范围内。

~ 网络 所设计的神经网络由两个部分组成。第一个组件预测优化模型的解决方案, 而第二个组件评估每个需要检查的约束的违反情况。第一个组件仅由通用矩阵乘法 (GEMM) 和整流线性单元 (ReLU) 算子组成。然而, 第二个组件具有更复杂的结构, 因为它涉及使用非线性函数 (包括 S 形函数、二次函数和三角函数 (如正弦和余弦) 评估违反 AC 约束的情况。由于 VNNLIB 格式的限制, 这个复杂的评估组件被合并到网络中, 该格式不支持三角函数。因此, 这些约束违规评估包含在神经网络中。

~ 规格 在此基准测试中, 将检查四个不同的属性, 每个属性对应于一种约束冲突类型:

1. 功率平衡约束: 每个总线节点的净功率等于连接到该节点的分支中的功率流之和。
2. 热限制约束: 传输线上的功率流在其最大和最小限制范围内。
3. 发电边界: 发电机的有功和无功功率输出在其最大和最小限制范围内。
4. 电压幅值范围: 电压的幅值输出在其最大值和最小值限制范围内。

模型的输入是有功负载和无功负载。选择的扰动输入点是一个负载曲线, 已知存在 ACOPF 问题的相应可行解。对于可行性检查, 输入负载会受到扰动。尽管这种扰动并不完全符合物理定律, 但目的是确定具有扰动的机器学习预测解决方案是否可以产生不会显着违反约束的解决方案。

通过测试使用具有给定扰动的投影梯度下降是否可以轻松找到对抗性样本来改变扰动的尺度和违规阈值。该基准测试由固定的随机种子提供, 对实现的简单预测梯度下降具有鲁棒性。

~ 链接 [https://github.com/AI4OPT/ml4acopf\\_benchmark](https://github.com/AI4OPT/ml4acopf_benchmark)

## 4.10 徐昊

**网络** ACASXu 基准测试由 10 个属性组成, 这些属性在 45 个神经网络中定义, 用于向飞机发出转弯建议以避免碰撞。神经网络有 300 个神经元排列成 6 层, 具有 ReLU 激活函数。有五个输入对应于飞机状态, 五个网络输出, 其中最小输出用作系统最终生成的转弯咨询。

**规格** 我们使用原始的 10 个属性 [?], 其中属性 1-4 在所有 45 个网络上进行了检查, 就像原作者在后来的工作中所做的那样 [?]. 属性 5-10 在单个网络上进行检查。因此, 基准总数为 186 个。最初的验证时间从几秒到几天不等—包括一些未完成的基准测试实例。今年, 我们为每个属性使用了大约 2 分钟 (116 秒) 的超时时间, 以适应 6 小时的总最大运行时间。

## 5 结果

每个工具在每个基准测试上运行，并生成一个 `csv` 结果文件，该文件作为反馈提供给使用在线执行平台的工具作者。每个工具的最终 `csv` 文件以及评分脚本可在线获取：[https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023\\_results](https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023_results)。自动分析结果以计算分数并创建本节中显示的统计数据。当工具产生不正确的结果时，通常会受到惩罚。

Table 6: 总体得分

| # | Tool                      | Score |
|---|---------------------------|-------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 930.9 |
| 2 | Marabou                   | 594.1 |
| 3 | PyRAT                     | 585.5 |
| 4 | NeuralSAT                 | 547.0 |
| 5 | nnenum                    | 441.9 |
| 6 | NNV                       | 176.4 |
| 7 | FastBATLLNN               | 100.0 |

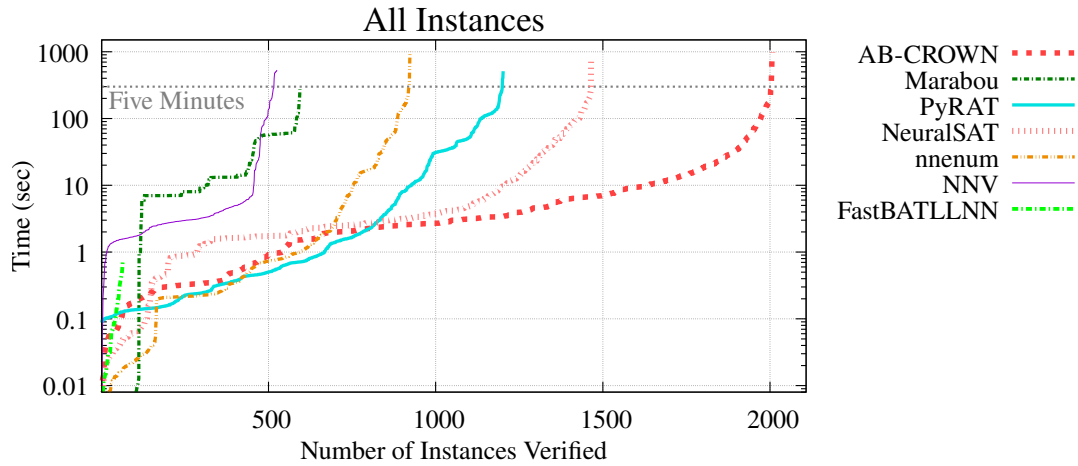


Figure 4: 所有实例的仙人掌图。



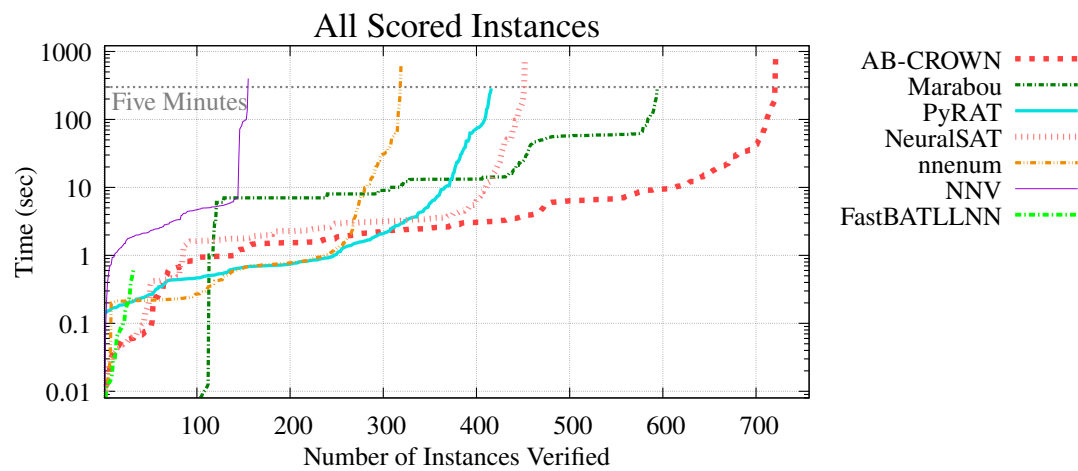


Figure 5: 所有评分实例的仙人掌图。

## 5.1 其他统计数据

本节介绍了与测量相关的其他统计数据，这些统计数据很有趣，但对今年的评分没有直接影响。

Table 7: 开销

| # | Tool                    | Seconds |
|---|-------------------------|---------|
| 1 | FastBATLLNN             | 0.3     |
| 2 | nnenum                  | 0.9     |
| 3 | Marabou                 | 1.1     |
| 4 | PyRAT                   | 3.4     |
| 5 | NeuralSAT               | 3.6     |
| 6 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 5.7     |
| 7 | NNV                     | 15.9    |

Table 8: 参与的 Num 基准测试

| # | Tool                    | Count |
|---|-------------------------|-------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 10    |
| 2 | Marabou                 | 9     |
| 3 | PyRAT                   | 8     |
| 4 | NeuralSAT               | 8     |
| 5 | nnenum                  | 6     |
| 6 | NNV                     | 6     |
| 7 | FastBATLLNN             | 1     |

Table 9: 已验证的实例数

| # | Tool                    | Count |
|---|-------------------------|-------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 721   |
| 2 | Marabou                 | 594   |
| 3 | NeuralSAT               | 452   |
| 4 | PyRAT                   | 416   |
| 5 | nnenum                  | 319   |
| 6 | NNV                     | 155   |
| 7 | FastBATLLNN             | 32    |

## 6 结论和对未来比赛的想法

本报告总结了 2023 年举行的神经网络竞赛 (VNN-COMP) 的 4<sup>rd</sup> 验证。虽然我们观察到所提出的基准测试的多样性、复杂性和规模显著增加，但性能最好的工具似乎收敛到使用分支和边

Table 10: 数字 SAT

| # | Tool                      | Count |
|---|---------------------------|-------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 151   |
| 2 | Marabou                   | 128   |
| 3 | PyRAT                     | 109   |
| 4 | NeuralSAT                 | 107   |
| 5 | nnenum                    | 101   |
| 6 | NNV                       | 60    |
| 7 | FastBATLLNN               | 17    |

Table 11: UNSAT 数量

| # | Tool                      | Count |
|---|---------------------------|-------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 570   |
| 2 | Marabou                   | 466   |
| 3 | NeuralSAT                 | 345   |
| 4 | PyRAT                     | 307   |
| 5 | nnenum                    | 218   |
| 6 | NNV                       | 95    |
| 7 | FastBATLLNN               | 15    |

界框架的 GPU 支持的线性有界传播方法。除了为 VNN-COMP 2021 引入的输入格式（`onnx` 和 `vnnlib`）和评估硬件的标准化外，VNN-COMP 2023 还延续了 VNN-COMP 2022 中引入的反例标准化格式和全自动评估管道，要求作者提供完整的安装脚本。我们希望这种标准化和自动化的提高不仅能简化比赛期间的评估，还能使从业人员和研究人员更容易地将一系列最先进的验证方法应用于他们的个人问题。

VNN-COMP 2023 成功实施了上一次迭代中确定的一系列改进机会。这些措施包括要求发现的反例的目击者消除工具分歧的歧义，提高自动化以实现更顺畅的最终评估，以及提供更广泛的 AWS 实例以更好地满足工具的要求。未来比赛的进一步想法包括使用专门为逐年进度跟踪而设计的评分基准、减少工具调整、批处理模式以及更严格的健全性评估。

## 7 ~

### 确认

这项研究得到了空军研究实验室信息理事会的部分支持，通过空军科学研究办公室暑期教师奖学金计划，合同编号 FA8750-15-3-6003，FA9550-15-0001 和 FA9550-20-F-0005。本材料基于空军科学研究办公室支持的工作，奖励编号为 FA9550-19-1-0288、FA9550-21-1-0121 和 FA9550-22-1-0019，美国国家科学基金会（NSF）资助编号为 1918450、1911017、2028001、2107035、2220401、2220418、2220426 和 2238133，以及国防高级研究计划局（DARPA）通过合同编号 FA8750-18-C-0089 和型号：FA8750-23-C-0518。本材料中表达的任何意见、发现、结论或建议均为作者的观点，并不一定反映美国空军、DARPA 或 NSF 的观点。

?? 和 ?? 中列出的工具和基准作者参与了本报告的编写和审查。

Table 12: 不正确的结果（或缺少 CE）

| # | Tool                      | Count |
|---|---------------------------|-------|
| 1 | NeuralSAT <sup>a</sup>    | 35    |
| 2 | NNV                       | 35    |
| 3 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 1     |

---

<sup>a</sup>所有惩罚都是由于 nn4sys 基准测试中错误解析的约束造成的。

## A 扩展结果

在本节中，我们将提供更细粒度的结果。

### A.1 评分基准

Table 13: 基准 2023-acasxu

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | nnenum                    | 139      | 47        | 0       | 0       | 1860  | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT                 | 138      | 46        | 0       | 0       | 1840  | 98.9 %  |
| 3 | PyRAT                     | 137      | 45        | 0       | 0       | 1820  | 97.8 %  |
| 4 | Marabou                   | 135      | 46        | 0       | 0       | 1810  | 97.3 %  |
| 5 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 139      | 46        | 0       | 1       | 1700  | 91.4 %  |
| 6 | NNV                       | 68       | 27        | 0       | 0       | 950   | 51.1 %  |

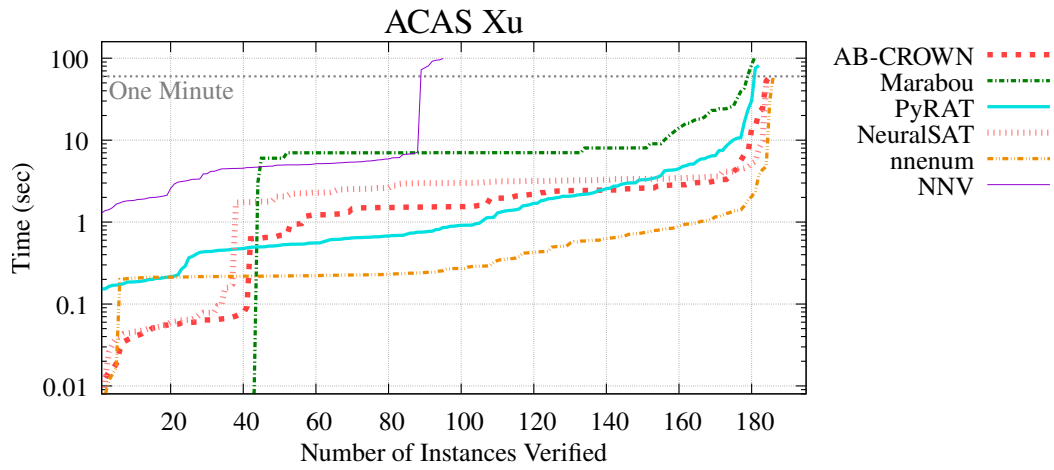


Figure 6: ACAS Xu 的仙人掌地块。

Table 14: 基准 2023-cgan

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 8        | 13        | 0       | 0       | 210   | 100.0 % |
| 2 | PyRAT                   | 8        | 11        | 0       | 0       | 190   | 90.5 %  |
| 3 | nenum                   | 6        | 11        | 0       | 0       | 170   | 81.0 %  |
| 4 | NeuralSAT               | 3        | 11        | 0       | 0       | 140   | 66.7 %  |
| 5 | NNV                     | 3        | 11        | 0       | 0       | 140   | 66.7 %  |
| 6 | Marabou                 | 0        | 13        | 0       | 0       | 130   | 61.9 %  |

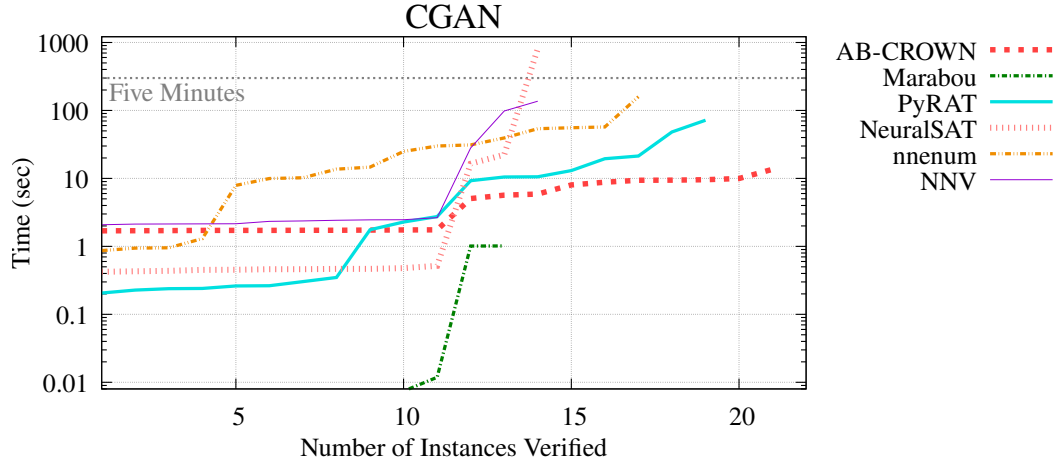


Figure 7: CGAN 的仙人掌图。

Table 15: 基准 2023-collins-rul-cnn

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | nenum                   | 35       | 27        | 0       | 0       | 620   | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 35       | 27        | 0       | 0       | 620   | 100.0 % |
| 3 | Marabou                 | 35       | 27        | 0       | 0       | 620   | 100.0 % |
| 4 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 35       | 27        | 0       | 0       | 620   | 100.0 % |
| 5 | PyRAT                   | 33       | 27        | 0       | 0       | 600   | 96.8 %  |
| 6 | NNV                     | 23       | 0         | 0       | 27      | -3820 | 0 %     |

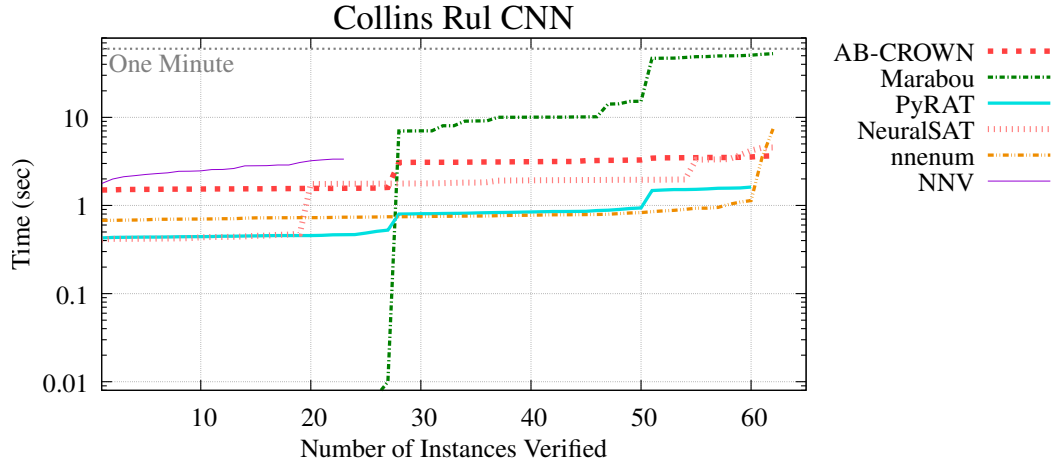


Figure 8: 柯林斯·鲁尔 (Collins Rul) 的仙人掌图, CNN。

Table 16: 基准 2023-dist-shift

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 67       | 5         | 0       | 0       | 720   | 100.0 % |
| 2 | PyRAT                   | 66       | 5         | 0       | 0       | 710   | 98.6 %  |
| 3 | NeuralSAT               | 66       | 5         | 0       | 0       | 710   | 98.6 %  |
| 4 | Marabou                 | 55       | 5         | 0       | 0       | 600   | 83.3 %  |
| 5 | NNV                     | 0        | 4         | 0       | 0       | 40    | 5.6 %   |

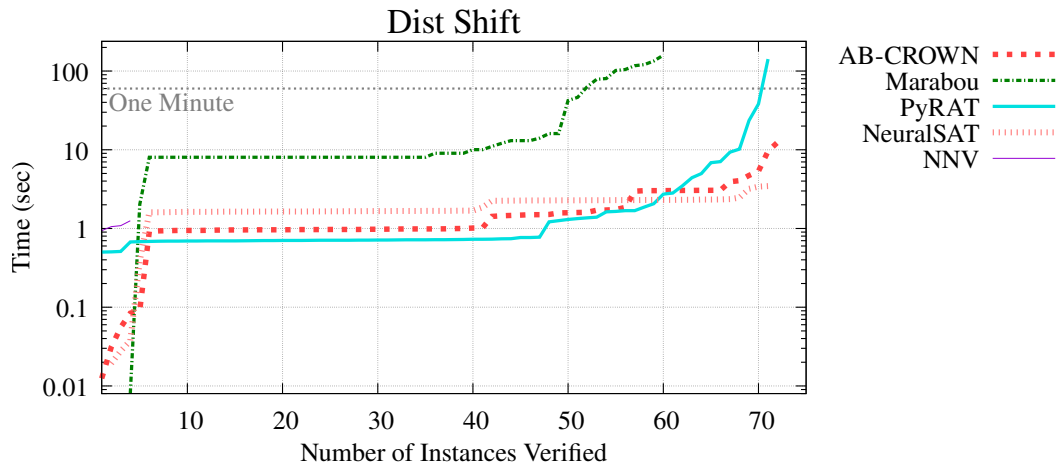


Figure 9: 仙人掌图用于 Dist Shift。

Table 17: 基准 2023-m14acopf

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent     |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------------|-------------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 18       | 1         | 0       | 0             | 190 100.0 % |

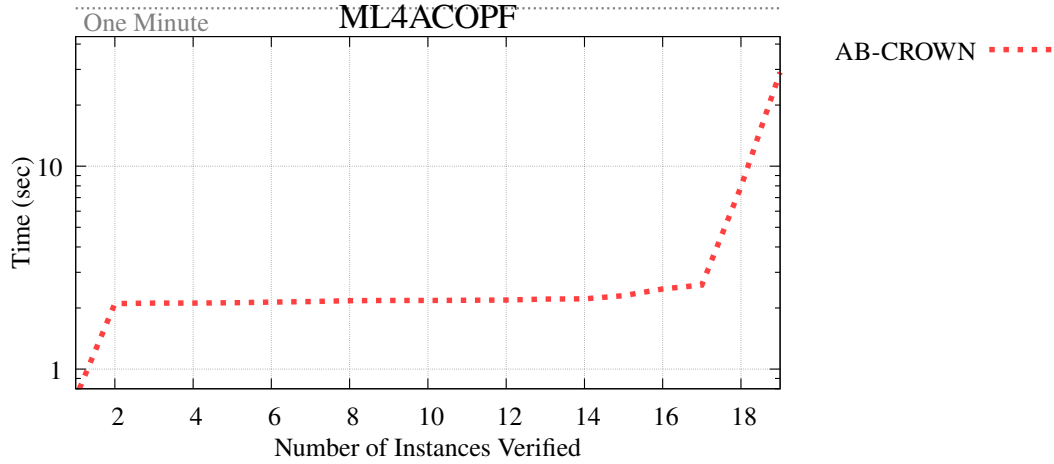


Figure 10: 仙人掌地块 ML4ACOPF。

Table 18: 基准 2023-nn4sys

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent      |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------------|--------------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 194      | 0         | 0       | 0             | 1940 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 83       | 0         | 0       | 0             | 830 42.8 %   |
| 3 | PyRAT                   | 40       | 0         | 0       | 0             | 400 20.6 %   |
| 4 | Marabou                 | 34       | 0         | 0       | 0             | 340 17.5 %   |
| 5 | nnenum                  | 22       | 0         | 0       | 0             | 220 11.3 %   |
| 6 | NNV                     | 0        | 2         | 0       | 8             | -1180 0 %    |

Table 19: 基准 2023-tllverifybench

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent     |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------------|-------------|
| 1 | NeuralSAT               | 15       | 17        | 0       | 0             | 320 100.0 % |
| 2 | FastBATLLNN             | 15       | 17        | 0       | 0             | 320 100.0 % |
| 3 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 15       | 17        | 0       | 0             | 320 100.0 % |
| 4 | PyRAT                   | 10       | 12        | 0       | 0             | 220 68.8 %  |
| 5 | Marabou                 | 5        | 17        | 0       | 0             | 220 68.8 %  |
| 6 | nnenum                  | 2        | 16        | 0       | 0             | 180 56.2 %  |
| 7 | NNV                     | 1        | 16        | 0       | 0             | 170 53.1 %  |



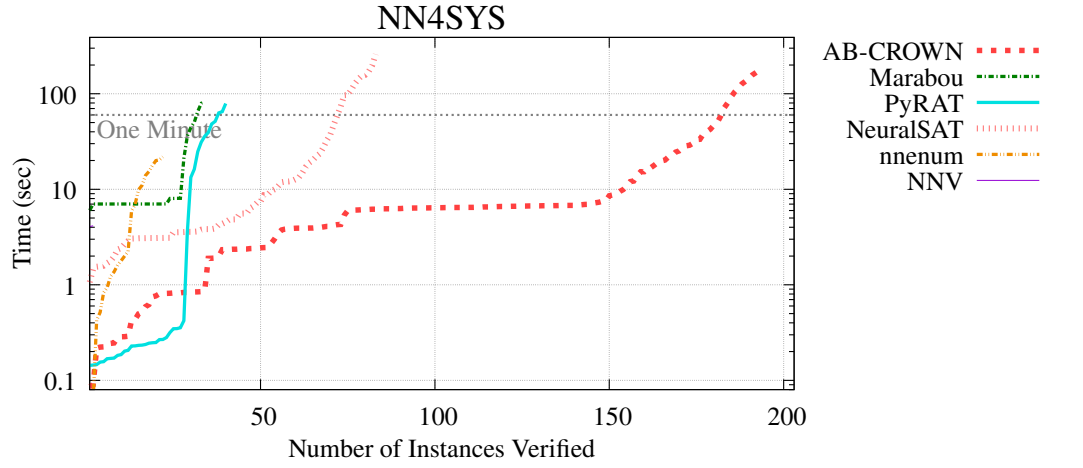


Figure 11: NN4SYS 的仙人掌图。

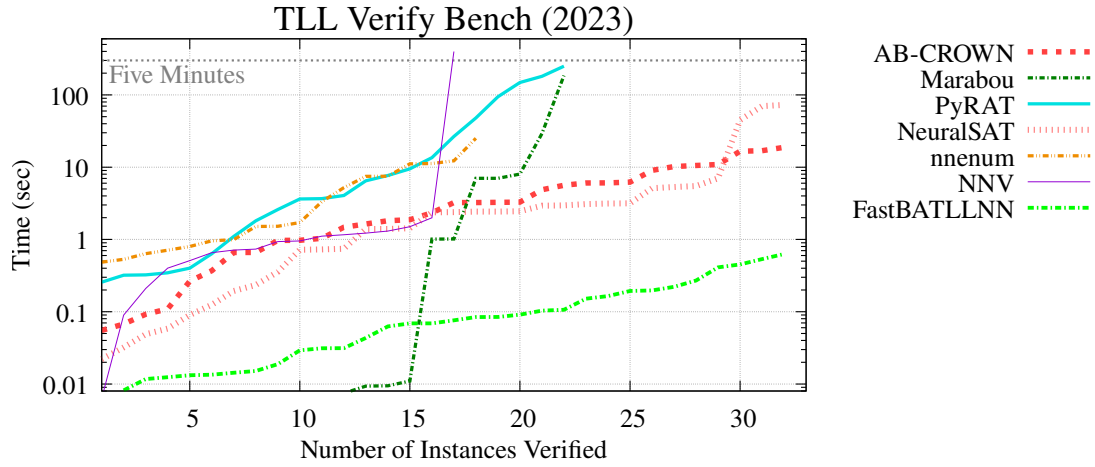


Figure 12: TLL 验证台的仙人掌图 (2023 年)。

Table 20: 基准 2023-traffic-signs-recognition

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent     |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------------|-------------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 0        | 42        | 0       | 0             | 420 100.0 % |
| 2 | Marabou                   | 0        | 19        | 0       | 0             | 190 45.2 %  |
| 3 | PyRAT                     | 0        | 8         | 0       | 0             | 80 19.0 %   |
| 4 | NeuralSAT                 | 0        | 0         | 0       | 35            | -5250 0 %   |

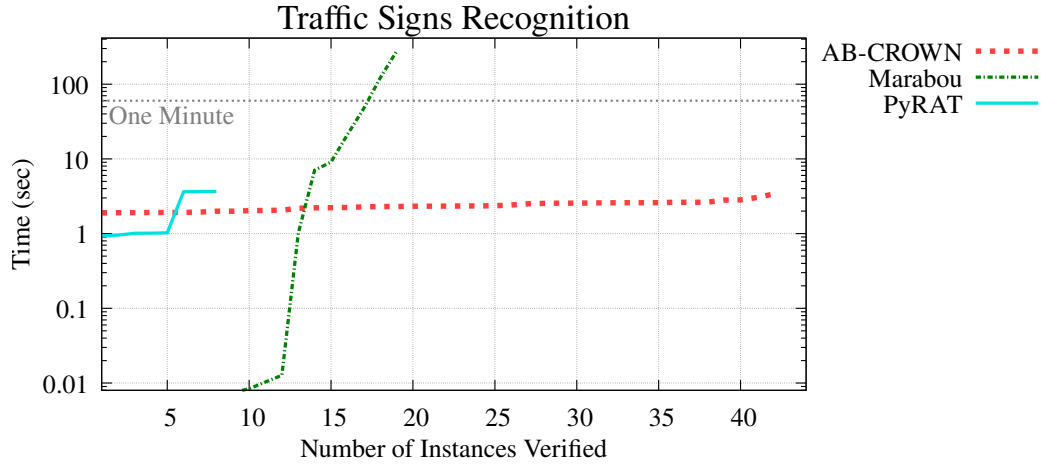


Figure 13: 用于交通标志识别的仙人掌图。

Table 21: 基准 2023-vggnet16

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 15       | 0         | 0       | 0       | 150   | 100.0 % |
| 2 | nenum                     | 14       | 0         | 0       | 0       | 140   | 93.3 %  |
| 3 | PyRAT                     | 13       | 1         | 0       | 0       | 140   | 93.3 %  |
| 4 | NeuralSAT                 | 5        | 1         | 0       | 0       | 60    | 40.0 %  |
| 5 | Marabou                   | 2        | 1         | 0       | 0       | 30    | 20.0 %  |

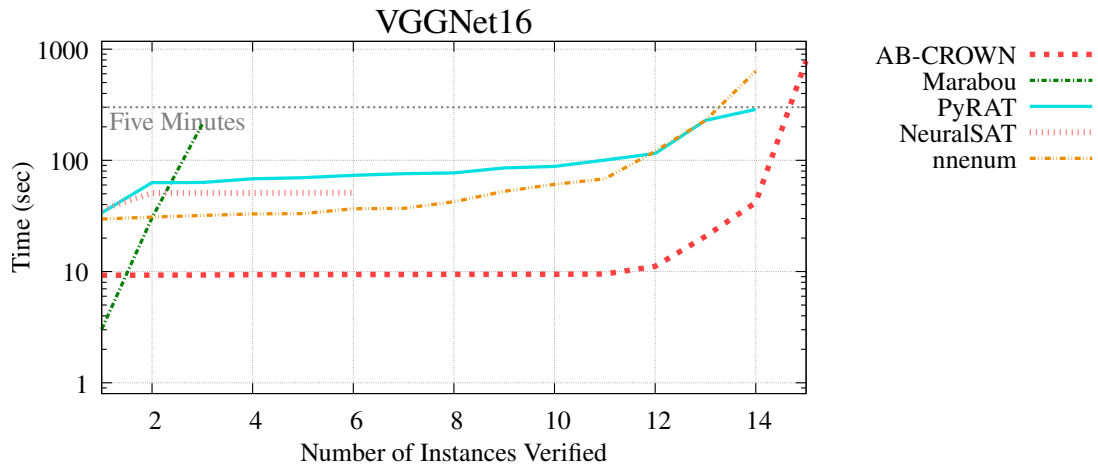


Figure 14: VGGNet16 的仙人掌图。

Table 22: 基准 2023-vit . 注意：由于古罗比的问题，在比赛结束后，马拉布的成绩发现了一个健全性问题; 这些结果可能会在报告的未来版本中更新。

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------------|---------|
| 1 | Marabou                   | 200      | 0         | 0       | 2000          | 100.0 % |
| 2 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 79       | 0         | 0       | 790           | 39.5 %  |

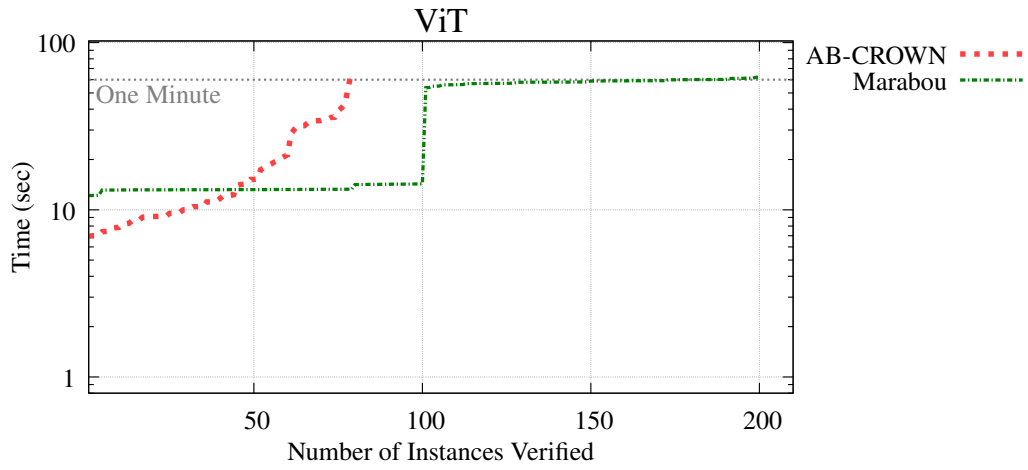


Figure 15: ViT 的仙人掌图。

## A.2 未评分的基准

Table 23: 基准 2022-carvana-unet-2022

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 39       | 0         | 0       | 390           | 100.0 % |

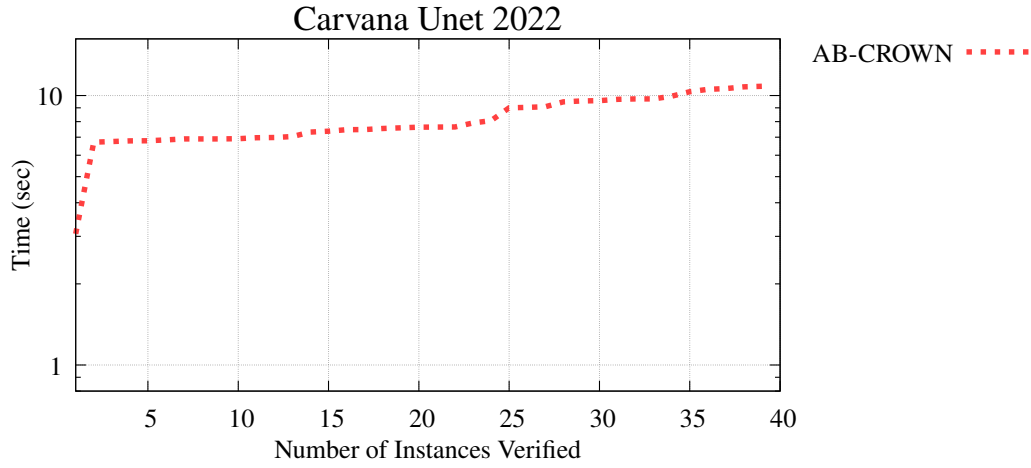


Figure 16: Carvana Unet 2022 的仙人掌图。

Table 24: 基准 2022-cifar100-tinyimagenet-resnet

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 69       | 3         | 0       | 720           | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 56       | 3         | 0       | 590           | 81.9 %  |

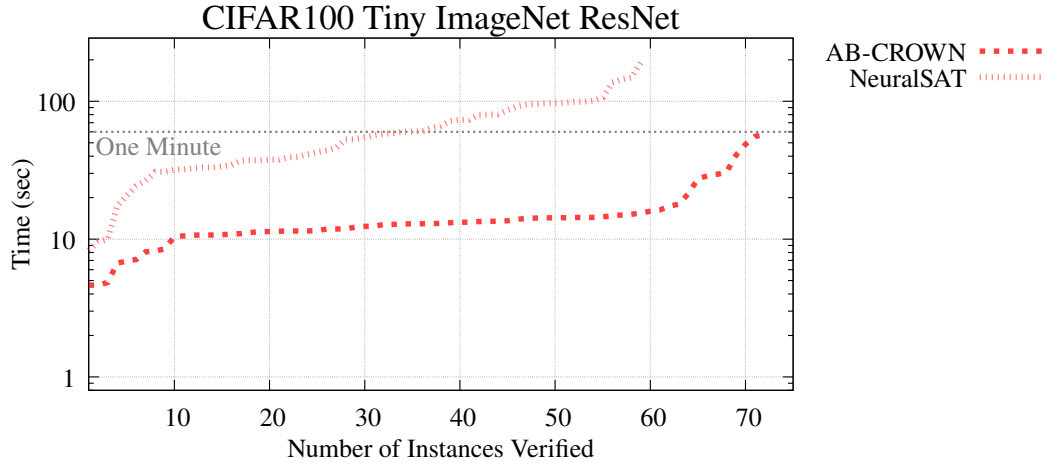


Figure 17: 仙人掌图 CIFAR100 微小的 ImageNet ResNet。

Table 25: 基准 2022-cifar2020

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | NeuralSAT               | 148      | 42        | 0       | 0       | 1900  | 100.0 % |
| 2 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 148      | 41        | 0       | 0       | 1890  | 99.5 %  |
| 3 | PyRAT                   | 96       | 39        | 0       | 0       | 1350  | 71.1 %  |
| 4 | nnenum                  | 66       | 19        | 0       | 0       | 850   | 44.7 %  |
| 5 | NNV                     | 32       | 0         | 0       | 6       | -580  | 0 %     |

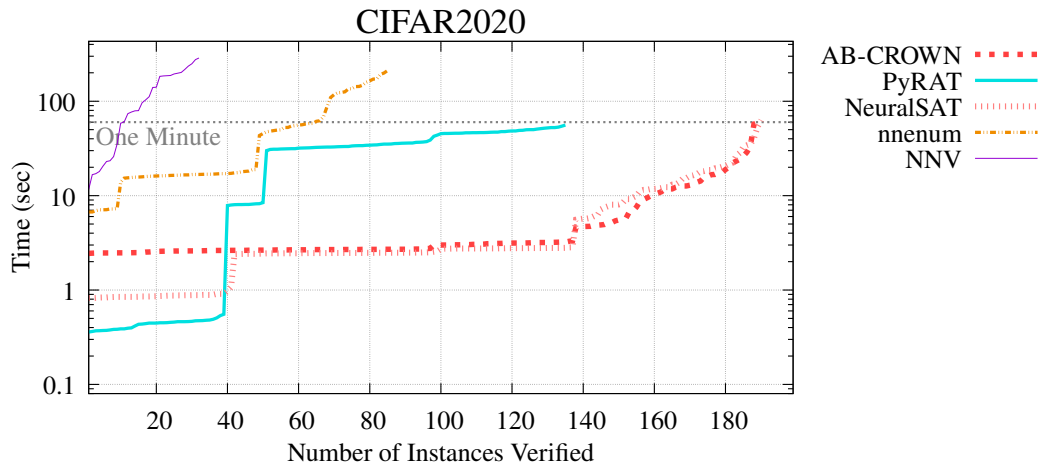


Figure 18: 仙人掌地块 CIFAR2020。

Table 26: 基准 2022-cifar-biasfield

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 68       | 1         | 0       | 0       | 690   | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 67       | 1         | 0       | 0       | 680   | 98.6 %  |
| 3 | PyRAT                   | 51       | 1         | 0       | 0       | 520   | 75.4 %  |
| 4 | nnenum                  | 18       | 0         | 0       | 0       | 180   | 26.1 %  |

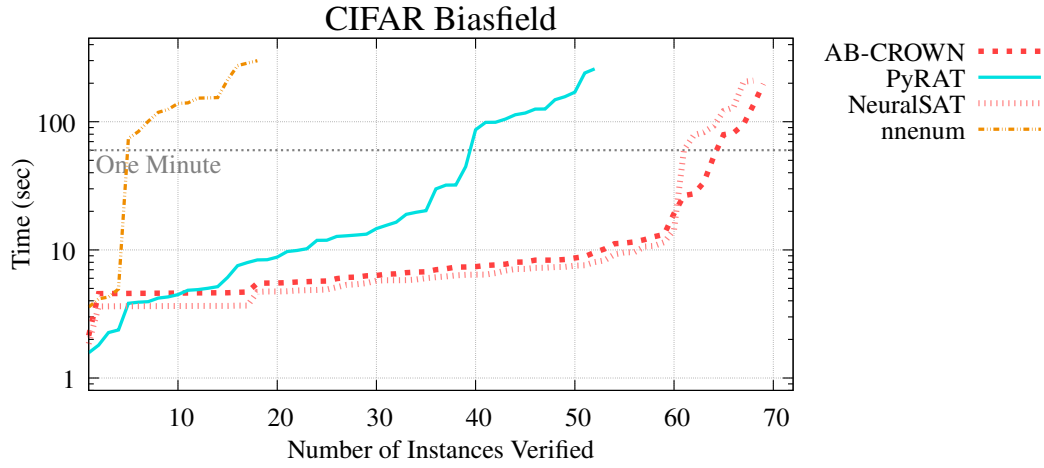


Figure 19: CIFAR Biasfield 的仙人掌图。

Table 27: 基准 2022-mnist-fc

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | NeuralSAT               | 46       | 18        | 0       | 0       | 640   | 100.0 % |
| 2 | nnenum                  | 48       | 11        | 0       | 0       | 590   | 92.2 %  |
| 3 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 68       | 16        | 0       | 2       | 540   | 84.4 %  |
| 4 | PyRAT                   | 35       | 16        | 0       | 0       | 510   | 79.7 %  |
| 5 | NNV                     | 30       | 4         | 0       | 0       | 340   | 53.1 %  |

Table 28: 基准 2022-nn4sys

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 152      | 0         | 0       | 0       | 1520  | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 78       | 0         | 0       | 0       | 780   | 51.3 %  |
| 3 | nnenum                  | 22       | 0         | 0       | 0       | 220   | 14.5 %  |
| 4 | PyRAT                   | 14       | 0         | 0       | 0       | 140   | 9.2 %   |
| 5 | NNV                     | 0        | 2         | 0       | 8       | -1180 | 0 %     |

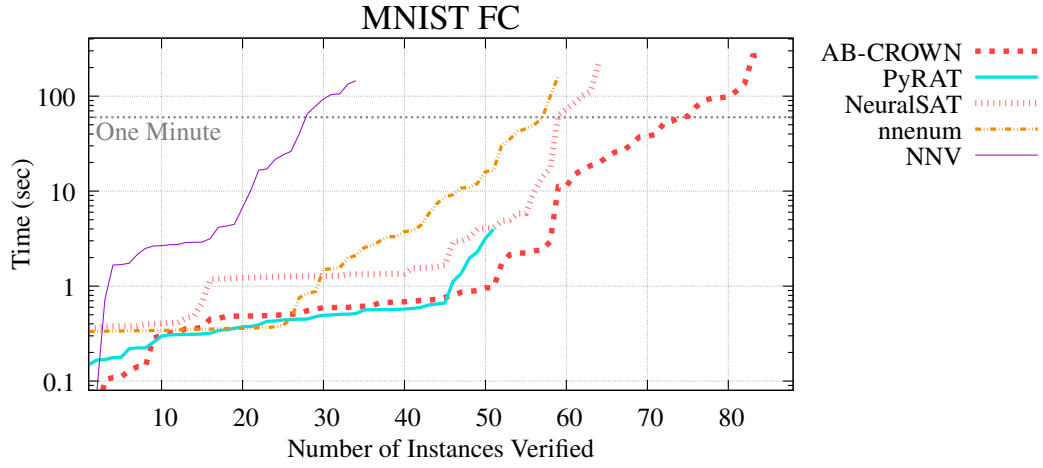


Figure 20: MNIST FC 的仙人掌地块。

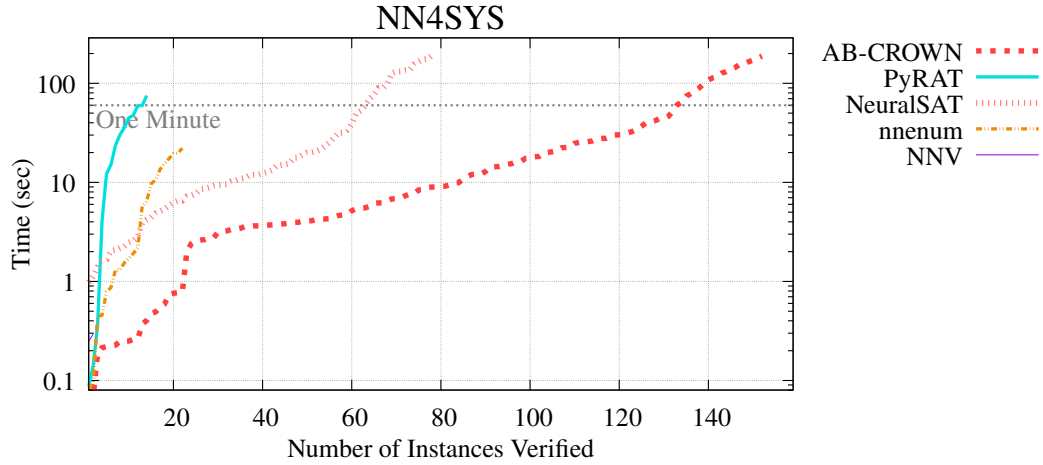


Figure 21: NN4SYS 的仙人掌图。

Table 29: 基准 2022-ova121

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 25       | 1         | 0       | 0       | 260   | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 19       | 1         | 0       | 0       | 200   | 76.9 %  |
| 3 | nnenum                  | 3        | 1         | 0       | 0       | 40    | 15.4 %  |
| 4 | NNV                     | 4        | 0         | 0       | 0       | 40    | 15.4 %  |
| 5 | PyRAT                   | 1        | 1         | 0       | 0       | 20    | 7.7 %   |

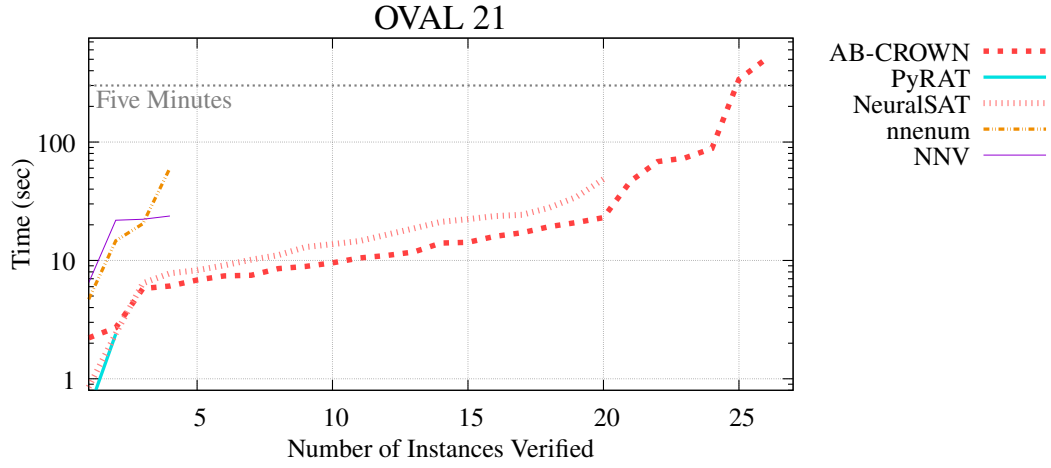


Figure 22: 椭圆形 21 的仙人掌图。

Table 30: 基准 2022-reach-prob-density

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | nenum                   | 22       | 14        | 0       | 0       | 360   | 100.0 % |
| 2 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 22       | 14        | 0       | 0       | 360   | 100.0 % |
| 3 | NeuralSAT               | 22       | 12        | 0       | 0       | 340   | 94.4 %  |
| 4 | PyRAT                   | 17       | 7         | 0       | 0       | 240   | 66.7 %  |
| 5 | NNV                     | 9        | 0         | 0       | 0       | 90    | 25.0 %  |

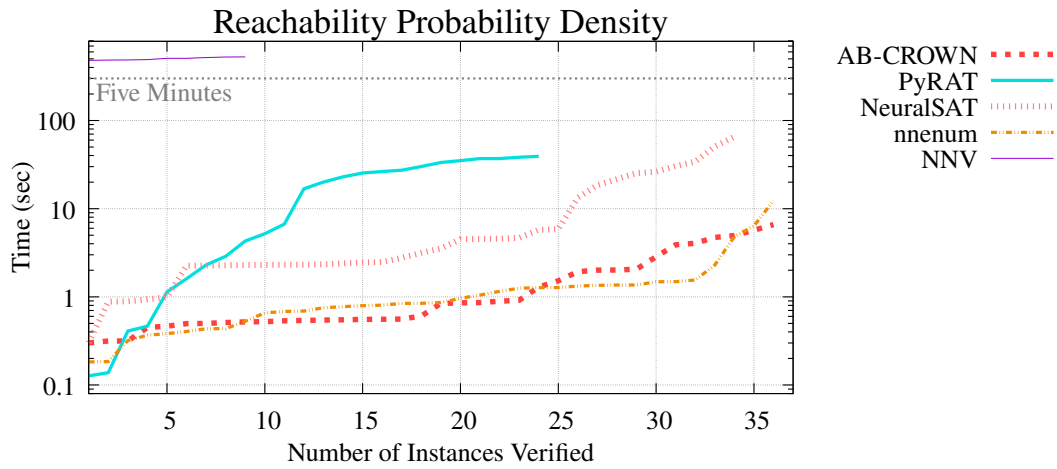


Figure 23: 可达性概率密度的仙人掌图。



Table 31: 基准 2022-rl-benchmarks

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | NeuralSAT               | 193      | 103       | 0       | 0       | 2960  | 100.0 % |
| 2 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 193      | 103       | 0       | 0       | 2960  | 100.0 % |
| 3 | nnenum                  | 191      | 103       | 0       | 0       | 2940  | 99.3 %  |
| 4 | PyRAT                   | 194      | 96        | 0       | 0       | 2900  | 98.0 %  |
| 5 | NNV                     | 177      | 90        | 0       | 0       | 2670  | 90.2 %  |

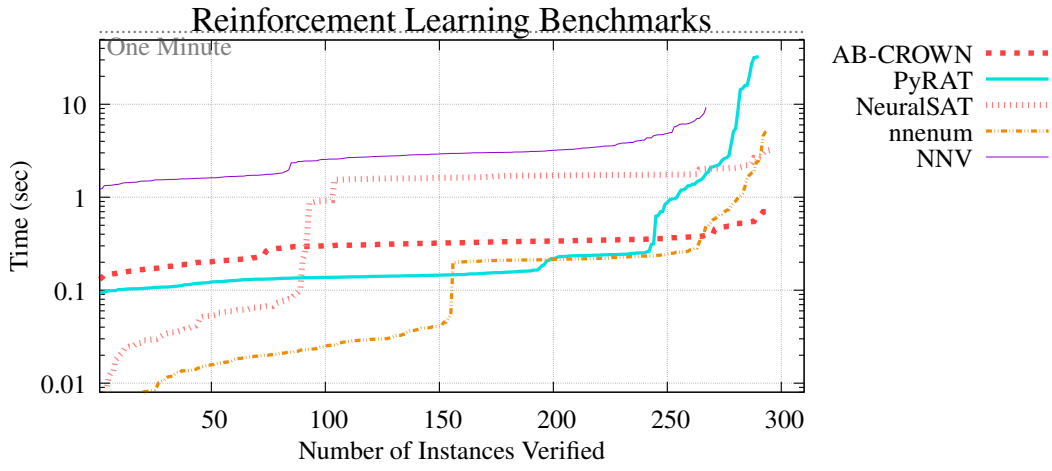


Figure 24: 用于强化学习基准的仙人掌图。

Table 32: 基准 2022-sri-resnet-a

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 20       | 12        | 0       | 0       | 320   | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT               | 18       | 12        | 0       | 0       | 300   | 93.8 %  |
| 3 | PyRAT                   | 5        | 11        | 0       | 0       | 160   | 50.0 %  |

Table 33: 基准 2022-sri-resnet-b

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | NeuralSAT               | 28       | 11        | 0       | 0       | 390   | 100.0 % |
| 2 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 28       | 11        | 0       | 0       | 390   | 100.0 % |
| 3 | PyRAT                   | 13       | 11        | 0       | 0       | 240   | 61.5 %  |
| 4 | NNV                     | 2        | 0         | 0       | 0       | 20    | 5.1 %   |

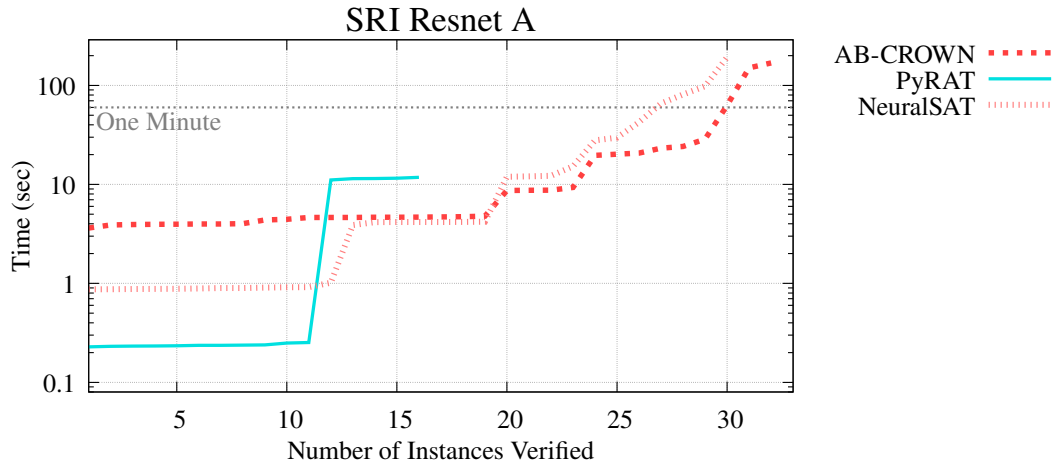


Figure 25: SRI Resnet A 的仙人掌地块。

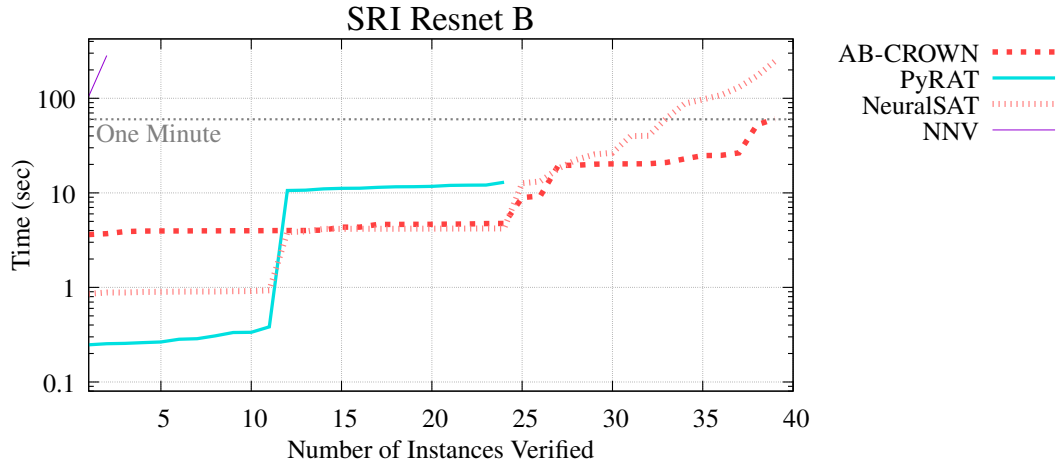


Figure 26: SRI Resnet B 的仙人掌地块。

Table 34: 基准 2022-tllverifybench

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | NeuralSAT               | 11       | 21        | 0       | 0       | 320   | 100.0 % |
| 2 | FastBATLLNN             | 11       | 21        | 0       | 0       | 320   | 100.0 % |
| 3 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 11       | 21        | 0       | 0       | 320   | 100.0 % |
| 4 | PyRAT                   | 9        | 17        | 0       | 0       | 260   | 81.2 %  |
| 5 | nnenum                  | 1        | 21        | 0       | 0       | 220   | 68.8 %  |
| 6 | NNV                     | 0        | 21        | 0       | 0       | 210   | 65.6 %  |

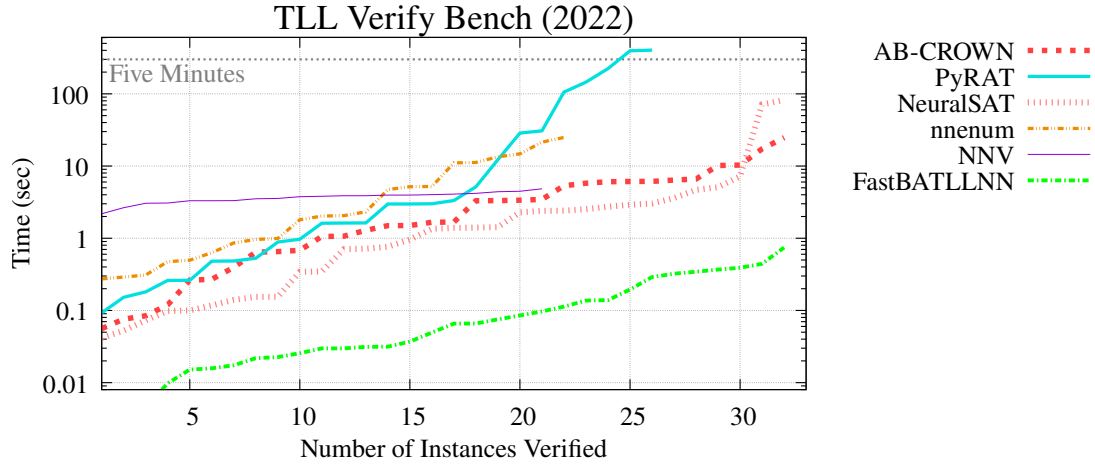


Figure 27: TLL 验证台的仙人掌图 (2022 年)。

Table 35: 基准 2022-vggnet16-2022

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty Score | Percent     |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------------|-------------|
| 1 | nnenum                    | 11       | 1         | 0       | 0             | 120 100.0 % |
| 2 | PyRAT                     | 9        | 1         | 0       | 0             | 100 83.3 %  |
| 3 | NeuralSAT                 | 5        | 1         | 0       | 0             | 60 50.0 %   |
| 4 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 14       | 0         | 0       | 1             | -10 0 %     |

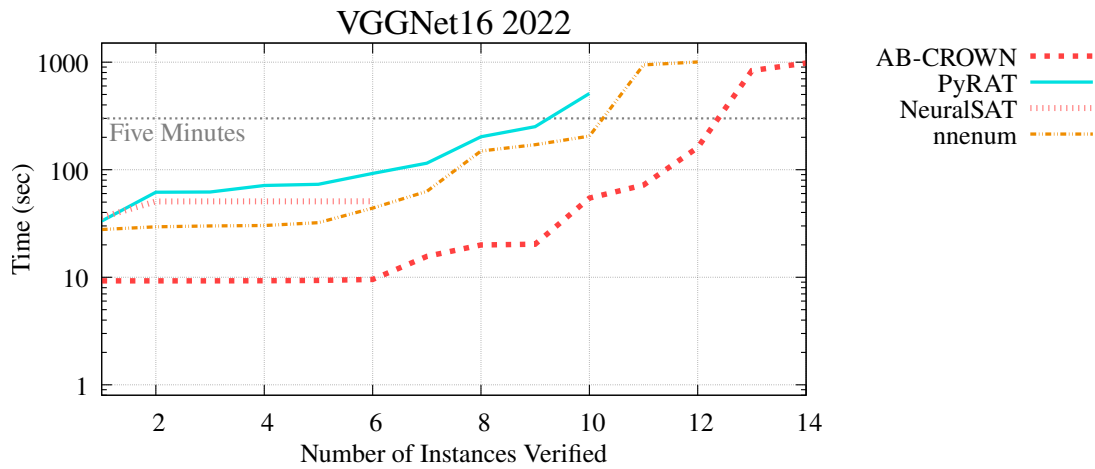


Figure 28: VGGNet16 2022 的仙人掌图。

Table 36: 基准 2023-cctsdb-yolo

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 11       | 28        | 0       | 0       | 390   | 100.0 % |

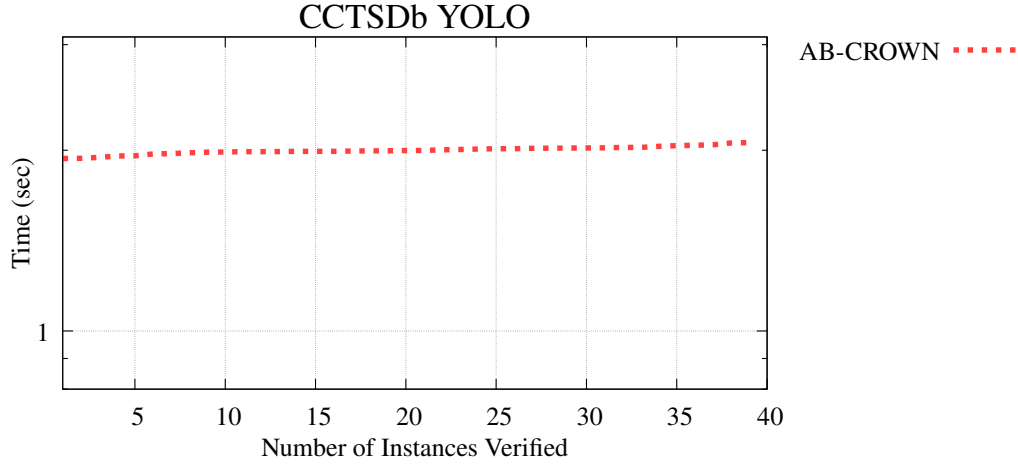


Figure 29: CCTSDb YOLO 的仙人掌图。

Table 37: 基准 2023-collins-yolo-robustness

| # | Tool                    | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|-------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | PyRAT                   | 0        | 6         | 0       | 0       | 60    | 100.0 % |
| 2 | $\alpha - \beta$ -CROWN | 0        | 6         | 0       | 0       | 60    | 100.0 % |

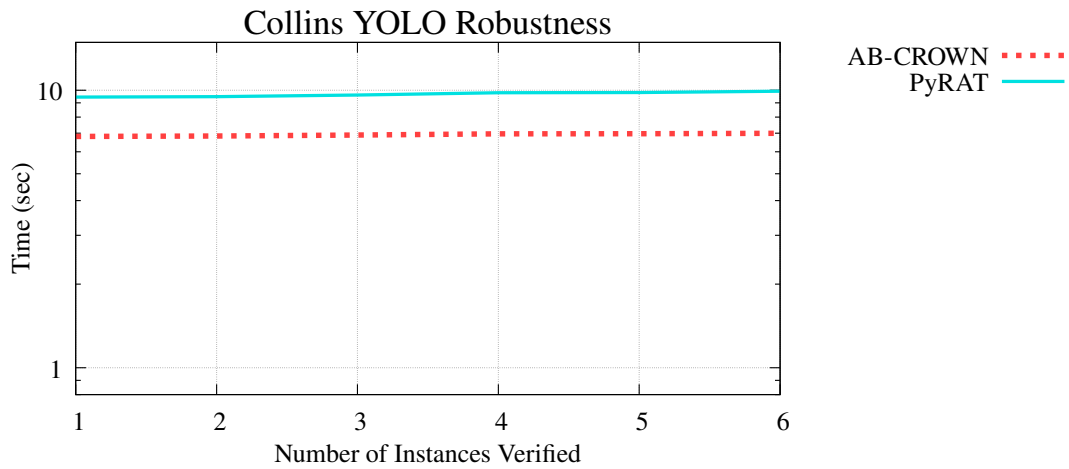


Figure 30: 柯林斯 YOLO 鲁棒性的仙人掌图。

Table 38: 基准 2023-metaroom

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 94       | 5         | 0       | 0       | 990   | 100.0 % |
| 2 | NeuralSAT                 | 92       | 5         | 0       | 0       | 970   | 98.0 %  |
| 3 | PyRAT                     | 93       | 2         | 0       | 0       | 950   | 96.0 %  |
| 4 | nnenum                    | 51       | 2         | 0       | 0       | 530   | 53.5 %  |

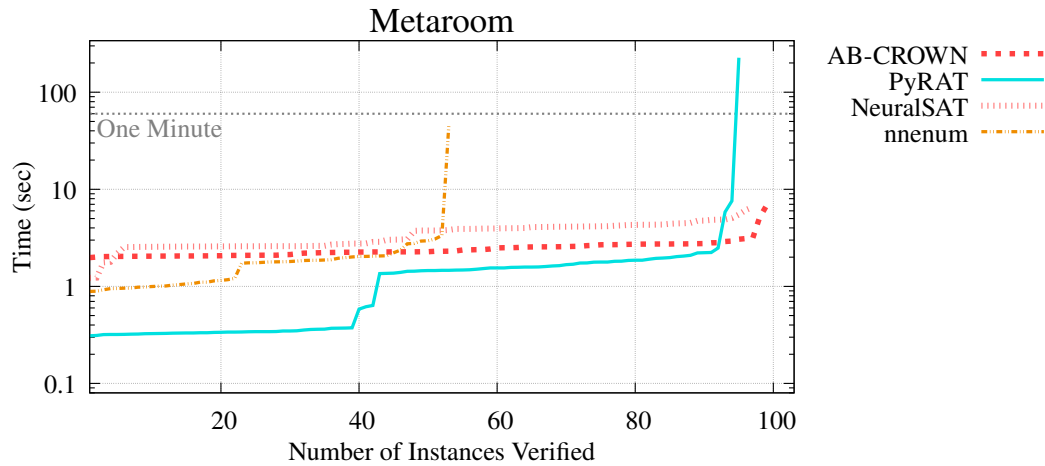


Figure 31: 元室的仙人掌图。

Table 39: 基准 2023-yolo

| # | Tool                      | Verified | Falsified | Fastest | Penalty | Score | Percent |
|---|---------------------------|----------|-----------|---------|---------|-------|---------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 63       | 0         | 0       | 0       | 630   | 100.0 % |
| 2 | PyRAT                     | 41       | 0         | 0       | 0       | 410   | 65.1 %  |
| 3 | NNV                       | 0        | 0         | 0       | 41      | -6150 | 0 %     |

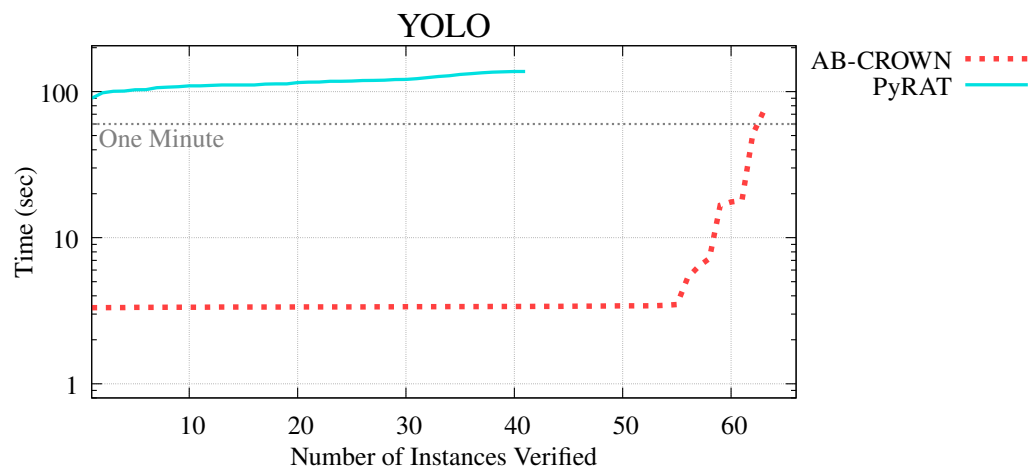


Figure 32: YOLO 的仙人掌图。

## B 替代评分结果

如 Section ?? 中所述，如果工具报告 SAT，则必须提供具体的反例。它们应该同时包含网络输入和相应的输出。但是，由于一些工具没有提供输出或输出不正确，因此我们决定放弃提供的反例中的所有输出。相反，输出是使用 onnxruntime 包计算的。

或者，如果反例的网络输出缺失或不正确，则可以为工具分配惩罚。这将导致以下排名：

Table 40: 总体得分

| # | Tool                      | Score |
|---|---------------------------|-------|
| 1 | $\alpha$ - $\beta$ -CROWN | 830.9 |
| 2 | Marabou                   | 531.6 |
| 3 | NeuralSAT                 | 469.6 |
| 4 | nnenum                    | 441.9 |
| 5 | PyRAT                     | 276.6 |
| 6 | NNV                       | 176.4 |
| 7 | FastBATLLNN               | 100.0 |

可以使用 [https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023\\_results](https://github.com/ChristopherBrix/vnncomp2023_results) 中的脚本生成此设置的详细结果列表。

## B.1 详细结果

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 [蓝](#) . 第二快的是 [绿](#) . 处罚是红叉 ([✗](#) )。

| Category | Id        | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT | NNen | NNV | FastBaT |
|----------|-----------|--------|----------|---------|------|-------|-------|------|------|-----|---------|
| 2023     | Acasxu 0  | UNSAT  | 2.47     | 7.02    | 1.39 | 3.23  | 0.43  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 1  | UNSAT  | 2.40     | 7.02    | 1.60 | 3.16  | 0.42  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 2  | UNSAT  | 2.46     | 7.02    | 2.32 | 3.23  | 0.60  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 3  | UNSAT  | 2.45     | 7.02    | 1.82 | 3.16  | 0.62  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 4  | UNSAT  | 2.36     | 7.02    | 1.29 | 3.15  | 0.49  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 5  | UNSAT  | 2.42     | 7.02    | 1.58 | 3.15  | 0.76  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 6  | UNSAT  | 2.29     | 7.02    | 1.38 | 3.18  | 0.50  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 7  | UNSAT  | 2.21     | 7.02    | 1.14 | 3.14  | 0.58  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 8  | UNSAT  | 2.14     | 7.02    | 0.92 | 3.13  | 0.50  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 9  | UNSAT  | 2.43     | 7.02    | 1.93 | 3.15  | 0.74  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 10 | UNSAT  | 2.55     | 8.03    | 2.56 | 3.29  | 0.94  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 11 | UNSAT  | 2.42     | 7.02    | 2.06 | 3.16  | 0.71  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 12 | UNSAT  | 2.45     | 7.02    | 1.85 | 3.20  | 0.63  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 13 | UNSAT  | 2.79     | 9.03    | 3.35 | 3.35  | 0.92  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 14 | UNSAT  | 2.61     | 8.03    | 2.95 | 3.37  | 0.81  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 15 | UNSAT  | 2.96     | 26.1    | 5.93 | 3.40  | 1.41  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 16 | UNSAT  | 3.03     | 18.1    | 5.88 | 3.43  | 1.22  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 17 | UNSAT  | 3.16     | 24.1    | 7.45 | 3.41  | 61.4  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 18 | UNSAT  | 2.43     | 7.02    | 2.07 | 3.16  | 0.64  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 19 | UNSAT  | 2.49     | 8.02    | 2.16 | 3.16  | 0.59  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 20 | UNSAT  | 2.39     | 7.02    | 2.06 | 3.21  | 0.72  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 21 | UNSAT  | 2.45     | 7.02    | 1.70 | 3.23  | 0.60  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 22 | UNSAT  | 2.59     | 8.03    | 2.75 | 3.35  | 0.84  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 23 | UNSAT  | 2.74     | 12.0    | 4.89 | 3.39  | 1.58  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 24 | UNSAT  | 2.83     | 19.1    | 5.11 | 3.40  | 1.30  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 25 | UNSAT  | 2.83     | 16.1    | 4.49 | 3.44  | 1.08  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 26 | UNSAT  | 3.59     | 39.2    | 6.42 | 3.56  | 0.98  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 27 | UNSAT  | 2.59     | 9.03    | 3.02 | 3.35  | 1.02  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 28 | UNSAT  | 2.37     | 7.02    | 2.20 | 3.17  | 0.76  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 29 | UNSAT  | 2.46     | 7.02    | 2.01 | 3.17  | 0.65  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 30 | UNSAT  | 2.43     | 8.03    | 1.98 | 3.23  | 0.59  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 31 | UNSAT  | 2.54     | 8.03    | 3.00 | 3.34  | 0.94  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 32 | UNSAT  | 2.99     | 23.1    | 6.47 | 3.48  | 1.86  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 33 | UNSAT  | 3.21     | 32.2    | 10.6 | 3.47  | 1.38  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 34 | UNSAT  | 3.04     | 23.1    | 5.55 | 3.43  | 1.16  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 35 | UNSAT  | 3.30     | 43.2    | 9.29 | 3.48  | 2.39  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 36 | UNSAT  | 2.43     | 7.02    | 1.92 | 3.17  | 0.60  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 37 | UNSAT  | 2.45     | 8.02    | 2.18 | 3.21  | 0.79  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 38 | UNSAT  | 2.46     | 7.02    | 1.64 | 3.18  | 0.67  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 39 | UNSAT  | 2.43     | 7.02    | 1.69 | 3.19  | 0.73  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 40 | UNSAT  | 2.61     | 8.02    | 2.59 | 3.29  | 0.82  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 41 | UNSAT  | 2.79     | 13.1    | 4.22 | 3.37  | 1.05  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 42 | UNSAT  | 2.81     | 11.0    | 4.28 | 3.37  | 1.03  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 43 | UNSAT  | 3.12     | 24.1    | 7.49 | 3.45  | 1.17  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 44 | UNSAT  | 2.86     | 16.1    | 6.23 | 3.36  | 1.37  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 45 | UNSAT  | 4.52     | 15.1    | 3.67 | 3.61  | 0.72  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 46 | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 0.97 | 4.42  | 0.29  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 47 | UNSAT  | 1.96     | 3.02    | 10.1 | 4.71  | 0.67  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 48 | UNSAT  | 0.04     | < 0.01  | 0.44 | 4.14  | 0.34  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 49 | UNSAT  | 7.04     | -       | 23.6 | 5.45  | 0.29  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 50 | UNSAT  | 4.15     | < 0.01  | 8.46 | 4.12  | 0.86  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 51 | UNSAT  | 2.86     | 18.1    | 4.35 | 3.36  | 0.79  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 52 | UNSAT  | 2.84     | 25.1    | 4.78 | 3.35  | 1.27  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 53 | UNSAT  | 3.03     | 21.1    | 4.32 | 3.36  | 0.90  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 54 | UNSAT  | 0.04     | < 0.01  | 0.53 | 0.07  | 0.24  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 55 | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 0.45 | 0.05  | 0.22  | 3.16 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 56 | UNSAT  | 0.03     | < 0.01  | 0.54 | 0.05  | 0.22  | 1.98 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 57 | UNSAT  | 0.01     | < 0.01  | 0.19 | 0.10  | 0.22  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 58 | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 0.49 | 0.08  | 0.22  | 3.13 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 59 | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 0.37 | 0.07  | 0.22  | 1.89 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 60 | UNSAT  | 0.04     | < 0.01  | 0.49 | 0.06  | 0.21  | 1.90 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 61 | UNSAT  | 0.04     | < 0.01  | 0.43 | 0.06  | 0.22  | 2.13 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 62 | UNSAT  | 0.05     | < 0.01  | 0.55 | 0.08  | 0.36  | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 63 | UNSAT  | 0.05     | < 0.01  | 0.45 | 0.06  | 0.22  | 2.58 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 64 | UNSAT  | 1.61     | < 0.01  | 2.25 | 4.13  | 0.23  | -    | -    | -   | -       |



Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category | Id         | Result       | $\alpha$ | $\beta$ | -C     | Marab  | PyRat | NSAT | Nen | NNV | FastBaT |
|----------|------------|--------------|----------|---------|--------|--------|-------|------|-----|-----|---------|
| 2023     | Acasxu 65  | UNSAT 59.0   | -        | -       | -      | -      | 4.38  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 66  | UNSAT 0.05   | < 0.01   | 0.69    | 0.07   | 0.21   | 2.91  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 67  | UNSAT 0.07   | < 0.01   | 0.47    | 0.08   | 0.22   | 1.99  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 68  | UNSAT 0.07   | < 0.01   | 0.67    | 0.04   | 0.23   | 1.71  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 69  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 1.41    | 0.05   | 0.35   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 70  | UNSAT 0.02   | < 0.01   | 0.47    | 0.17   | 0.23   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 71  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.46    | 0.05   | 0.22   | 3.25  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 72  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.52    | 0.16   | 0.23   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 73  | UNSAT 52.8   | -        | -       | 47.4   | 4.73   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 74  | UNSAT 0.01   | < 0.01   | 0.48    | 0.05   | 0.22   | 3.33  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 75  | UNSAT 0.07   | < 0.01   | 0.64    | 0.05   | 0.27   | 2.01  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 76  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.19    | 0.08   | 0.22   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 77  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.51    | 0.05   | 0.23   | 3.33  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 78  | UNSAT 0.02   | < 0.01   | 0.41    | 0.04   | 0.22   | 1.66  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 79  | UNSAT 0.09   | < 0.01   | 0.45    | 0.04   | 0.22   | 2.08  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 80  | UNSAT 0.07   | < 0.01   | 0.66    | 4.12   | 0.23   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 81  | UNSAT 0.03   | < 0.01   | 0.43    | 0.06   | 0.22   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 82  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.61    | 0.03   | 0.22   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 83  | UNSAT 24.2   | 83.5     | -       | -      | 0.83   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 84  | UNSAT < 0.01 | < 0.01   | 0.56    | 0.10   | 0.22   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 85  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.47    | 0.05   | 0.21   | 3.08  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 86  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.44    | 0.03   | 0.23   | 1.83  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 87  | UNSAT 0.04   | < 0.01   | 0.44    | 0.05   | 0.22   | 1.38  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 88  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.54    | 0.16   | 0.22   | 1.78  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 89  | UNSAT 0.07   | < 0.01   | 0.27    | 0.04   | 0.22   | 1.50  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 90  | UNSAT 13.7   | 17.3     | 75.5    | 7.88   | 0.57   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 91  | UNSAT 2.18   | 9.03     | 3.28    | 3.26   | 0.55   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 92  | UNSAT 3.03   | 14.1     | 5.10    | 3.50   | 0.44   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 93  | UNSAT 1.49   | 7.02     | 0.71    | 3.01   | 0.24   | 6.70  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 94  | UNSAT 1.26   | 7.02     | 1.05    | 2.29   | 0.28   | 5.18  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 95  | UNSAT 0.69   | 6.01     | 0.21    | 1.73   | 0.20   | 4.81  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 96  | UNSAT 0.06   | < 0.01   | 0.15    | 0.06   | 0.21   | 1.82  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 97  | UNSAT 0.05   | < 0.01   | 0.17    | 0.04   | 0.22   | 1.93  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 98  | UNSAT 0.08   | < 0.01   | 0.16    | < 0.01 | 0.21   | 2.04  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 99  | UNSAT 2.40   | 8.03     | 2.46    | 3.25   | 0.43   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 100 | UNSAT 2.29   | 8.02     | 2.88    | 3.23   | 0.36   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 101 | UNSAT 2.12   | 8.02     | 2.45    | 3.15   | 0.42   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 102 | UNSAT 0.62   | 6.01     | 0.17    | 1.75   | 0.02   | 6.07  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 103 | UNSAT 1.53   | 7.02     | 0.61    | 2.51   | 0.22   | 5.37  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 104 | UNSAT 0.65   | 6.02     | 0.17    | 1.74   | 0.22   | 5.20  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 105 | UNSAT 0.64   | 6.01     | 0.23    | 1.80   | 0.22   | 5.58  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 106 | UNSAT 0.65   | 6.02     | 0.38    | 1.75   | 0.24   | 4.47  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 107 | UNSAT 0.66   | 6.01     | 0.18    | 1.78   | 0.01   | 3.87  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 108 | UNSAT 1.52   | 7.02     | 0.86    | 2.99   | 0.22   | 5.29  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 109 | UNSAT 1.63   | 8.03     | 1.45    | 3.12   | 0.51   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 110 | UNSAT 1.53   | 7.02     | 1.36    | 3.08   | 0.38   | 6.90  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 111 | UNSAT 1.99   | 7.02     | 0.73    | 3.00   | 0.26   | 99.1  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 112 | UNSAT 1.24   | 7.02     | 0.56    | 2.26   | 0.23   | 5.87  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 113 | UNSAT 1.57   | 7.02     | 0.82    | 2.99   | 0.24   | 91.7  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 114 | UNSAT 0.63   | 7.02     | 0.19    | 1.76   | 0.20   | 4.99  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 115 | UNSAT 1.19   | 7.02     | 0.53    | 2.29   | 0.22   | 5.23  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 116 | UNSAT 1.32   | 7.02     | 0.81    | 2.30   | 0.21   | 4.62  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 117 | UNSAT 2.10   | 8.04     | 2.09    | 2.79   | 0.24   | 94.6  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 118 | UNSAT 2.17   | 10.0     | 3.00    | 3.23   | 0.51   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 119 | UNSAT 2.55   | 8.03     | 2.14    | 3.22   | 0.59   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 120 | UNSAT 1.51   | 7.02     | 0.65    | 2.96   | 0.22   | 6.72  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 121 | UNSAT 0.96   | 7.02     | 0.19    | 2.06   | 0.21   | 4.54  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 122 | UNSAT 1.53   | 7.02     | 0.77    | 3.03   | 0.22   | 7.12  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 123 | UNSAT 1.49   | 7.02     | 0.62    | 3.00   | 0.22   | 4.94  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 124 | UNSAT 0.63   | 7.02     | 0.21    | 1.75   | 0.27   | 5.02  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 125 | UNSAT 1.95   | 7.02     | 0.76    | 2.99   | 0.23   | 5.06  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 126 | UNSAT 2.58   | 9.04     | 3.53    | 3.30   | 0.42   | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 127 | UNSAT 2.01   | 7.02     | 1.33    | 2.79   | 0.25   | 5.65  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 128 | UNSAT 1.49   | 7.03     | 0.89    | 2.56   | 0.25   | 4.99  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 129 | UNSAT 1.45   | 7.02     | 0.50    | 2.53   | 0.21   | 4.68  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 130 | UNSAT 1.54   | 7.02     | 0.65    | 2.98   | 0.21   | 5.16  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 131 | UNSAT 1.25   | 7.02     | 0.74    | 2.24   | 0.23   | 5.39  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 132 | UNSAT 0.94   | 7.02     | 0.19    | 2.05   | < 0.01 | 3.89  | -    | -   | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category | Id         | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat  | NSAT | NNen | NNV | FastBaT |
|----------|------------|--------|----------|---------|------|-------|--------|------|------|-----|---------|
| 2023     | Acasxu 133 | UNSAT  | 1.22     | 7.02    | 0.65 | 2.22  | 0.23   | 4.52 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 134 | UNSAT  | 1.54     | 7.02    | 0.29 | 2.97  | < 0.01 | 3.36 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 135 | UNSAT  | 3.32     | 8.03    | 10.7 | 3.54  | 0.44   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 136 | UNSAT  | 2.60     | 8.03    | 2.74 | 3.60  | 0.43   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 137 | UNSAT  | 2.08     | 8.03    | 3.27 | 3.34  | 0.36   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 138 | UNSAT  | 1.54     | 7.02    | 0.92 | 3.09  | 0.22   | 76.5 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 139 | UNSAT  | 1.32     | 7.02    | 1.14 | 2.37  | 0.35   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 140 | UNSAT  | 1.23     | 7.03    | 0.95 | 2.32  | 0.29   | 5.76 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 141 | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 0.15 | 0.06  | 0.22   | 1.85 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 142 | UNSAT  | 0.05     | < 0.01  | 0.19 | 0.06  | 0.20   | 1.29 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 143 | UNSAT  | 0.08     | < 0.01  | 0.22 | 0.01  | 0.20   | 1.42 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 144 | UNSAT  | 1.54     | 7.02    | 0.89 | 3.01  | 0.27   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 145 | UNSAT  | 1.51     | 7.02    | 0.91 | 2.60  | 0.30   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 146 | UNSAT  | 1.23     | 7.02    | 0.90 | 2.28  | 0.22   | 5.40 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 147 | UNSAT  | 1.53     | 7.02    | 0.61 | 2.96  | 0.21   | 4.75 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 148 | UNSAT  | 1.55     | 7.02    | 0.66 | 2.59  | 0.24   | 5.17 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 149 | UNSAT  | 1.54     | 7.02    | 0.69 | 2.55  | 0.22   | 6.11 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 150 | UNSAT  | 1.47     | 7.02    | 0.50 | 2.50  | 0.22   | 4.97 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 151 | UNSAT  | 1.96     | 7.02    | 0.75 | 3.04  | 0.27   | 95.3 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 152 | UNSAT  | 0.69     | 6.01    | 0.20 | 1.78  | 0.01   | 4.31 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 153 | UNSAT  | 1.50     | 7.02    | 1.13 | 3.03  | 0.24   | 5.16 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 154 | UNSAT  | 1.54     | 7.03    | 0.91 | 2.61  | 0.29   | 4.77 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 155 | UNSAT  | 0.94     | 7.02    | 0.20 | 2.05  | 0.21   | 4.16 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 156 | UNSAT  | 1.22     | 7.03    | 0.57 | 2.21  | 0.21   | 4.53 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 157 | UNSAT  | 1.53     | 8.03    | 0.67 | 3.00  | 0.25   | 5.47 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 158 | UNSAT  | 1.95     | 7.03    | 0.67 | 3.01  | 0.22   | 6.12 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 159 | UNSAT  | 1.50     | 7.02    | 0.54 | 2.50  | 0.23   | 4.45 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 160 | UNSAT  | 1.55     | 7.02    | 0.86 | 2.59  | 0.29   | 72.1 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 161 | UNSAT  | 1.53     | 7.02    | 0.68 | 2.99  | 0.33   | 5.89 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 162 | UNSAT  | 0.69     | 7.02    | 0.21 | 1.78  | 0.21   | 4.17 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 163 | UNSAT  | 1.95     | 7.03    | 0.63 | 2.98  | 0.23   | 5.28 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 164 | UNSAT  | 1.50     | 7.02    | 0.77 | 2.55  | 0.23   | 4.97 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 165 | UNSAT  | 1.51     | 7.02    | 0.64 | 3.00  | 0.24   | 80.9 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 166 | UNSAT  | 1.52     | 7.02    | 0.51 | 2.54  | 0.22   | 6.81 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 167 | UNSAT  | 1.52     | 7.02    | 0.50 | 2.52  | 0.21   | 5.02 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 168 | UNSAT  | 1.26     | 7.02    | 0.75 | 2.28  | 0.21   | 5.45 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 169 | UNSAT  | 1.52     | 7.03    | 0.63 | 2.99  | 0.22   | 5.56 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 170 | UNSAT  | 1.50     | 7.03    | 0.54 | 2.54  | 0.22   | 4.82 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 171 | UNSAT  | 1.49     | 7.02    | 0.54 | 3.01  | 0.22   | 4.99 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 172 | UNSAT  | 1.53     | 7.02    | 0.50 | 2.92  | 0.21   | 4.49 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 173 | UNSAT  | 1.52     | 7.02    | 0.65 | 2.96  | 0.23   | 4.63 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 174 | UNSAT  | 1.17     | 7.02    | 0.51 | 2.24  | 0.23   | 4.52 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 175 | UNSAT  | 1.60     | 7.02    | 0.59 | 2.98  | 0.22   | 5.34 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 176 | UNSAT  | 0.65     | 7.02    | 0.22 | 1.75  | 0.23   | 4.66 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 177 | UNSAT  | 0.95     | 7.02    | 0.21 | 2.06  | 0.22   | 5.01 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 178 | UNSAT  | 1.50     | 7.02    | 0.68 | 2.54  | 0.22   | 5.73 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 179 | UNSAT  | 1.23     | 7.02    | 0.56 | 2.25  | 0.22   | 5.00 | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 180 | UNSAT  | 22.1     | -       | 81.4 | 9.82  | 0.95   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 181 | UNSAT  | 14.3     | -       | 30.2 | 3.34  | 3.74   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 182 | UNSAT  | ✗        | 62.7    | -    | 5.16  | 30.6   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 183 | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 3.30 | 4.46  | 0.27   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 184 | UNSAT  | 6.63     | 106     | 16.6 | 4.55  | 2.05   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Acasxu 185 | UNSAT  | 5.68     | 24.1    | 3.43 | 3.57  | 0.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 0     | UNSAT  | 1.73     | < 0.01  | 2.75 | 0.52  | 9.98   | 2.37 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 1     | UNSAT  | 1.70     | < 0.01  | 0.35 | 0.47  | 31.1   | 2.42 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 2     | UNSAT  | 1.72     | < 0.01  | 2.28 | 0.46  | 13.7   | 2.13 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 3     | UNSAT  | 5.68     | -       | 10.6 | 16.4  | 24.9   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 4     | UNSAT  | 1.72     | < 0.01  | 1.76 | 0.45  | 10.2   | 2.14 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 5     | UNSAT  | 8.02     | -       | 13.1 | 810   | 53.8   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 6     | UNSAT  | 1.70     | < 0.01  | 0.21 | 0.42  | 0.94   | 2.46 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 7     | UNSAT  | 1.75     | < 0.01  | 0.30 | 0.45  | 14.7   | 2.08 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 8     | UNSAT  | 13.6     | -       | 71.6 | -     | 159    | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 9     | UNSAT  | 8.80     | -       | 21.4 | -     | 39.4   | 98.1 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 10    | UNSAT  | 1.69     | 0.01    | 0.26 | 0.46  | 0.95   | 2.47 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 11    | UNSAT  | 1.74     | < 0.01  | 0.23 | 0.44  | 0.87   | 2.64 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 12    | UNSAT  | 9.95     | -       | 19.5 | -     | 30.0   | 28.0 | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 13    | UNSAT  | 9.56     | -       | 48.2 | -     | 57.1   | 137  | -    | -   | -       |
| 2023     | Cgan 14    | UNSAT  | 1.72     | < 0.01  | 0.24 | 0.47  | 1.30   | 2.15 | -    | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category |         | Id         | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT | Nen  | NNV | FastBaT |  |
|----------|---------|------------|--------|----------|---------|------|-------|-------|------|------|-----|---------|--|
| 2023     | Cgan    | 15         | UNSAT  | 1.75     | <       | 0.01 | 0.26  | 0.48  | 55.6 | 2.33 | -   |         |  |
| 2023     | Cgan    | 16         | UNSAT  | 5.89     | -       |      | 10.5  | 22.3  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Cgan    | 17         | UNSAT  | 1.73     | <       | 0.01 | 0.24  | 0.43  | 7.89 | 2.15 | -   |         |  |
| 2023     | Cgan    | 18         | UNSAT  | 5.07     | -       |      | 9.25  | -     | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Cgan    | 19         | UNSAT  | 9.44     | 1.01    | -    | -     | -     | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Cgan    | 20         | UNSAT  | 9.39     | 1.01    | -    | -     | -     | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 0  | UNSAT  | 1.50     | 0.01    | 0.43 | 0.47  | 0.71  |      | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 1  | UNSAT  | 1.53     | <       | 0.01 | 0.46  | 3.34  | 0.75 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 2  | UNSAT  | 3.13     | 8.02    | 0.81 | 1.78  | 0.68  |      | 2.25 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 3  | UNSAT  | 3.10     | 7.02    | 0.81 | 1.75  | 0.76  |      | 1.78 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 4  | UNSAT  | 1.54     | <       | 0.01 | 0.46  | 3.32  | 0.68 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 5  | UNSAT  | 3.14     | 9.13    | 0.80 | 1.96  | 0.75  |      | 2.47 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 6  | UNSAT  | 1.50     | <       | 0.01 | 0.44  | 3.36  | 0.87 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 7  | UNSAT  | 3.25     | 10.1    | 0.82 | 1.93  | 0.70  |      | 2.45 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 8  | UNSAT  | 3.09     | 8.03    | 0.82 | 1.76  | 0.77  |      | 2.18 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 9  | UNSAT  | 3.11     | 7.02    | 0.80 | 1.76  | 0.75  |      | 2.12 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 10 | UNSAT  | 1.52     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.69  |      | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 11 | UNSAT  | 1.54     | <       | 0.01 | 0.47  | 0.42  | 0.73 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 12 | UNSAT  | 3.08     | 10.1    | 0.83 | 1.75  | 0.74  |      | 2.82 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 13 | UNSAT  | 3.12     | 9.04    | 0.81 | 1.78  | 0.76  |      | 3.22 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 14 | UNSAT  | 3.27     | 10.2    | 0.84 | 1.91  | 0.70  |      | 3.36 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 15 | UNSAT  | 3.15     | 9.11    | 0.84 | 1.95  | 0.74  |      | 3.35 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 16 | UNSAT  | 3.15     | 7.02    | 0.90 | 1.76  | 0.73  |      | 3.29 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 17 | UNSAT  | 1.52     | <       | 0.01 | 0.51  | 4.55  | 0.71 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 18 | UNSAT  | 3.09     | 7.02    | 0.81 | 1.77  | 0.70  |      | 2.00 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 19 | UNSAT  | 1.57     | <       | 0.01 | 0.45  | 0.42  | 7.39 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 20 | UNSAT  | 1.53     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.44  | 0.77 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 21 | UNSAT  | 1.53     | <       | 0.01 | 0.45  | 0.48  | 0.76 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 22 | UNSAT  | 1.56     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.45  | 0.73 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 23 | UNSAT  | 1.55     | <       | 0.01 | 0.46  | 4.20  | 0.79 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 24 | UNSAT  | 3.09     | 10.0    | 0.83 | 1.81  | 0.72  |      | 2.35 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 25 | UNSAT  | 3.22     | 10.0    | 0.84 | 1.77  | 0.68  |      | 2.56 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 26 | UNSAT  | 3.25     | 14.1    | 0.85 | 1.96  | 0.78  |      | 2.44 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 27 | UNSAT  | 3.16     | 10.0    | 0.94 | 1.94  | 0.75  |      | 2.63 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 28 | UNSAT  | 1.53     | <       | 0.01 | 0.44  | 3.73  | 0.73 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 29 | UNSAT  | 1.55     | <       | 0.01 | 0.46  | 0.42  | 0.72 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 30 | UNSAT  | 3.24     | 10.0    | 0.86 | 1.78  | 0.77  |      | 2.88 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 31 | UNSAT  | 3.09     | 10.0    | 0.86 | 1.82  | 0.79  |      | 2.83 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 32 | UNSAT  | 1.54     | <       | 0.01 | 0.43  | 0.42  | 0.83 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 33 | UNSAT  | 1.57     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.43  | 0.78 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 34 | UNSAT  | 1.57     | <       | 0.01 | 0.53  | 3.32  | 0.73 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 35 | UNSAT  | 3.12     | 14.3    | 0.85 | 1.82  | 0.70  |      | 2.88 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 36 | UNSAT  | 3.28     | 15.2    | 0.88 | 1.92  | 0.93  |      | 2.81 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 37 | UNSAT  | 3.14     | 15.2    | 0.85 | 1.96  | 0.73  |      | 3.08 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 38 | UNSAT  | 3.07     | 10.0    | 0.92 | 1.77  | 0.68  |      | 2.30 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 39 | UNSAT  | 1.57     | <       | 0.01 | 0.46  | 4.53  | 0.78 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 40 | UNSAT  | 3.14     | 10.0    | 0.88 | 1.77  | 0.70  |      | 2.55 | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 41 | UNSAT  | 1.54     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.42  | 0.78 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 42 | UNSAT  | 1.55     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.41  | 0.70 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 43 | UNSAT  | 3.44     | 48.8    | 1.52 | 1.97  | 0.82  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 44 | UNSAT  | 1.56     | <       | 0.01 | 0.44  | 0.42  | 1.09 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 45 | UNSAT  | 3.47     | 51.9    | 1.51 | 1.79  | 0.74  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 46 | UNSAT  | 1.57     | <       | 0.01 | 0.49  | 0.44  | 0.79 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 47 | UNSAT  | 3.48     | 47.0    | 1.50 | 1.94  | 0.95  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 48 | UNSAT  | 3.62     | 48.9    | 1.53 | 1.92  | 0.85  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 49 | UNSAT  | 3.48     | 49.8    | 1.48 | 1.98  | 0.72  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 50 | UNSAT  | 1.52     | <       | 0.01 | 0.45  | 0.47  | 0.75 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 51 | UNSAT  | 1.55     | <       | 0.01 | 0.45  | 0.45  | 0.74 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 52 | UNSAT  | 3.50     | 49.9    | 1.54 | 1.84  | 0.76  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 53 | UNSAT  | 3.66     | 46.9    | 1.58 | 1.95  | 0.93  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 54 | UNSAT  | 1.61     | <       | 0.01 | 0.46  | 0.45  | 3.51 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 55 | UNSAT  | 3.50     | 52.9    | 1.57 | 1.93  | 0.81  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 56 | UNSAT  | 3.55     | 50.8    | 1.57 | 1.96  | 1.03  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 57 | UNSAT  | 1.54     | <       | 0.01 | 0.47  | 0.42  | 0.74 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 58 | UNSAT  | 1.58     | <       | 0.01 | 0.46  | 0.44  | 0.88 | ✗    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 59 | UNSAT  | 3.49     | 47.8    | -    | 1.93  | 0.90  | -    | -    | -   |         |  |
| 2023     | Collins | Rul Cnn 60 | UNSAT  | 3.50     | 50.0    | -    | 1.96  | 1.14  | -    | -    | -   |         |  |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category |         | Id    | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C     | Marab | PyRat  | NSAT | NNe  | NNV | FastBaT |
|----------|---------|-------|--------|----------|---------|--------|-------|--------|------|------|-----|---------|
| 2023     | Collins | Rul   | Cnn    | 61       | UNSAT   | 3.52   | 46.7  | 1.62   | 1.95 | 0.79 | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 0      | UNSAT    | 0.93    | 10.0   | 0.72  | 1.85   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 1      | UNSAT    | 1.50    | -      | 0.74  | 2.25   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 2      | UNSAT    | 0.97    | 13.1   | 0.73  | 1.61   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 3      | UNSAT    | 1.01    | 63.4   | 6.85  | 1.68   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 4      | UNSAT    | 3.07    | 78.6   | 3.48  | 2.34   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 5      | UNSAT    | 0.98    | 8.03   | 0.71  | 1.67   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 6      | UNSAT    | 4.73    | -      | 9.33  | 2.47   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 7      | UNSAT    | 0.06    | < 0.01 | 0.50  | 0.02   | -    | 1.09 | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 8      | UNSAT    | 3.03    | -      | 1.65  | 2.27   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 9      | UNSAT    | 3.03    | -      | 4.98  | 2.31   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 10     | UNSAT    | 1.02    | 13.1   | 0.70  | 1.66   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 11     | UNSAT    | 0.97    | 8.03   | 0.71  | 1.63   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 12     | UNSAT    | 1.58    | 102    | 0.70  | 2.29   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 13     | UNSAT    | 0.96    | 8.03   | 0.67  | 1.69   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 14     | UNSAT    | 3.05    | 8.03   | 1.26  | 2.33   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 15     | UNSAT    | 1.47    | 9.04   | 1.68  | 2.30   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 16     | UNSAT    | 0.96    | 8.02   | 0.71  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 17     | UNSAT    | 0.97    | 8.03   | 0.71  | 1.61   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 18     | UNSAT    | 0.99    | 8.02   | 0.73  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 19     | UNSAT    | 0.98    | 8.03   | 0.72  | 1.66   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 20     | UNSAT    | 1.59    | 117    | 1.30  | 2.26   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 21     | UNSAT    | 0.94    | 8.03   | 0.70  | 1.63   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 22     | UNSAT    | 0.01    | < 0.01 | 1.21  | < 0.01 | -    | 1.25 | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 23     | UNSAT    | 0.96    | 8.02   | 0.78  | 1.63   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 24     | UNSAT    | 1.00    | 8.03   | 0.69  | 1.65   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 25     | UNSAT    | 0.96    | 8.03   | 0.73  | 1.66   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 26     | UNSAT    | 3.93    | -      | 1.63  | 2.32   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 27     | UNSAT    | 12.4    | -      | -     | -      | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 28     | UNSAT    | 0.96    | 8.03   | 0.69  | 1.61   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 29     | UNSAT    | 1.71    | 105    | 0.72  | 2.25   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 30     | UNSAT    | 3.03    | -      | 7.07  | 2.33   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 31     | UNSAT    | 1.61    | 42.3   | 2.07  | 2.29   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 32     | UNSAT    | 2.97    | -      | 1.37  | 2.28   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 33     | UNSAT    | 3.05    | 121    | 1.69  | 2.30   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 34     | UNSAT    | 0.96    | 10.0   | 0.70  | 1.67   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 35     | UNSAT    | 1.50    | 80.5   | 0.73  | 2.30   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 36     | UNSAT    | 3.03    | 134    | 2.73  | 2.31   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 37     | UNSAT    | 3.05    | 9.03   | 1.39  | 2.28   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 38     | UNSAT    | 0.98    | 8.03   | 0.69  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 39     | UNSAT    | 0.97    | 9.04   | 0.74  | 1.66   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 40     | UNSAT    | 0.96    | 9.03   | 1.87  | 1.67   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 41     | UNSAT    | 0.99    | 8.03   | 0.77  | 1.63   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 42     | UNSAT    | 0.97    | 8.03   | 0.71  | 1.68   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 43     | UNSAT    | 0.03    | < 0.01 | 0.51  | 0.04   | -    | 0.94 | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 44     | UNSAT    | 0.09    | < 0.01 | 0.50  | 0.03   | -    | 1.06 | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 45     | UNSAT    | 3.06    | -      | 0.72  | 2.28   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 46     | UNSAT    | 0.94    | 8.03   | 0.72  | 1.66   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 47     | UNSAT    | 1.72    | 8.03   | 0.71  | 2.29   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 48     | UNSAT    | 0.94    | 8.03   | 0.69  | 1.65   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 49     | UNSAT    | 1.74    | 159    | 0.70  | 2.26   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 50     | UNSAT    | 1.00    | 8.03   | 0.77  | 1.67   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 51     | UNSAT    | 0.98    | 8.03   | 0.70  | 1.62   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 52     | UNSAT    | 0.95    | 8.03   | 0.71  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 53     | UNSAT    | 0.99    | 8.03   | 0.69  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 54     | UNSAT    | 0.08    | 2.02   | 142   | 0.39   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 55     | UNSAT    | 0.97    | 8.03   | 0.71  | 1.66   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 56     | UNSAT    | 4.05    | -      | 4.41  | 2.36   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 57     | UNSAT    | 1.48    | 14.1   | 1.34  | 2.27   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 58     | UNSAT    | 0.95    | 8.03   | 0.70  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 59     | UNSAT    | 0.99    | 8.03   | 0.71  | 1.64   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 60     | UNSAT    | 0.97    | 8.03   | 0.71  | 1.68   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 61     | UNSAT    | 0.99    | 8.03   | 0.69  | 1.65   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 62     | UNSAT    | 1.45    | 46.3   | 0.70  | 2.31   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 63     | UNSAT    | 1.51    | 16.1   | 0.72  | 2.28   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 64     | UNSAT    | 1.60    | 16.1   | 10.2  | 2.31   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 65     | UNSAT    | 1.86    | 13.1   | 2.82  | 3.19   | -    | -    | -   | -       |
| 2023     | Dist    | Shift | 66     | UNSAT    | 9.61    | -      | 23.5  | 3.46   | -    | -    | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category        | Id | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT | NEn | NNV | FastBaT |
|-----------------|----|--------|----------|---------|------|-------|-------|------|-----|-----|---------|
| 2023 Dist Shift | 67 | UNSAT  | 0.97     | 8.03    | 0.71 | 1.65  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Dist Shift | 68 | UNSAT  | 0.95     | 11.0    | 0.68 | 1.68  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Dist Shift | 69 | UNSAT  | 5.35     | -       | 38.1 | 3.41  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Dist Shift | 70 | UNSAT  | 0.92     | 8.02    | 0.70 | 1.64  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Dist Shift | 71 | UNSAT  | 1.42     | 12.1    | 0.72 | 2.29  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 0  | UNSAT  | 29.0     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 1  | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 2  | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 3  | UNSAT  | 2.22     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 4  | UNSAT  | 2.30     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 5  | UNSAT  | 2.15     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 6  | UNSAT  | 2.17     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 7  | UNSAT  | 2.60     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 8  | UNSAT  | 2.12     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 9  | UNSAT  | 2.18     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 10 | UNSAT  | 2.12     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 11 | UNSAT  | 2.21     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 12 | UNSAT  | 2.18     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 13 | UNSAT  | 2.11     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 14 | UNSAT  | 2.19     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 15 | UNSAT  | 7.92     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 16 | UNSAT  | 2.19     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 17 | UNSAT  | 2.14     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 18 | UNSAT  | 2.10     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 19 | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 20 | UNSAT  | 2.48     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 21 | UNSAT  | 0.66     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Ml4acopf   | 22 | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 0  | UNSAT  | 2.36     | 7.02    | 0.18 | 4.36  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 1  | UNSAT  | 2.34     | 7.02    | 0.35 | 3.55  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 2  | UNSAT  | 0.81     | 7.02    | 0.28 | 3.10  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 3  | UNSAT  | 2.42     | 7.02    | 0.23 | 3.55  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 4  | UNSAT  | 0.82     | 7.02    | 0.19 | 3.10  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 5  | UNSAT  | 1.90     | -       | -    | 4.83  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 6  | UNSAT  | 3.88     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 7  | UNSAT  | 2.37     | 7.02    | 0.27 | 3.62  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 8  | UNSAT  | 3.92     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 9  | UNSAT  | 0.82     | 7.02    | 0.23 | 3.10  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 10 | UNSAT  | 3.92     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 11 | UNSAT  | 2.37     | 7.02    | 0.25 | 3.59  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 12 | UNSAT  | 0.83     | 7.02    | 0.14 | 3.10  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 13 | UNSAT  | 0.84     | 7.02    | 0.16 | 3.05  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 14 | UNSAT  | 3.87     | -       | -    | 5.54  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 15 | UNSAT  | 0.83     | 7.02    | 0.15 | 3.08  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 16 | UNSAT  | 3.91     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 17 | UNSAT  | 2.34     | 7.02    | 0.27 | 3.60  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 18 | UNSAT  | 0.84     | 7.02    | 0.20 | 3.08  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 19 | UNSAT  | 0.82     | 7.02    | 0.23 | 3.09  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 20 | UNSAT  | 0.83     | 7.02    | 0.23 | 3.06  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 21 | UNSAT  | 2.36     | 8.03    | 0.24 | 3.83  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 22 | UNSAT  | 0.85     | 7.02    | 0.14 | 3.09  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 23 | UNSAT  | 3.92     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 24 | UNSAT  | 1.91     | -       | -    | 4.81  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 25 | UNSAT  | 2.37     | 7.02    | 0.17 | 3.57  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 26 | UNSAT  | 3.93     | -       | -    | 5.57  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 27 | UNSAT  | 2.33     | 7.02    | 0.17 | 3.55  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 28 | UNSAT  | 1.89     | -       | -    | 4.85  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 29 | UNSAT  | 0.82     | 7.02    | 0.17 | 3.09  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 30 | UNSAT  | 0.86     | 7.02    | 0.16 | 3.07  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 31 | UNSAT  | 2.45     | 7.02    | 0.25 | 3.58  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 32 | UNSAT  | 2.40     | 8.03    | 0.24 | 3.88  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 33 | UNSAT  | 2.44     | 8.03    | 0.32 | 3.83  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 34 | UNSAT  | 2.40     | 8.03    | 0.21 | 3.83  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 35 | UNSAT  | 6.28     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 36 | UNSAT  | 6.11     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 37 | UNSAT  | 6.34     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023 Nn4sys     | 38 | UNSAT  | 6.27     | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗)。

| Category | Id     | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT | NEn | NNV | FastBaT |
|----------|--------|--------|----------|---------|------|-------|-------|------|-----|-----|---------|
| 2023     | Nn4sys | 39     | UNSAT    | 6.70    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 40     | UNSAT    | 6.46    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 41     | UNSAT    | 5.99    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 42     | UNSAT    | 6.40    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 43     | UNSAT    | 6.74    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 44     | UNSAT    | 6.32    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 45     | UNSAT    | 6.35    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 46     | UNSAT    | 6.28    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 47     | UNSAT    | 6.53    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 48     | UNSAT    | 6.25    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 49     | UNSAT    | 6.36    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 50     | UNSAT    | 6.53    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 51     | UNSAT    | 6.67    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 52     | UNSAT    | 6.22    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 53     | UNSAT    | 6.44    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 54     | UNSAT    | 6.68    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 55     | UNSAT    | 6.25    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 56     | UNSAT    | 7.01    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 57     | UNSAT    | 6.16    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 58     | UNSAT    | 6.18    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 59     | UNSAT    | 6.25    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 60     | UNSAT    | 6.19    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 61     | UNSAT    | 6.45    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 62     | UNSAT    | 6.47    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 63     | UNSAT    | 6.59    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 64     | UNSAT    | 6.06    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 65     | UNSAT    | 6.43    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 66     | UNSAT    | 6.12    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 67     | UNSAT    | 6.45    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 68     | UNSAT    | 6.43    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 69     | UNSAT    | 6.40    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 70     | UNSAT    | 6.47    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 71     | UNSAT    | 6.77    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 72     | UNSAT    | 6.78    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 73     | UNSAT    | 6.79    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 74     | UNSAT    | 6.48    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 75     | UNSAT    | 6.69    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 76     | UNSAT    | 6.97    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 77     | UNSAT    | 6.72    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 78     | UNSAT    | 6.73    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 79     | UNSAT    | 7.31    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 80     | UNSAT    | 6.69    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 81     | UNSAT    | 6.72    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 82     | UNSAT    | 6.47    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 83     | UNSAT    | 6.94    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 84     | UNSAT    | 6.75    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 85     | UNSAT    | 6.77    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 86     | UNSAT    | 6.71    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 87     | UNSAT    | 6.65    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 88     | UNSAT    | 6.37    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 89     | UNSAT    | 6.64    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 90     | UNSAT    | 6.61    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 91     | UNSAT    | 7.23    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 92     | UNSAT    | 6.41    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 93     | UNSAT    | 6.64    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 94     | UNSAT    | 6.37    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 95     | UNSAT    | 6.42    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 96     | UNSAT    | 6.60    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 97     | UNSAT    | 6.38    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 98     | UNSAT    | 6.49    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 99     | UNSAT    | 6.54    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 100    | UNSAT    | 6.63    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 101    | UNSAT    | 6.39    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 102    | UNSAT    | 6.77    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 103    | UNSAT    | 6.57    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 104    | UNSAT    | 6.76    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 105    | UNSAT    | 0.09    | 6.02 | 0.36  | 1.55  | 0.02 | -   | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys | 106    | UNSAT    | 0.09    | 7.02 | 0.35  | 1.58  | 0.03 | -   | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (X) 。

| Category | Id     | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C | Marab | PyRat | NSAT | NNe  | NNV  | FastBaT |
|----------|--------|--------|----------|---------|----|-------|-------|------|------|------|---------|
| 2023     | Nn4sys | 107    | UNSAT    | 0.29    |    | 21.1  | 13.3  | 1.07 | 0.43 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 108    | UNSAT    | 0.22    |    | 44.3  | 16.2  | 1.56 | 0.52 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 109    | UNSAT    | 0.24    |    | 36.2  | 24.8  | 1.47 | 0.83 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 110    | UNSAT    | 0.24    |    | 81.5  | 31.1  | 1.69 | 0.93 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 111    | UNSAT    | 0.22    |    | 50.3  | 39.1  | 2.42 | 1.22 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 112    | UNSAT    | 0.28    | -  | -     | 48.3  | 2.34 | 1.37 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 113    | UNSAT    | 0.22    |    | 65.4  | 51.4  | 1.78 | 1.61 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 114    | UNSAT    | 0.29    | -  | -     | 63.0  | 2.67 | 1.78 | X    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 115    | UNSAT    | 0.25    |    | 79.5  | 64.9  | 1.97 | 2.00 | 4.08 | -       |
| 2023     | Nn4sys | 116    | UNSAT    | 0.29    | -  | -     | 79.0  | 2.88 | 2.23 | 4.14 | -       |
| 2023     | Nn4sys | 117    | UNSAT    | 0.43    | -  | -     | -     | 4.27 | 5.96 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 118    | UNSAT    | 0.43    | -  | -     | -     | 4.52 | 6.93 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 119    | UNSAT    | 0.50    | -  | -     | -     | 6.64 | 9.88 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 120    | UNSAT    | 0.52    | -  | -     | -     | 7.23 | 11.0 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 121    | UNSAT    | 0.62    | -  | -     | -     | 8.74 | 13.9 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 122    | UNSAT    | 0.59    | -  | -     | -     | 9.58 | 15.4 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 123    | UNSAT    | 0.77    | -  | -     | -     | 10.8 | 17.7 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 124    | UNSAT    | 0.81    | -  | -     | -     | 12.2 | 20.0 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 125    | UNSAT    | 0.75    | -  | -     | -     | 12.1 | 20.3 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 126    | UNSAT    | 0.80    | -  | -     | -     | 13.3 | 21.8 | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 127    | UNSAT    | 3.93    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 128    | UNSAT    | 4.08    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 129    | UNSAT    | 1.98    | -  | -     | 0.42  | 3.77 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 130    | UNSAT    | 2.46    | -  | -     | -     | 7.43 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 131    | UNSAT    | 3.01    | -  | -     | -     | 9.98 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 132    | UNSAT    | 3.46    | -  | -     | -     | 11.8 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 133    | UNSAT    | 5.35    | -  | -     | -     | 22.1 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 134    | UNSAT    | 6.07    | -  | -     | -     | 27.4 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 135    | UNSAT    | 6.89    | -  | -     | -     | 32.5 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 136    | UNSAT    | 7.49    | -  | -     | -     | 37.4 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 137    | UNSAT    | 2.70    | -  | -     | 3.57  | 5.57 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 138    | UNSAT    | 3.96    | -  | -     | -     | 12.0 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 139    | UNSAT    | 4.03    | -  | -     | -     | 12.7 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 140    | UNSAT    | 3.82    | -  | -     | -     | 14.9 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 141    | UNSAT    | 4.08    | -  | -     | -     | 17.2 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 142    | UNSAT    | 4.21    | -  | -     | -     | 19.0 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 143    | UNSAT    | 4.28    | -  | -     | -     | 20.1 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 144    | UNSAT    | 4.26    | -  | -     | -     | 23.7 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 145    | UNSAT    | 8.56    | -  | -     | -     | 47.5 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 146    | UNSAT    | 9.49    | -  | -     | -     | 59.3 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 147    | UNSAT    | 12.0    | -  | -     | -     | 74.0 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 148    | UNSAT    | 14.0    | -  | -     | -     | 97.3 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 149    | UNSAT    | 15.3    | -  | -     | -     | 96.8 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 150    | UNSAT    | 16.9    | -  | -     | -     | 110  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 151    | UNSAT    | 19.3    | -  | -     | -     | 127  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 152    | UNSAT    | 20.2    | -  | -     | -     | 157  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 153    | UNSAT    | 21.8    | -  | -     | -     | 142  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 154    | UNSAT    | 22.4    | -  | -     | -     | 154  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 155    | UNSAT    | 25.2    | -  | -     | -     | 171  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 156    | UNSAT    | 27.1    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 157    | UNSAT    | 28.5    | -  | -     | -     | 198  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 158    | UNSAT    | 30.3    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 159    | UNSAT    | 33.1    | -  | -     | -     | 259  | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 160    | UNSAT    | 3.75    | -  | -     | 35.9  | 6.32 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 161    | UNSAT    | 5.98    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 162    | UNSAT    | 8.72    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 163    | UNSAT    | 9.94    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 164    | UNSAT    | 19.8    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 165    | UNSAT    | 24.5    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 166    | UNSAT    | 28.9    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 167    | UNSAT    | 33.3    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 168    | UNSAT    | 38.0    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 169    | UNSAT    | 42.6    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 170    | UNSAT    | 46.8    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 171    | UNSAT    | 3.98    | -  | -     | -     | 8.69 | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 172    | UNSAT    | 7.58    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 173    | UNSAT    | 8.89    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |
| 2023     | Nn4sys | 174    | UNSAT    | 10.8    | -  | -     | -     | -    | -    | -    | -       |



Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (X) .

| Category |                           | Id  | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT   | NNe    | NNV | FastBaT |
|----------|---------------------------|-----|--------|----------|---------|------|-------|-------|--------|--------|-----|---------|
| 2023     | Nn4sys                    | 175 | UNSAT  | 12.2     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 176 | UNSAT  | 15.3     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 177 | UNSAT  | 16.9     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 178 | UNSAT  | 17.9     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 179 | UNSAT  | 40.2     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 180 | UNSAT  | 50.0     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 181 | UNSAT  | 59.0     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 182 | UNSAT  | 71.7     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 183 | UNSAT  | 80.6     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 184 | UNSAT  | 93.7     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 185 | UNSAT  | 105      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 186 | UNSAT  | 115      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 187 | UNSAT  | 127      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 188 | UNSAT  | 134      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 189 | UNSAT  | 144      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 190 | UNSAT  | 157      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 191 | UNSAT  | 166      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 192 | UNSAT  | 176      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Nn4sys                    | 193 | UNSAT  | 188      | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 0   | UNSAT  | 0.97     | 8.03    | 13.5 | 2.43  | -     | 399    | 0.01   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 1   | UNSAT  | 1.04     | 7.03    | 7.68 | 2.46  | 1.51  | -      | 0.15   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 2   | UNSAT  | 0.06     | < 0.01  | 0.26 | 0.02  | 0.49  | 1.23   | < 0.01 | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 3   | UNSAT  | 0.97     | 7.02    | 6.49 | 2.43  | 1.52  | -      | 0.11   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 4   | UNSAT  | 0.11     | < 0.01  | 0.32 | 0.06  | 0.71  | 0.71   | 0.04   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 5   | UNSAT  | 0.37     | < 0.01  | -    | 0.19  | 0.96  | 0.21   | 0.19   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 6   | UNSAT  | 0.07     | < 0.01  | 0.35 | 0.05  | 0.64  | < 0.01 | 0.08   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 7   | UNSAT  | 0.09     | < 0.01  | 0.32 | 0.03  | 0.80  | 0.09   | 0.07   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 8   | UNSAT  | 0.26     | < 0.01  | 0.40 | 0.09  | 0.53  | 0.40   | 0.01   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 9   | UNSAT  | 1.82     | -       | 26.7 | 2.93  | -     | -      | 0.08   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 10  | UNSAT  | 1.47     | 29.3    | 9.50 | 2.96  | -     | -      | 0.06   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 11  | UNSAT  | 3.24     | -       | 181  | 3.14  | -     | -      | 0.01   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 12  | UNSAT  | 0.66     | < 0.01  | -    | 0.23  | 1.71  | 1.50   | 0.22   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 13  | UNSAT  | 2.34     | -       | 149  | 3.16  | -     | -      | 0.01   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 14  | UNSAT  | 1.87     | -       | 48.0 | 3.09  | -     | -      | 0.16   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 15  | UNSAT  | 0.66     | < 0.01  | 0.63 | 0.12  | 1.00  | 0.51   | 0.07   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 16  | UNSAT  | 1.64     | < 0.01  | 1.10 | 0.36  | 3.34  | 0.93   | 0.09   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 17  | UNSAT  | 4.87     | 185     | 94.4 | 5.11  | -     | -      | 0.08   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 18  | UNSAT  | 10.9     | -       | -    | 5.50  | -     | -      | 0.02   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 19  | UNSAT  | 5.62     | -       | 250  | 5.32  | -     | -      | 0.41   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 20  | UNSAT  | 3.28     | < 0.01  | -    | 0.73  | 7.47  | 0.74   | 0.45   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 21  | UNSAT  | 3.26     | < 0.01  | 2.60 | 0.72  | 7.49  | 0.66   | 0.20   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 22  | UNSAT  | 9.03     | -       | -    | 7.03  | -     | -      | < 0.01 | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 23  | UNSAT  | 3.24     | < 0.01  | 1.81 | 0.74  | 5.21  | 1.11   | 0.02   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 24  | UNSAT  | 18.9     | -       | -    | 44.9  | -     | -      | 0.03   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 25  | UNSAT  | 6.07     | < 0.01  | 4.07 | 1.40  | 11.1  | 1.16   | 0.03   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 26  | UNSAT  | 6.22     | < 0.01  | 3.67 | 1.40  | 11.3  | 0.95   | 0.03   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 27  | UNSAT  | 6.05     | 0.01    | 3.63 | 1.43  | 12.3  | 1.31   | 0.10   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 28  | UNSAT  | 16.6     | -       | -    | 70.0  | -     | -      | 0.27   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 29  | UNSAT  | 10.6     | 1.01    | -    | 2.38  | -     | -      | 0.01   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 30  | UNSAT  | 10.2     | 1.02    | -    | 2.39  | 25.1  | 1.99   | 0.54   | -   | -       |
| 2023     | Tllverifybench            | 31  | UNSAT  | 16.9     | -       | -    | 72.8  | -     | -      | 0.63   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 0   | UNSAT  | 1.90     | 0.01    | 1.01 | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 1   | UNSAT  | 1.91     | < 0.01  | 1.01 | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 2   | UNSAT  | 1.91     | < 0.01  | 0.95 | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 3   | UNSAT  | 1.90     | < 0.01  | 1.02 | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 4   | UNSAT  | 1.91     | 0.01    | 0.94 | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 5   | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 6   | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 7   | UNSAT  | 2.55     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 8   | UNSAT  | 2.28     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 9   | UNSAT  | 2.18     | -       | -    | -     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 10  | UNSAT  | 2.24     | -       | -    | X     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 11  | UNSAT  | 2.31     | 47.3    | -    | X     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 12  | UNSAT  | 2.22     | 7.06    | -    | X     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 13  | UNSAT  | 1.92     | < 0.01  | -    | X     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 14  | UNSAT  | 1.94     | < 0.01  | -    | X     | -     | -      | -      | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 15  | UNSAT  | 2.83     | -       | -    | X     | -     | -      | -      | -   | -       |



Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (X )。

| Category |                           | Id | Result | $\alpha$ | $\beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT | NNe | NNV | FastBaT |
|----------|---------------------------|----|--------|----------|---------|------|-------|-------|------|-----|-----|---------|
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 16 | UNSAT  | 2.42     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 17 | UNSAT  | 2.34     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 18 | UNSAT  | 2.35     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 19 | UNSAT  | 2.36     | 276     | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 20 | UNSAT  | 2.50     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 21 | UNSAT  | 2.33     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 22 | UNSAT  | 2.30     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 23 | UNSAT  | 2.33     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 24 | UNSAT  | 2.33     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 25 | UNSAT  | 2.03     | < 0.01  | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 26 | UNSAT  | 2.04     | < 0.01  | 3.67 | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 27 | UNSAT  | 2.05     | < 0.01  | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 28 | UNSAT  | 1.99     | < 0.01  | 3.66 | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 29 | UNSAT  | 1.99     | < 0.01  | 3.63 | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 30 | UNSAT  | 2.63     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 31 | UNSAT  | 2.60     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 32 | UNSAT  | 2.59     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 33 | UNSAT  | 2.54     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 34 | UNSAT  | 2.56     | 9.07    | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 35 | UNSAT  | -        | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 36 | UNSAT  | 3.39     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 37 | UNSAT  | 3.04     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 38 | UNSAT  | 2.80     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 39 | UNSAT  | 2.63     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 40 | UNSAT  | 2.57     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 41 | UNSAT  | 2.62     | -       | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 42 | UNSAT  | 2.59     | 121     | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 43 | UNSAT  | 2.58     | 21.1    | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Traffic Signs Recognition | 44 | UNSAT  | 2.21     | 1.01    | -    | -     | X     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 0  | UNSAT  | 9.46     | 30.5    | 63.1 | 50.9  | 33.2  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 1  | UNSAT  | 9.41     | 211     | 63.1 | 51.0  | 29.7  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 2  | UNSAT  | 9.40     | -       | 68.2 | -     | 33.0  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 3  | UNSAT  | 9.27     | -       | 69.7 | 50.9  | 30.9  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 4  | UNSAT  | 9.28     | -       | 73.3 | -     | 37.0  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 5  | UNSAT  | 9.36     | -       | 85.5 | -     | 52.7  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 6  | UNSAT  | 9.30     | -       | 75.8 | 50.8  | 32.0  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 7  | UNSAT  | 9.41     | -       | 77.1 | -     | 42.4  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 8  | UNSAT  | 11.1     | -       | 228  | -     | 121   | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 9  | UNSAT  | 9.45     | -       | 88.2 | 51.2  | 36.8  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 10 | UNSAT  | 9.50     | -       | 101  | -     | 60.8  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 11 | UNSAT  | 9.43     | -       | 115  | -     | 68.3  | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 12 | UNSAT  | 783      | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 13 | UNSAT  | 20.7     | -       | 287  | -     | 229   | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 14 | UNSAT  | 41.8     | -       | -    | -     | 632   | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 15 | UNSAT  | -        | 3.03    | 33.7 | 36.1  | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 16 | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vggnet16                  | 17 | ?      | -        | -       | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 0  | UNSAT  | -        | 12.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 1  | UNSAT  | -        | 12.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 2  | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 3  | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 4  | UNSAT  | -        | 13.1    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 5  | UNSAT  | 9.08     | 14.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 6  | UNSAT  | 7.86     | 13.1    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 7  | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 8  | UNSAT  | -        | 14.3    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 9  | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 10 | UNSAT  | 8.23     | 13.3    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 11 | UNSAT  | 7.80     | 13.1    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 12 | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 13 | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 14 | UNSAT  | -        | 14.1    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 15 | UNSAT  | 11.3     | 13.3    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 16 | UNSAT  | 7.40     | 13.3    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 17 | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 18 | UNSAT  | 17.8     | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |
| 2023     | Vit                       | 19 | UNSAT  | -        | 13.2    | -    | -     | -     | -    | -   | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category | Id | Result | $\alpha - \beta$ | -C | Marab | PyRat | NSAT | NNen | NNV | FastBaT |
|----------|----|--------|------------------|----|-------|-------|------|------|-----|---------|
| 2023 Vit | 20 | UNSAT  | -                |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 21 | UNSAT  | -                |    | 13.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 22 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 23 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 24 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 25 | UNSAT  | 9.17             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 26 | UNSAT  | 19.7             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 27 | UNSAT  | -                |    | 14.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 28 | UNSAT  | -                |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 29 | UNSAT  | -                |    | 14.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 30 | UNSAT  | -                |    | 14.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 31 | UNSAT  | -                |    | 12.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 32 | UNSAT  | 7.42             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 33 | UNSAT  | 9.54             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 34 | UNSAT  | -                |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 35 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 36 | UNSAT  | 9.99             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 37 | UNSAT  | -                |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 38 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 39 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 40 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 41 | UNSAT  | -                |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 42 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 43 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 44 | UNSAT  | -                |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 45 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 46 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 47 | UNSAT  | -                |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 48 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 49 | UNSAT  | 6.94             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 50 | UNSAT  | 20.8             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 51 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 52 | UNSAT  | 11.7             |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 53 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 54 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 55 | UNSAT  | 14.0             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 56 | UNSAT  | 8.19             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 57 | UNSAT  | 11.3             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 58 | UNSAT  | -                |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 59 | UNSAT  | 9.13             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 60 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 61 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 62 | UNSAT  | 18.7             |    | 13.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 63 | UNSAT  | 9.56             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 64 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 65 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 66 | UNSAT  | 9.13             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 67 | UNSAT  | 10.4             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 68 | UNSAT  | -                |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 69 | UNSAT  | 28.4             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 70 | UNSAT  | 7.04             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 71 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 72 | UNSAT  | 10.5             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 73 | UNSAT  | 7.00             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 74 | UNSAT  | -                |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 75 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 76 | UNSAT  | 19.3             |    | 13.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 77 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 78 | UNSAT  | 8.31             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 79 | UNSAT  | 7.46             |    | 14.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 80 | UNSAT  | 10.4             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 81 | UNSAT  | 9.62             |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 82 | UNSAT  | 10.5             |    | 12.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 83 | UNSAT  | 8.64             |    | 13.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 84 | UNSAT  | 6.98             |    | 13.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 85 | UNSAT  | -                |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 86 | UNSAT  | 9.52             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 87 | UNSAT  | 7.83             |    | 13.2  | -     | -    | -    | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

|      | Category | Id  | Result | $\alpha - \beta$ | -C   | Marab | PyRat | NSAT | NNen | NNV | FastBaT |
|------|----------|-----|--------|------------------|------|-------|-------|------|------|-----|---------|
| 2023 | Vit      | 88  | UNSAT  | 9.07             | 14.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 89  | UNSAT  | -                | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 90  | UNSAT  | 9.12             | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 91  | UNSAT  | -                | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 92  | UNSAT  | -                | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 93  | UNSAT  | -                | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 94  | UNSAT  | -                | 14.3 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 95  | UNSAT  | -                | 14.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 96  | UNSAT  | 20.3             | 14.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 97  | UNSAT  | 8.69             | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 98  | UNSAT  | -                | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 99  | UNSAT  | 8.68             | 13.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 100 | UNSAT  | -                | 60.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 101 | UNSAT  | -                | 60.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 102 | UNSAT  | -                | 58.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 103 | UNSAT  | 43.0             | 60.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 104 | UNSAT  | 35.7             | 58.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 105 | UNSAT  | 33.2             | 59.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 106 | UNSAT  | -                | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 107 | UNSAT  | 15.2             | 59.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 108 | UNSAT  | -                | 61.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 109 | UNSAT  | 39.1             | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 110 | UNSAT  | -                | 53.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 111 | UNSAT  | 31.8             | 60.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 112 | UNSAT  | 12.2             | 59.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 113 | UNSAT  | -                | 57.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 114 | UNSAT  | -                | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 115 | UNSAT  | -                | 60.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 116 | UNSAT  | -                | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 117 | UNSAT  | -                | 59.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 118 | UNSAT  | -                | 61.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 119 | UNSAT  | 10.1             | 61.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 120 | UNSAT  | 68.2             | 59.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 121 | UNSAT  | -                | 60.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 122 | UNSAT  | 30.3             | 59.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 123 | UNSAT  | 31.7             | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 124 | UNSAT  | 10.0             | 58.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 125 | UNSAT  | -                | 58.3 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 126 | UNSAT  | -                | 54.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 127 | UNSAT  | 21.3             | 59.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 128 | UNSAT  | -                | 58.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 129 | UNSAT  | -                | 57.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 130 | UNSAT  | -                | 59.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 131 | UNSAT  | -                | 54.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 132 | UNSAT  | -                | 59.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 133 | UNSAT  | 35.8             | 58.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 134 | UNSAT  | -                | 59.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 135 | UNSAT  | 53.9             | 56.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 136 | UNSAT  | 9.04             | 56.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 137 | UNSAT  | -                | 60.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 138 | UNSAT  | -                | 59.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 139 | UNSAT  | -                | 57.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 140 | UNSAT  | 34.7             | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 141 | UNSAT  | -                | 57.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 142 | UNSAT  | 15.2             | 58.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 143 | UNSAT  | -                | 57.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 144 | UNSAT  | -                | 59.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 145 | UNSAT  | -                | 57.2 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 146 | UNSAT  | 11.1             | 58.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 147 | UNSAT  | -                | 54.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 148 | UNSAT  | -                | 61.3 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 149 | UNSAT  | 34.0             | 59.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 150 | UNSAT  | -                | 55.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 151 | UNSAT  | -                | 59.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 152 | UNSAT  | -                | 56.1 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 153 | UNSAT  | 14.2             | 57.9 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 154 | UNSAT  | -                | 62.0 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 | Vit      | 155 | UNSAT  | 12.2             | 61.3 | -     | -     | -    | -    | -   | -       |

Table 41: 实例运行时。最快的时间是 蓝 . 第二快的是 绿 . 处罚是红叉 (✗) 。

| Category | Id  | Result | $\alpha$ - $\beta$ -C | Marab | PyRat | NSAT | NNen | NNV | FastBaT |
|----------|-----|--------|-----------------------|-------|-------|------|------|-----|---------|
| 2023 Vit | 156 | UNSAT  | 34.1                  | 59.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 157 | UNSAT  | 34.8                  | 59.9  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 158 | UNSAT  | -                     | 58.8  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 159 | UNSAT  | -                     | 57.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 160 | UNSAT  | 40.6                  | 58.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 161 | UNSAT  | -                     | 59.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 162 | UNSAT  | 12.3                  | 60.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 163 | UNSAT  | -                     | 58.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 164 | UNSAT  | -                     | 60.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 165 | UNSAT  | 31.8                  | 55.9  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 166 | UNSAT  | -                     | 57.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 167 | UNSAT  | -                     | 60.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 168 | UNSAT  | -                     | 61.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 169 | UNSAT  | -                     | 61.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 170 | UNSAT  | -                     | 57.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 171 | UNSAT  | -                     | 60.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 172 | UNSAT  | 18.3                  | 59.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 173 | UNSAT  | -                     | 60.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 174 | UNSAT  | -                     | 57.9  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 175 | UNSAT  | 14.3                  | 56.8  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 176 | UNSAT  | 14.2                  | 57.8  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 177 | UNSAT  | -                     | 57.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 178 | UNSAT  | 9.13                  | 59.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 179 | UNSAT  | -                     | 60.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 180 | UNSAT  | -                     | 60.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 181 | UNSAT  | -                     | 57.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 182 | UNSAT  | -                     | 62.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 183 | UNSAT  | 12.2                  | 56.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 184 | UNSAT  | 33.3                  | 59.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 185 | UNSAT  | 17.4                  | 56.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 186 | UNSAT  | -                     | 59.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 187 | UNSAT  | -                     | 60.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 188 | UNSAT  | -                     | 58.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 189 | UNSAT  | -                     | 59.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 190 | UNSAT  | 15.3                  | 56.9  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 191 | UNSAT  | -                     | 59.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 192 | UNSAT  | -                     | 56.9  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 193 | UNSAT  | 11.2                  | 61.3  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 194 | UNSAT  | -                     | 57.0  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 195 | UNSAT  | -                     | 56.9  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 196 | UNSAT  | -                     | 60.1  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 197 | UNSAT  | -                     | 59.2  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 198 | UNSAT  | -                     | 53.8  | -     | -    | -    | -   | -       |
| 2023 Vit | 199 | UNSAT  | 34.2                  | 56.0  | -     | -    | -    | -   | -       |