Z3 Theorem Prover

从逻辑推理到大模型时代的神经符号计算

目录

PART 01

Z3 简介与基础

Z3 简介

什么是 SMT 求解器？

Z3 是 Microsoft Research 开发的高性能 **SMT (Satisfiability Modulo Theories)** 求解器。简单来说，它是一个通用的逻辑引擎，用于判断一组数学约束是否存在解。

核心特性

- **多理论支持：** 算术、数组、位向量、浮点数。
- **自动化：** 无需人工干预即可推导结果。
- **开源：** 代码托管于 GitHub，拥有庞大的社区和绑定（Python, C++, .NET, Java）。

PART 02

编译与安装方法

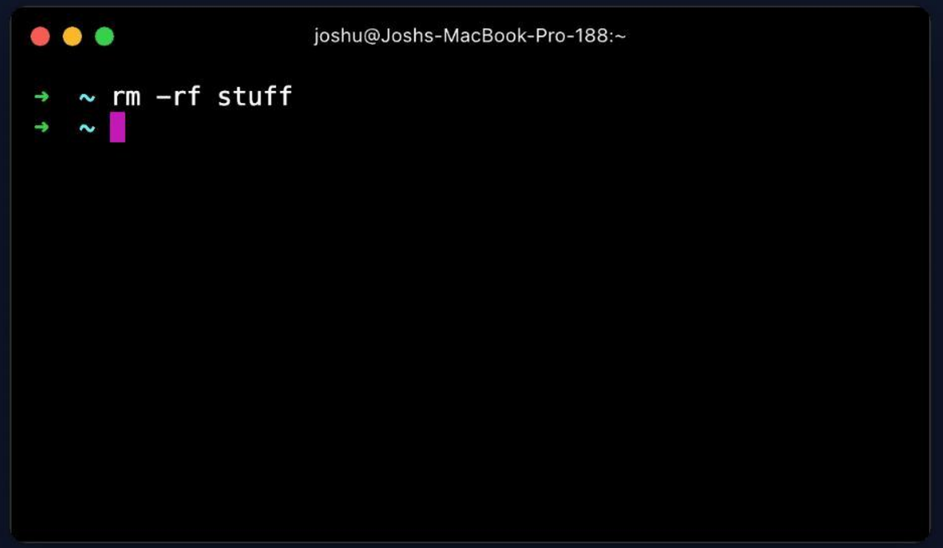
编译与安装

1. 快速安装 (Python)

```
$ pip install z3-solver
# 验证安装
$ python -c "import z3;
  print(z3.get_version_string())"
```

2. 源码编译 (Linux/macOS)

```
$ git clone https://github.com/Z3Prover/z3
$ python scripts/mk_make.py
$ cd build && make
$ sudo make install
```



核心理论能力

算术理论

处理线性与非线性整数/实数算术。非常适合解决数学规划问题和资源分配约束。

位向量 (Bit-Vectors)

精确模拟 CPU 寄存器和内存操作（位移、溢出、异或）。是硬件验证和逆向工程的基础。

数组与函数

支持未解释函数（EUF）和数组理论，用于抽象复杂的系统状态和内存模型。

PART 03

具体应用场景

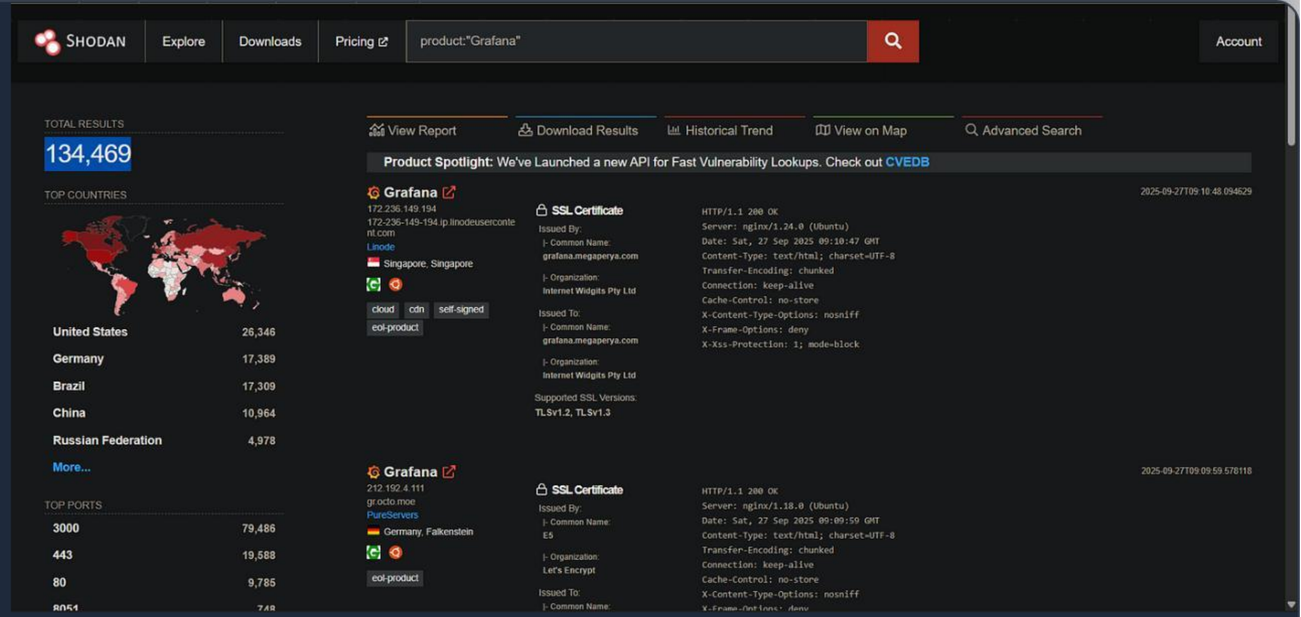
应用 I：软件验证

寻找“不可能”的 Bug：

通过**符号执行 (Symbolic Execution)**，工具如 KLEE 或 Angr 将程序代码转换为 Z3 约束。Z3 可以计算出导致程序崩溃（如除以零、数组越界）的精确输入值。

形式化证明：

在关键系统（航空航天、区块链）中，使用 Dafny 等语言编写规范，Z3 作为后端引擎自动证明代码在数学上是绝对正确的。



应用 II：安全与逆向

CTF 神器

在网络安全竞赛 (CTF) 的逆向题中，经常遇到复杂的校验算法。与其手动逆推，不如将校验逻辑写成 Z3 约束，让求解器自动算出 Flag。

漏洞挖掘

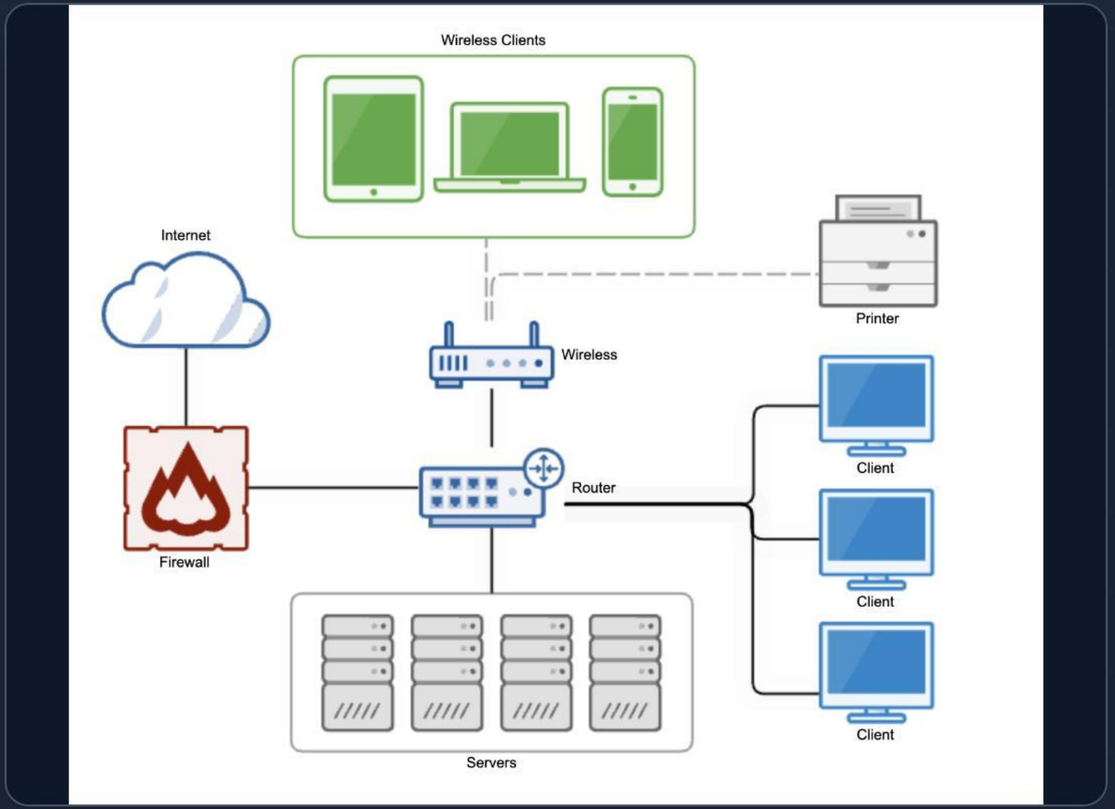
通过污点分析 (Taint Analysis) 追踪用户输入，结合 Z3 求解路径条件，可以自动化生成 Exploit 载荷，验证缓冲区溢出等严重漏洞。

应用 III：云网络验证

Azure Firewall Checker

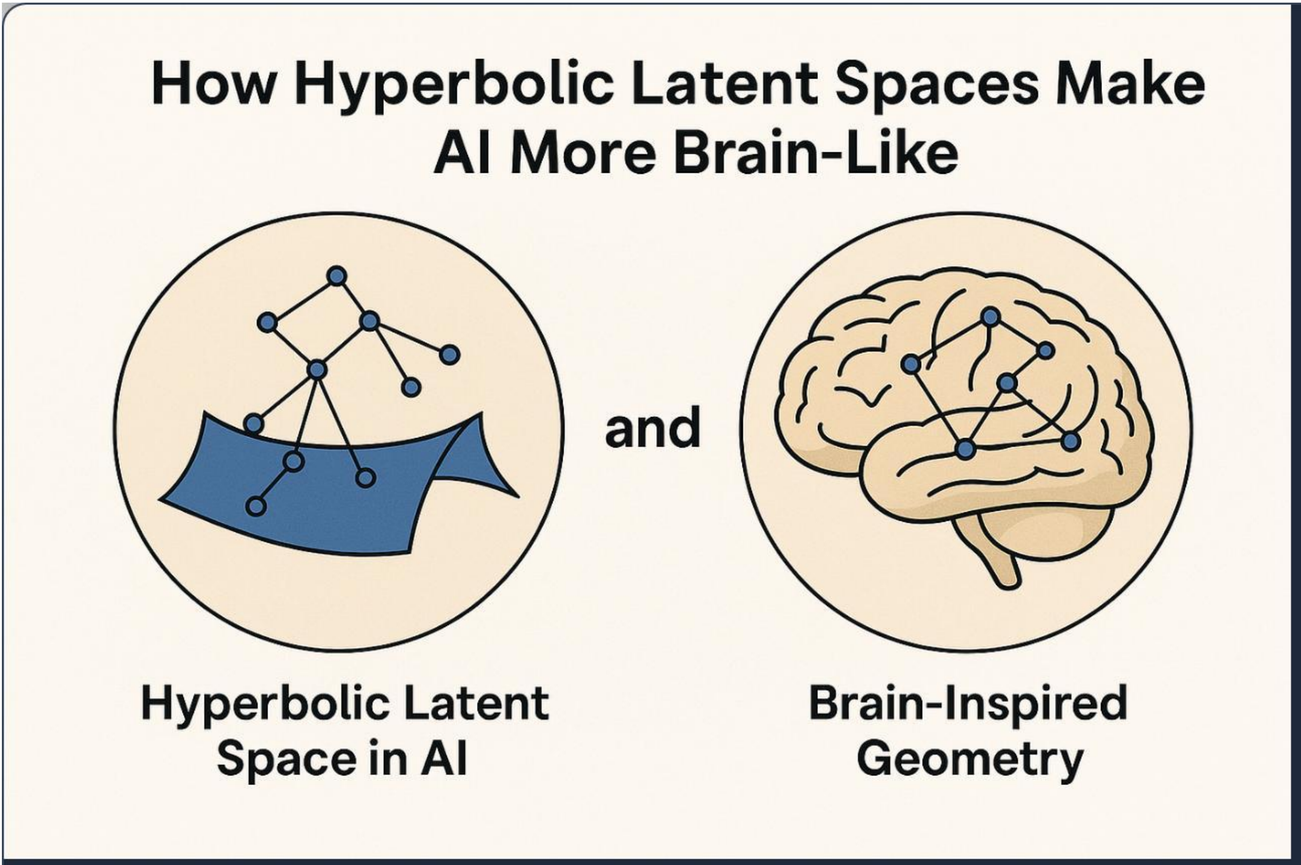
微软 Azure 云平台使用 Z3 来实时验证防火墙规则。

- **冲突检测：** 自动发现相互矛盾的安全规则。
- **可达性分析：** 数学上证明 "VM-A" 是否能访问 "Database-B"。
- **规模：** 能够在毫秒级处理数千条复杂的网络规则。



PART 04

大模型方向拓展



大模型方向拓展

神经符号计算 (Neuro-Symbolic AI)

痛点： LLM 擅长生成文本，但在这逻辑推理和数学计算上容易“产生幻觉”。

解决方案： 将 LLM 作为**“翻译器”**，将自然语言问题转化为 Z3 代码；将 Z3 作为**“验证器”**，执行代码并返回绝对正确的结果。

这种组合完美互补：LLM 提供灵活性，Z3 提供严谨性。

工作流：Program of Thought

1

用户提问

"鸡兔同笼，头35，脚94..."

2

LLM 生成

生成 Z3 Python 脚本建模

3

Z3 求解

执行脚本，进行数学推导

4

最终答案

返回 Proven 结果

Q & A

Thank you for listening