《软件安全》实验报告

姓名：蒋枘言　学号：2313546　班级：信息安全班

一、实验名称

Angr 应用进阶

二、实验要求

根据课本 8.4.3 章节，复现 sym-write 示例的两种 Angr 求解方法，并就如何使用 Angr 以及怎么解决一些实际问题做一些探讨。

三、实验过程

（一）安装 Angr：我已经安装了 Python 3，只需要打开命令控制台，执行命令 pip install angr。安装完成后进入 Python 环境，输入 import angr，发现不报错，说明安装成功。

```
C:\Users\Lenovo>python
Python 3.13.0 (tags/v3.13.0:60403a5, Oct  7 2024, 09:38:07) [MSC v.1941 64 bit (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> import angr
```

访问 https://github.com/angr/angr-doc 下载 Angr 的官方文档，下载得到 angr-doc-master 压缩包，解压后里面有一个 examples 文件夹，通常包含了一些示例代码，这些代码展示了如何使用 Angr 进行不同的二进制分析任务。

下面以 sym-write 为例子，来说明 Angr 的基本用法。

（二）Angr 第一种求解方法：sym-write 与符号执行相关，专门用于展示如何在符号执行过程中模拟“写操作”的分析。现在有以下 C 语言代码：

c

```c
#include <stdio.h>
char u = 0;  // 定义了一个字符类型的变量 u，并初始化为 0
int main(void) {
    int i, bits[2] = { 0, 0 };  // 定义了一个整数数组 bits，长度为 2，用来分别统计 bits[0] 和 bits[1]
    for (i = 0; i < 8; i++) {  // 循环 8 次，因为一个字符类型的变量（char）通常占 1 字节，也就是 8 位
        bits[(u & (1 << i)) != 0]++;  // 按位与操作，检查 u 的第 i 位是否为 1
    }
    if (bits[0] == bits[1]) {  // 如果 bits[0] 和 bits[1] 相等
        printf("you win!");  // 输出 "you win!"
    }
    else {
        printf("you lose!");  // 否则输出 "you lose!"
    }
```

```
    return 0;
}
```

脚本 solve.py 的代码如下：

python

```python
import angr
import claripy

def main():
    # 1. 新建一个工程，导入二进制文件，后面的选项是选择不自动加载依赖项，不会自动载入依赖的库
    p = angr.Project('./issue', load_options={"auto_load_libs": False})

    # 2. 初始化一个模拟程序状态的 SimState 对象 state，该对象包含了程序的内存、寄存器、文件系统数据、符号信息等等模拟运行时动态变化的数据
    # blank_state(): 可通过给定参数 addr 的值指定程序起始运行地址
    # entry_state(): 指明程序在初始运行时的状态，默认从入口点执行
    # add_options 获取一个独立的选项来添加到某个 state 中，更多选项说明见 https://docs.angr.io/appendix/options
    # SYMBOLIC_WRITE_ADDRESSES：允许通过具体化策略处理符号地址的写操作
    state = p.factory.entry_state(add_options={angr.options.SYMBOLIC_WRITE_ADDRESSES})

    # 3. 创建一个符号变量，这个符号变量以 8 位 bitvector 形式存在，名称为 u
    u = claripy.BVS("u", 8)
    # 把符号变量保存到指定的地址中，这个地址是就是二进制文件中.bss 段 u 的地址
    state.memory.store(0x804a021, u)
    # 4. 创建一个 Simulation Manager 对象，这个对象和我们的状态有关系
    sm = p.factory.simulation_manager(state)

    # 5. 使用 explore 函数进行状态搜寻，检查输出字符串是 win 还是 lose
    # state.posix.dumps(1) 获得所有标准输出
    # state.posix.dumps(0) 获得所有标准输入
    def correct(state):
        try:
            return b'win' in state.posix.dumps(1)
        except:
            return False
    def wrong(state):
        try:
            return b'lose' in state.posix.dumps(1)
        except:
            return False
```

```
    #  进行符号执行得到想要的状态，即得到满足 correct 条件且不满足 wrong 条件的 state
    sm.explore(find=correct, avoid=wrong)

    # 也可以写成下面的形式，直接通过地址进行定位
    #sm.explore(find=0x80484e3, avoid=0x80484f5)

    # 获得到 state 之后，通过 solver 求解器，求解 u 的值
    #eval_upto(e, n, cast_to=None, **kwargs) 求解一个表达式指定个数个可能的求解方案
e - 表达式  n - 所需解决方案的数量
    #eval(e, **kwargs) 评估一个表达式以获得任何可能的解决方案。 e - 表达式
    #eval_one(e, **kwargs) 求解表达式以获得唯一可能的解决方案。 e - 表达式
    return sm.found[0].solver.eval_upto(u, 256)

if __name__ == '__main__':
    #repr() 函数将 object 对象转化为 string 类型
    print(repr(main()))
```

solve.py 使用符号执行分析程序路径，探索不同的 u 值来找到满足 "win" 输出的输入。当符号执行探索时，由于 u 是符号化的，符号执行会生成多个路径，并为每个路径计算相应的 u 值。因此，最终会得到多个可能的 u 值，这些值满足程序输出 "win" 的条件。solve.py 的主要步骤如下：

1. 加载二进制文件：通过 angr.Project 加载 issue 程序，auto_load_libs=False 是为了避免自动加载共享库。

2. 初始化符号执行的初始状态：创建一个初始状态，add_options = {angr.options.SYMBOLIC_WRITE_ADDRESSES} 表示启用符号写入地址。这意味着 Angr 将符号化内存写操作的地址，而不是将其具体化。

3. 符号化 u 变量并存储到内存：创建一个符号变量 u，并将其存储到内存地址 0x804a021，这表示变量 u 的值将是符号化的，Angr 会尝试不同的值。

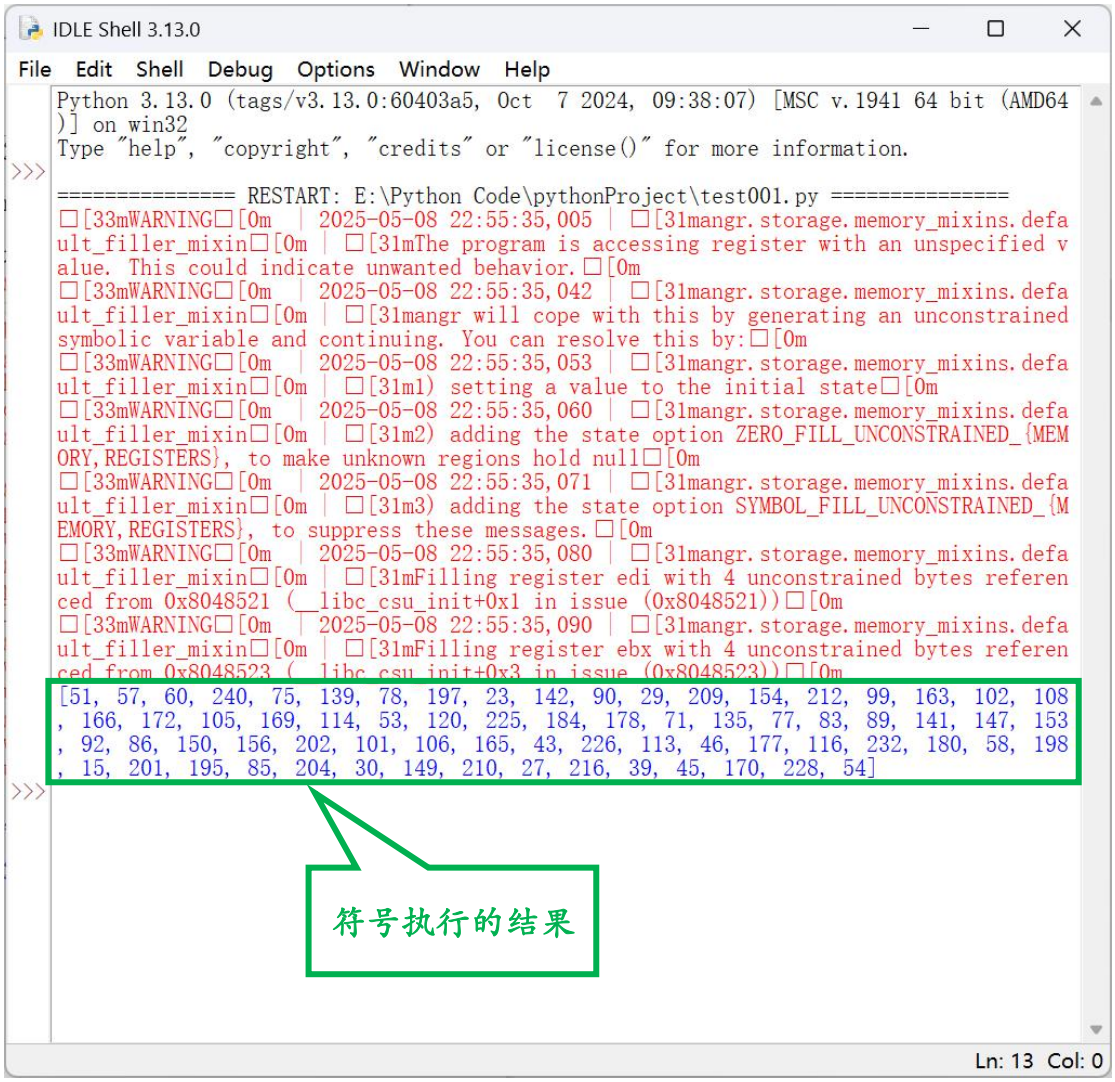
4. 创建模拟执行管理器：创建一个模拟执行管理器（SimulationManager），它负责管理不同的符号执行路径。

5. 定义目标状态和回避状态：correct(state) 用于判断程序输出是否包含 "win"；wrong(state) 用于判断程序输出是否包含 "lose"。

6. 路径探索：在符号执行中，find=correct 表示寻找满足 "win" 输出的路径，avoid=wrong 表示避免满足 "lose" 输出的路径。

7. 求解 u 的可能值：找到符号执行探索中的第一个满足条件的路径，并通过求解器 solver.eval_upto(u, 256) 来获取符号变量 u 的所有可能值（最多 256 个）。

执行以上 Python 代码，得到如下结果：



（三）Angr 第二种求解方法：

第二种方法的脚本 solve2.py 的代码如下：

python

```
import angr
import claripy

def hook_demo(state):
    state.regs.eax = 0

p = angr.Project("./issue", load_options={"auto_load_libs": False})
# hook 函数：addr 为待 hook 的地址
# hook 为 hook 的处理函数，在执行到 addr 时，会执行这个函数，同时把当前的 state 对象作为参数传递过去
# length 为待 hook 指令的长度，在执行完 hook 函数以后，angr 需要根据 length 来跳过这条指令，执行下一条指令
# hook 0x08048485 处的指令（xor eax,eax），等价于将 eax 设置为 0
# hook 并不会改变函数逻辑，只是更换实现方式，提升符号执行速度
p.hook(addr=0x08048485, hook=hook_demo, length=2)
```

```
state = p.factory.blank_state(addr=0x0804846B,
add_options={"SYMBOLIC_WRITE_ADDRESSES"})
u = claripy.BVS("u", 8)
state.memory.store(0x0804A021, u)
sm = p.factory.simulation_manager(state)
sm.explore(find=0x080484DB)
st = sm.found[0]

print(repr(st.solver.eval(u)))
```

solve2.py 通过在特定地址处设置钩子来控制程序的行为，符号执行从特定的内存地址开始，并通过 sm.explore 来寻找目标地址 0x080484DB。由于符号执行路径的限制和钩子的作用，最终只会生成一个 u 的值，而不是多个值。solve2.py 的主要步骤如下：

1. 加载二进制文件：同样，使用 angr.Project 加载目标程序。

2. 定义钩子（Hook）：定义了一个名为 hook_demo 的钩子函数。在符号执行过程中，当程序执行到特定地址时，hook_demo 将被触发，强制将 eax 寄存器设置为 0。使用 p.hook 在地址 0x08048485 设置钩子，钩子的作用是修改寄存器的值。

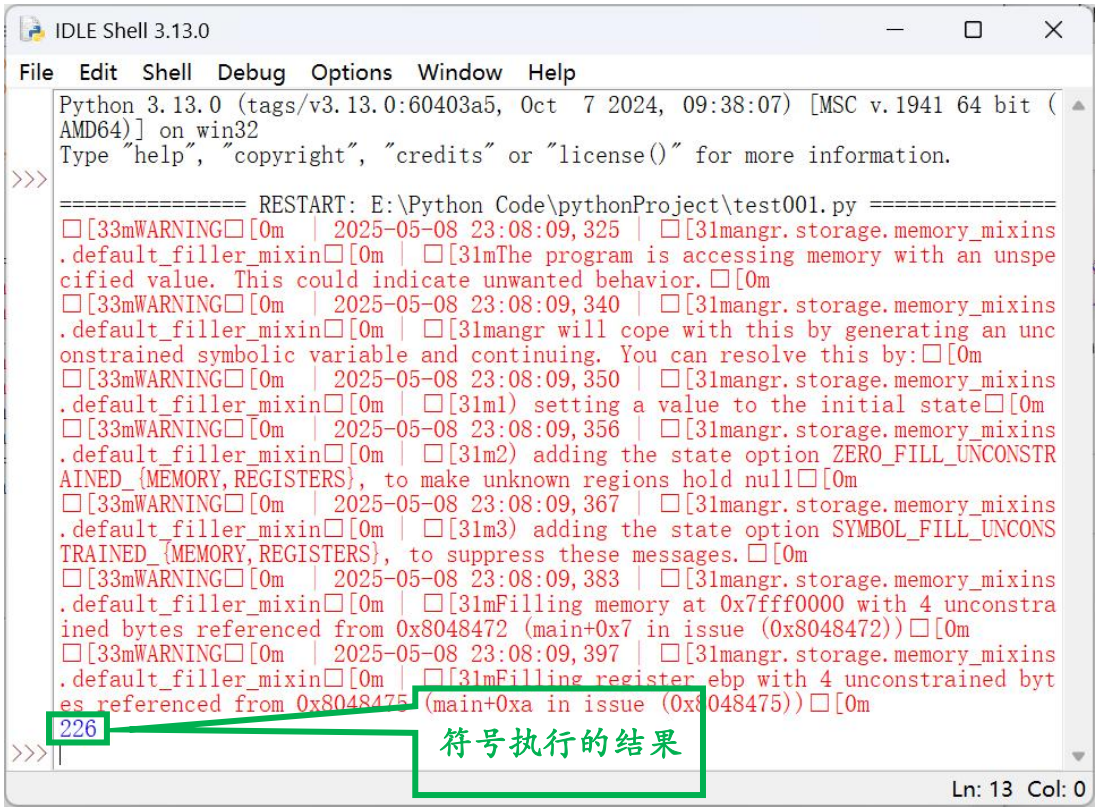
3. 初始化符号执行状态：创建了一个符号执行状态，并将其设置为从地址 0x0804846B 开始。add_options={"SYMBOLIC_WRITE_ADDRESSES"} 仍然启用符号写地址选项。

4. 符号化 u 并存储到内存：和 solve.py 中一样，创建一个符号变量 u，并将其存储到内存地址 0x0804A021。

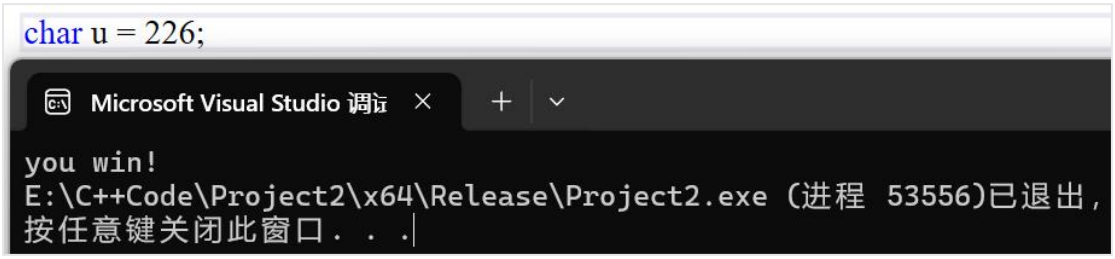
5. 创建模拟执行管理器并探索路径：创建模拟执行管理器并使用 sm.explore 来探索程序路径，直到找到目标地址 0x080484DB。

6. 求解符号变量 u 的值：从找到的路径中获取符号变量 u 的值。

执行以上 Python 代码，得到如下结果：



示例 C 语言代码由于默认 u = 0，执行结果为"you lose!"，将以上两种方法得到的结果赋值给 u 后再执行就会得到结果"you win!"。



四、心得体会

两个约束求解器最终都能够找到使程序输出"you win!"的 u 值，但是方法有所不同。solve.py 和 solve2.py 的对比如下：

特性	solve.py	solve2.py
目标	寻找多个使程序输出 "you win!" 的 u 值	寻找一个使程序输出 "you win!" 的 u 值
符号执行路径探索	不受限制，探索多个路径	受钩子限制，探索较少路径
符号化写地址	启用符号化写地址选项，符号化 u 并存储在内存地址 0x804a021	启用符号化写地址选项，符号化 u 并存储在内存地址 0x0804A021
钩子（Hook）	没有钩子	在特定地址 0x08048485 设置了钩子，修改寄存器 eax
路径约束	无路径限制，可以自由探索符号执行路径	符号执行路径受到钩子的限制，限制了符号执行的路径选择
最终生成的 u 值数量	生成多个 u 值，最多返回 256 个可能的解	只生成一个 u 值
求解方法	符号执行多路径，计算 u 的多个可能值	通过钩子和路径探索，最终找到一个解
符号执行结果输出	通过 solver.eval_upto(u, 256) 获取多个解	通过 st.solver.eval(u) 获取一个解
探索目标	寻找 b'win' 输出，避免 b'lose' 输出	寻找目标地址 0x080484DB
路径控制方式	通过 sm.explore(find=correct, avoid=wrong) 控制路径探索	通过 sm.explore(find=0x080484DB) 控制路径探索

如何使用 Angr？

1. 加载项目

```
import angr
project = angr.Project('./binary', auto_load_libs=False)
```

2. 创建初始状态

```
state = project.factory.entry_state()
```

或者指定起始地址或符号化输入：

```
state = project.factory.blank_state(addr=0x08048000)
```

3. 定义符号变量

```
import claripy
input_var = claripy.BVS('input', 8 * 20)  # 20 字节的符号输入
state.memory.store(0xdeadbeef, input_var)
```

4. 创建 SimulationManager 并探索路径

```
sm = project.factory.simulation_manager(state)
sm.explore(find=lambda s: b"win" in s.posix.dumps(1))
```

5. 提取解

```
found = sm.found[0]
solution = found.solver.eval(input_var, cast_to=bytes)
```

如何解决一些实际问题？

1. 逆向工程自动化

应用场景：分析闭源程序的算法（如加密协议、许可证验证逻辑）。

案例：自动提取恶意软件的关键行为逻辑，或破解 CTF 中的逆向题目。

2. 漏洞挖掘与利用生成

应用场景：发现软件中的漏洞（如栈溢出、UAF），并生成触发漏洞的输入。

案例：自动化挖掘嵌入式设备固件中的漏洞。

3. 路径求解与约束满足

应用场景：自动生成满足特定条件的输入，使程序执行到目标分支。

案例：绕过程序的复杂条件检查。

4. 恶意软件分析

应用场景：分析加壳或混淆的恶意代码，识别其行为。

案例：解密勒索软件的加密密钥生成逻辑。

5. 程序验证与合规性检查

应用场景：验证程序是否满足特定安全属性（如内存安全）。

案例：确保自动驾驶系统的固件不存在未处理的异常分支。

6. CTF 竞赛辅助

应用场景：自动化解决 CTF 中的逆向工程和漏洞利用题目。

案例：通过符号执行直接求解 Flag，无需手动逆向。