区块链基础及应用实验报告

Ex6 Tornado-zkSNARK

Group 31

2112492 刘修铭 2112362 张润哲

一、实验要求

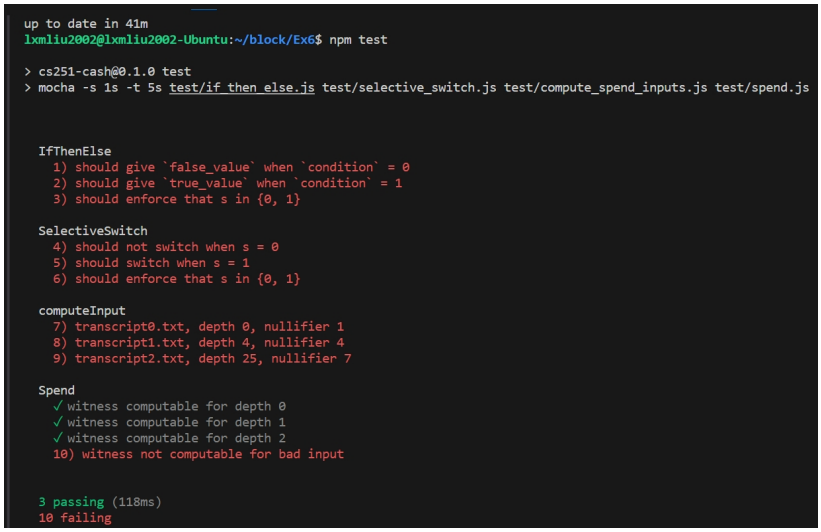
探索私有事务（private transactions）的实现：

- 制作一个简单版本的花费 Tornado 电路；
- 生成赎回 Tornado 的有效性证明。

二、实验过程

（一）前期准备

按照实验说明，进行实验的环境配置。安装完成后，运行 npm test，可以看到部分样例测试通过，说明环境配置成功。



（二）了解 circom

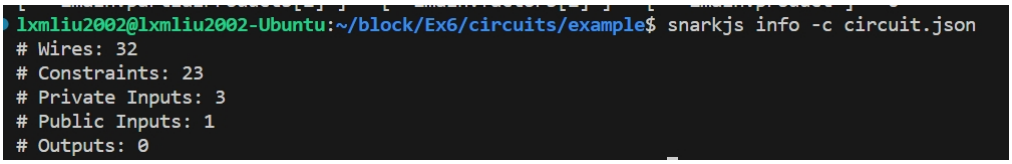
阅读给定的 example.circom 电路示例，了解 circom 的语法等内容，同时完成 writeup.md 中的问题。

- writeup.md 已附于附件中。

接着按照 TUTORIAL.md 文件的指导，使用 SmallOddFactorization 电路为 $7 \times 7 \times 17 \times 19 = 2261$ 创建一个证明。

- 编写 circom 电路，并编译将其生成为 json 文件；

- 创建可信设置，得到 verification_key.json 文件与 proving_key.json 文件。
- 使用命令查看输入输出格式：



- 按照格式，将输入写入到 input.json 文件中：

```
{
    "product": 2261,
    "factors": [
        7,
        17,
        19
    ]
}
```

- 生成见证文件 witness.json；
- 生成证据，得到 proof.json 与 public.json（公开）；
- 使用 `snarkjs verify` 命令进行验证。

（三）开关电路

1. IfThenElse

IfThenElse 电路验证了条件表达式的正确求值，有 1 个输出，和 3 个输入：

- condition：应该是 0 或 1；
- true_value：如果 condition 是 1，那么输出 true_value；
- false_value：如果 condition 是 0，那么输出 false_value；

对于上述要求，使用简单的 if - else 即可实现。具体代码实现如下：

```
template IfThenElse() {
    signal input condition;
    signal input true_value;
    signal input false_value;
    signal output out;

    condition * (1 - condition) === 0; // 保证 condition 为 0 或 1
    if(condition) out <== true_value;
    else out <== false_value;
}
```

2. SelectiveSwitch

SelectiveSwitch 接受两个数据输入（in0、in1）并生成两个输出。如果 select(s) 输入为 1，则它会反转输出中的输入顺序。如果 s 为 0，则保留输入顺序。该要求同样可借助 if - else 语句实现。具体代码实现如下：

```
template SelectiveSwitch() {
    signal input in0;
    signal input in1;
    signal input s;
    signal output out0;
    signal output out1;

    s * (1 - s) === 0; // 保证 s 为 0 或 1
    if(s)
    {
        out0 <== in1;
        out1 <== in0;
    }
    else
    {
        out0 <== in0;
        out1 <== in1;
    }
}
```

（四）消费电路

按照实验手册要求，该电路应验证所提供的（私有）Merkle 路径是硬币 H(nullifier, nonce) 的有效 Merkle 证明，而其根节点的哈希值即为其输入 digest。实现思路已添加到注释中。

```
template Spend(depth) {
    signal input digest; // 根节点（公开）
    signal input nullifier; // the nullifier（公开）
    signal private input nonce; // the nonce（私有）
    signal private input sibling[depth];
    signal private input direction[depth];

    // TODO
    component Hash[depth + 1]; // 保存每一层节点的 hash
    component switches[depth]; // 根据 direction 调整输出
    // 初始化 Hash[0] 为硬币 H(nullifier, nonce)
    Hash[0] = Mimc2();
    Hash[0].in0 <== nullifier;
    Hash[0].in1 <== nonce;
    for (var i = 0; i < depth; ++i)
    {
        switches[i] = SelectiveSwitch();
        switches[i].in0 <== Hash[i].out;
        switches[i].in1 <== sibling[i];
        switches[i].s <== direction[i];
```

```
        Hash[i + 1] = Mimc2();
        // 左节点
        Hash[i + 1].in0 <== switches[i].out0;
        // 右节点
        Hash[i + 1].in1 <== switches[i].out1;
    }
    // 验证是否匹配
    Hash[depth].out === digest;
}
```

(五) 计算花费电路的输入

1. 借助给定的 SparseMerkleTree 类创建一个新的 SparseMerkleTree，其深度为给定的 depth。

```
let merkleTree = new SparseMerkleTree(depth);
```

2. 遍历 transcript 列表，构建 Merkle Tree。
   - 如果数组只有一个元素，表示其要插入 Merkle 树的硬币。
   - 如果数组将有两个元素，需要计算其哈希并插入 Merkle 树。

```
for (let i = 0; i < transcript.length; i++)
{
  const item = transcript[i];
  if (item.length === 1) merkleTree.insert(item[0]);
  else
  {
    const nullifierHash = mimc2(item[0], item[1]);
    merkleTree.insert(nullifierHash);
    if (item[0] === nullifier) nonce = item[1];
  }
}
```

3. 创建一个包含 digest、nonce 和 nullifier 的对象，作为 Spend 电路的输入。

```
let spendInput = {
  digest: merkleTree.digest,
  nonce: nonce,
  nullifier: nullifier
};
```

4. 获取 Merkle 路径，将路径上的节点添加到前面创建的对象中并返回。

```
let path = merkleTree.path(mimc2(nullifier, nonce));

for (let i = 0; i < path.length; i++)
{
  const item = path[i];
  spendInput["sibling[" + i + "]"] = String(item[0]);
  spendInput["direction[" + i + "]"] = String(item[1] ? 1 : 0);
}

return spendInput;
```

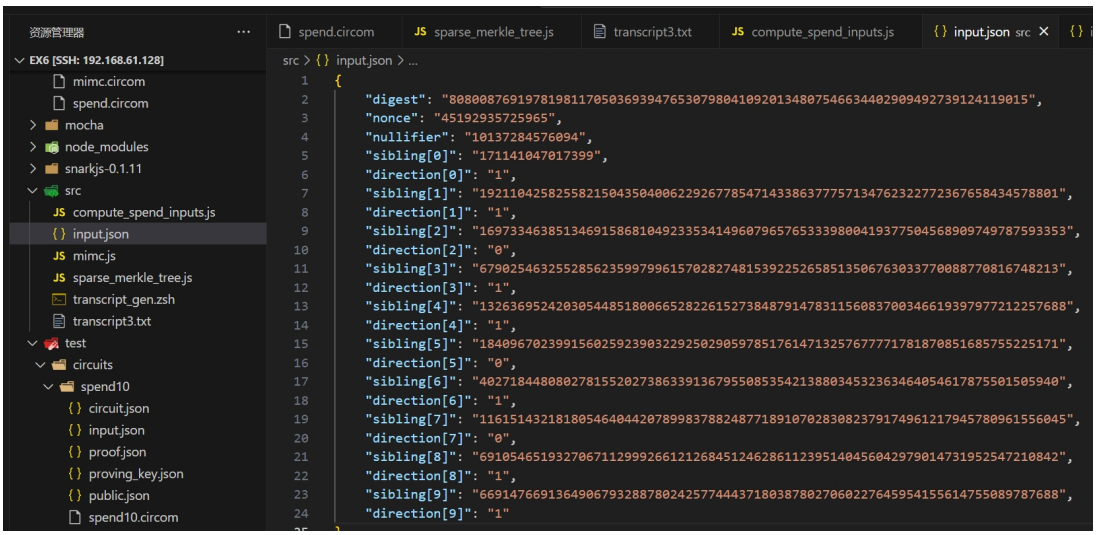
（六）赎回证明

按照实验手册说明，使用 circom 和 snarkjs 创建一个 SNARK 用来证明深度为 10 的 Merkle 树中存在与 transcript3.txt 相对应的 nullifier“10137284576094” 。

编写好 **二（五）** 花费电路的输入函数后，借助 compute_spend_input.js 文件中的注释，使用以下命令生成 input.json 文件。

```
node compute_spend_inputs.js -o input.json 10 transcript3.txt 10137284576094
```

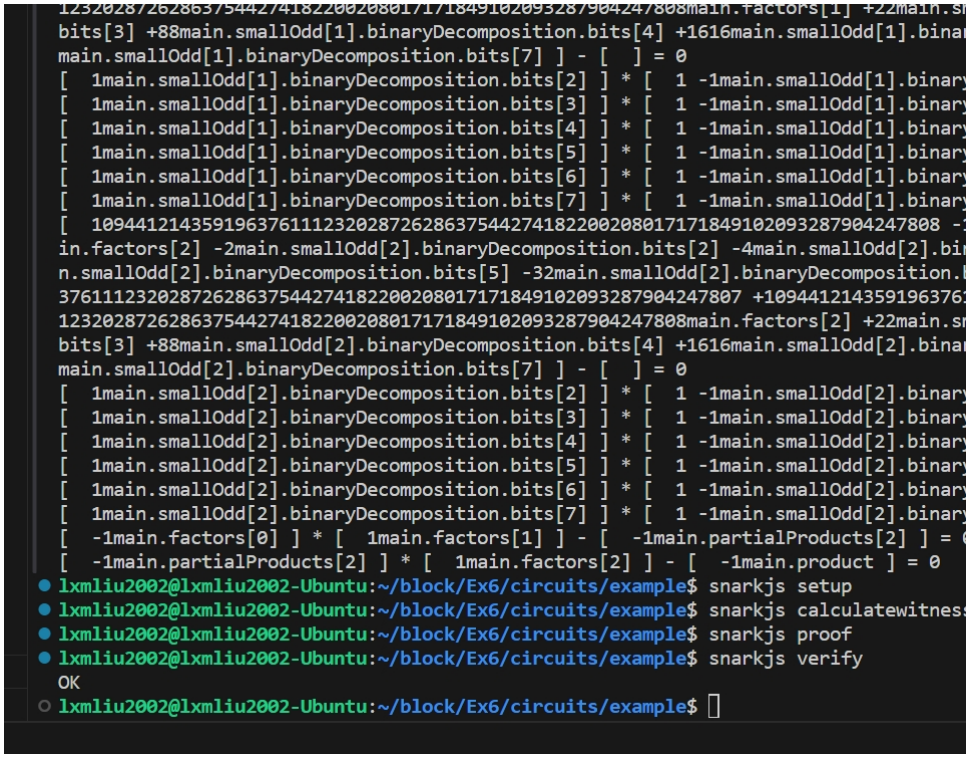
> 代码文件中的注释缺少 `node`，对于不熟悉 js 脚本执行的同学存在一定误区。



三、实验结果

（一）了解 circom

使用命令验证证明，使用之前导出的文件 verify_key.json、proof.json 和 public.json 来检查证明是否有效。



如图，命令输出 OK，说明证明有效。

（二）电路组件测试

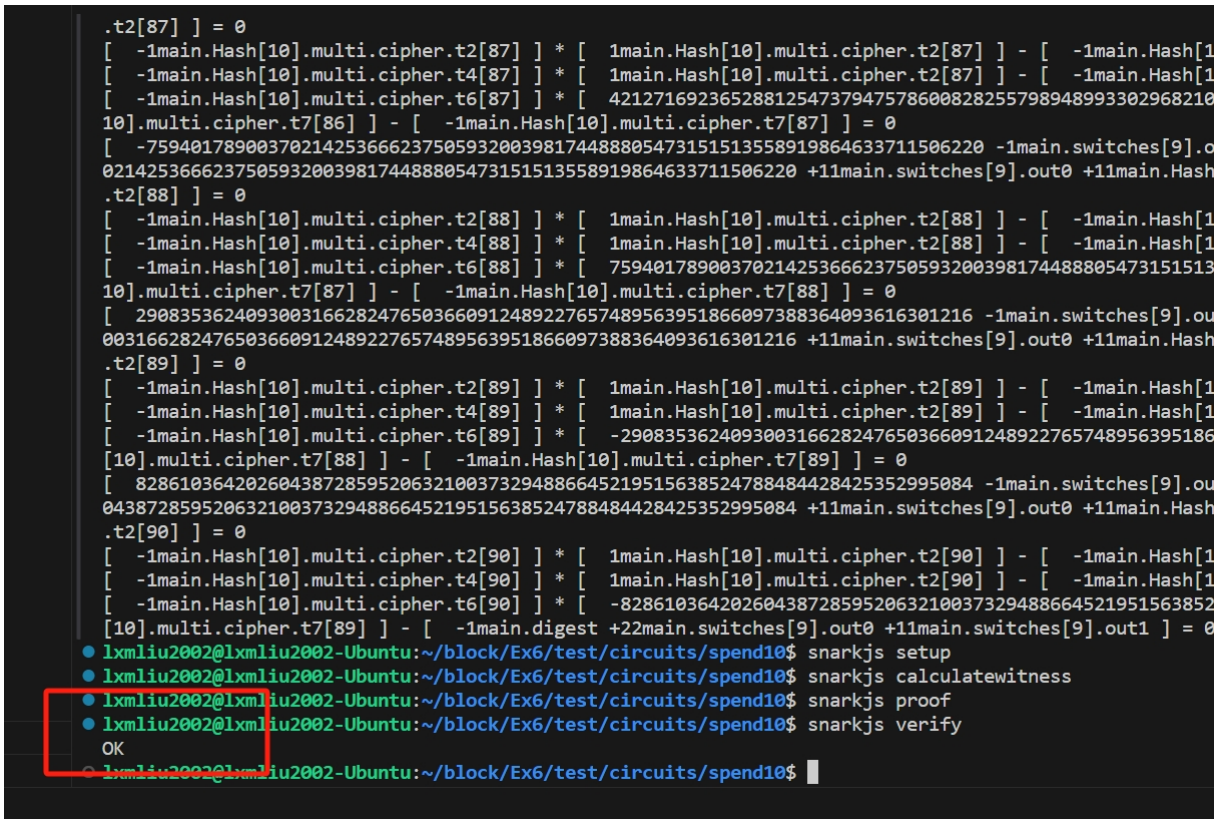
按照要求完成开关电路、消费电路及其输入的编写，使用 npm test 命令进行测试。

```
lxmliu2002@lxmliu2002-Ubuntu:~/block/Ex6$ npm test

> cs251-cash@0.1.0 test
> mocha -s 1s -t 5s test/if_then_else.js test/selective_switch.js test/compute_spend_inputs.js test/spend.js



  IfThenElse
    ✓ should give `false_value` when `condition` = 0
    ✓ should give `true_value` when `condition` = 1
    ✓ should enforce that s in {0, 1}

  SelectiveSwitch
    ✓ should not switch when s = 0
    ✓ should switch when s = 1
    ✓ should enforce that s in {0, 1}

  computeInput
    ✓ transcript0.txt, depth 0, nullifier 1
    ✓ transcript1.txt, depth 4, nullifier 4
    ✓ transcript2.txt, depth 25, nullifier 7

  Spend
    ✓ witness computable for depth 0
    ✓ witness computable for depth 1
    ✓ witness computable for depth 2 (864ms)
    ✓ witness not computable for bad input (869ms)


  13 passing (2s)
```

可以看到测试全部通过，说明函数编写正确。

（三）赎回证明

按照 **二（二）** 中的流程对其验证：



如图，命令输出 OK，说明证明有效。

四、说明

本次实验输出文件均已置于 artifacts 文件夹下。

- proof_factor.json
- proof_spend.json
- verification_key_factor.json
- verification_key_spend.json
- writeup.md

本次实验中，**了解 circom** 部分的全部代码置于 circuits/example 文件夹中。

- circuit.json
- example.circom
- example_zn.circom
- input.json
- proof.json
- proving_key.json
- public.json
- verification_key.json
- witness.json

本次实验中，**赎回证明**部分的全部代码已置于 test/circuits/spend10 文件夹中。

- circuit.json
- input.json
- proof.json
- proving_key.json
- public.json
- spend10.circom
- verification_key.json
- witness.json