研究背景和意义
基础知识简介
算法软硬件实现
功耗分析方案
实验结果与分析
后续研究展望

序列密码算法电路的新型物理攻防技术研究

导师：郭　筝
学生：于泽汉

上海交通大学　微纳电子学系

2018.01.11

总览

1 研究背景和意义

2 基础知识简介

3 算法软硬件实现

4 功耗分析方案

5 实验结果与分析

6 后续研究展望

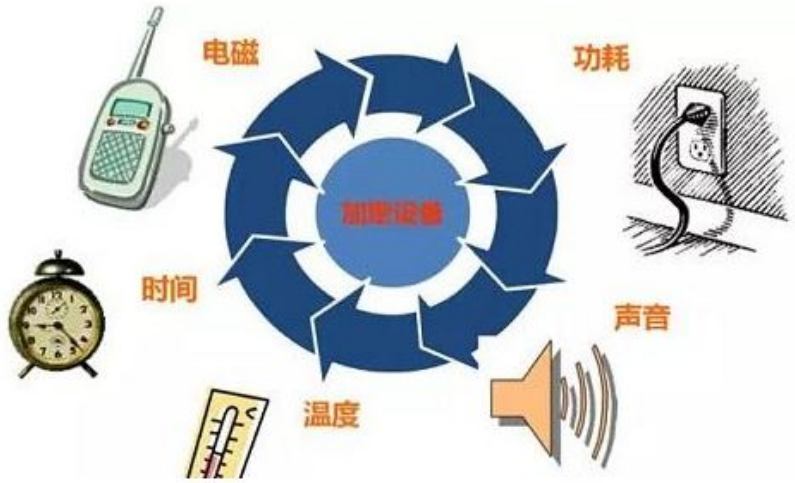
祖冲之算法的历史和应用

- 又称 ZUC 算法
- 我国自主研制
- 3GPP + LTE
- 序列密码算法
- 保护设备敏感信息

经过多年的学术研究和工业应用，密码学理论已经日趋系统和完善，各种密码算法广泛应用于各种工业设备，以保障系统和数据的安全。

祖冲之算法是我国第一个成为国际密码标准的密码算法，在保障 4G 通信安全中起到了重要作用。

旁路攻击对密码设备的威胁



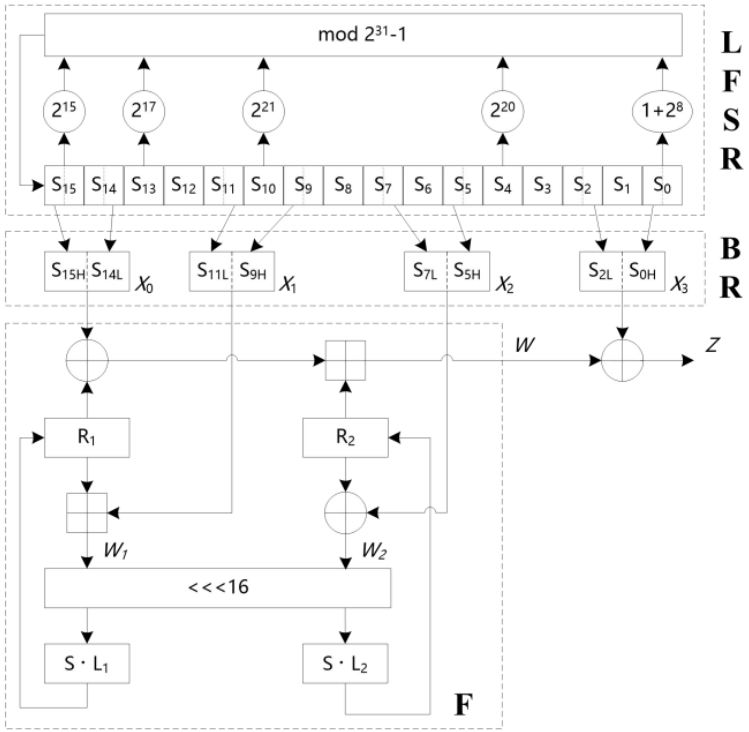
- 理论安全 vs 实现漏洞
- 秘密信息泄露
- 功耗分析、电磁分析
- 威胁巨大

目前，那些得到广泛使用的密码算法，通常都经过数学上的严格论证，并且经过了大量专家的研究和改进，因而在理论上基本是安全的。

然而在现实中，这些算法都运行在具体设备上，因此可能会暴露出许多安全问题，攻击者可以通过各种手段获取密码设备中的秘密信息。

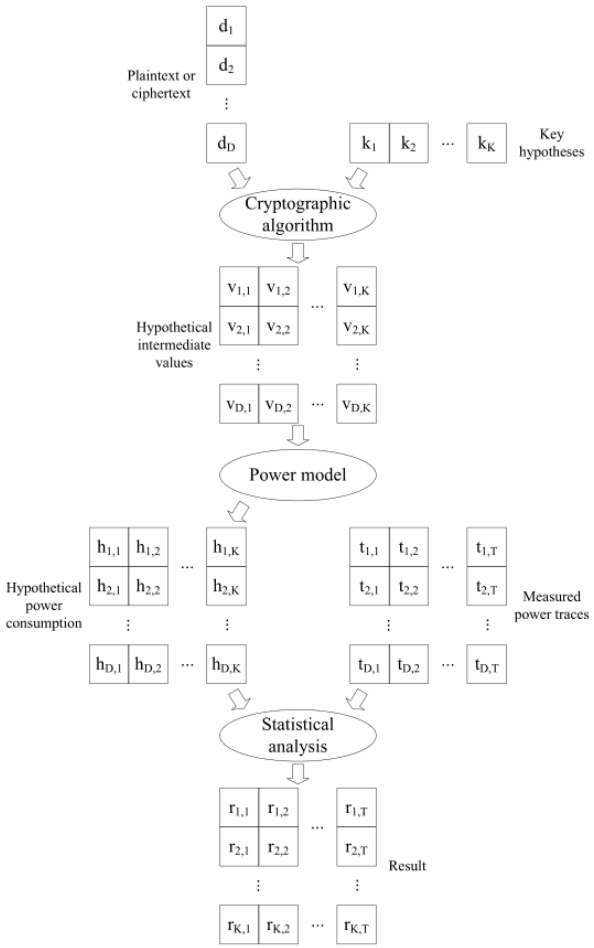
因此，对祖冲之算法进行旁路分析，就有助于发掘其在实际设备上的漏洞，从而提出防护方案，提高密码设备的安全性。

祖冲之算法的原理和流程



- 三层结构
  - 线性反馈移位寄存器
  - 比特重组
  - 非线性函数
- 两种模式（LFSR）
  - 初始化模式
  - 工作模式
- 两个阶段
  - 初始化阶段
  - 工作阶段

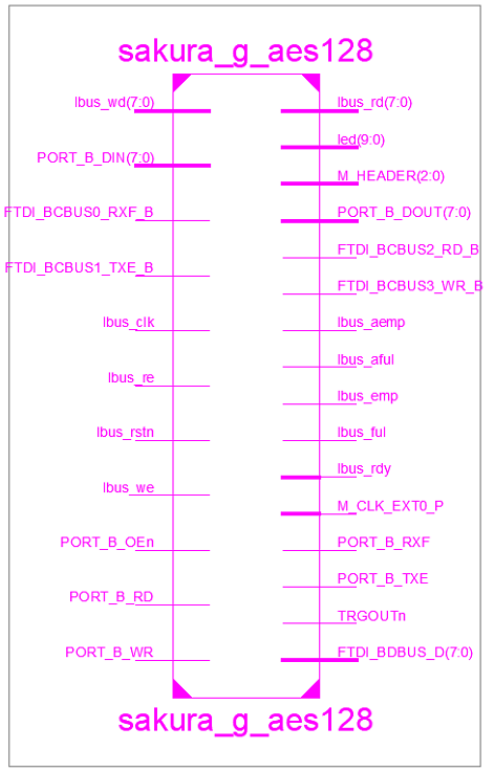
差分功耗分析的一般流程



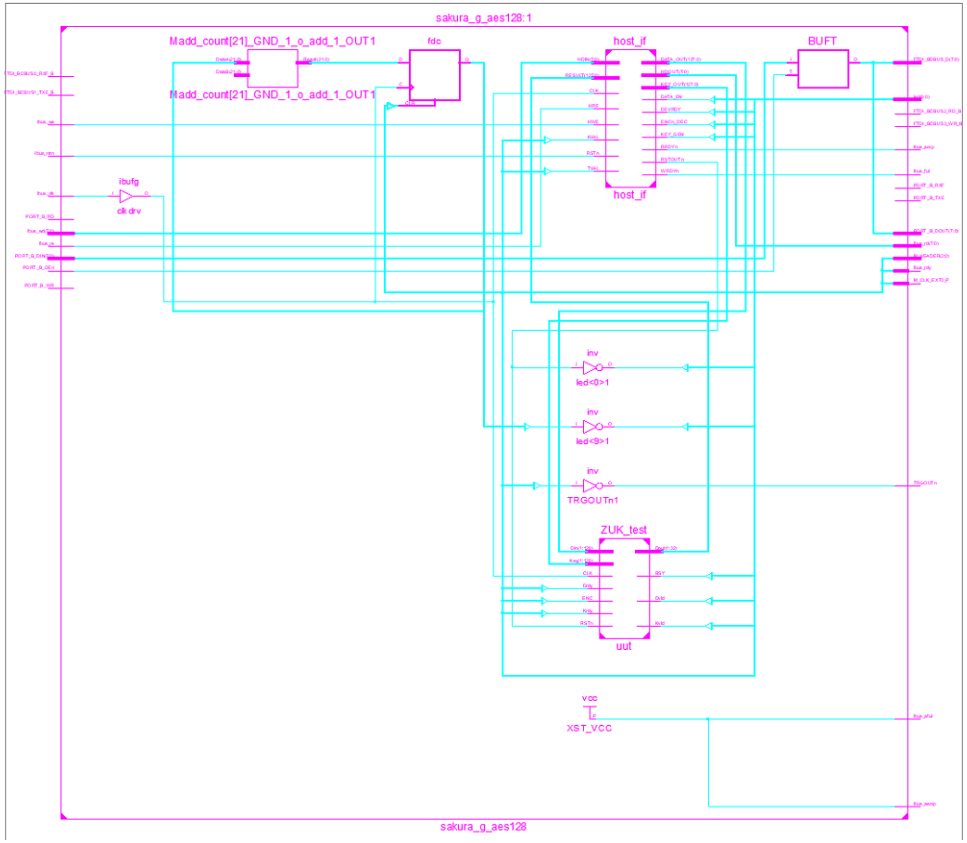
- 选取合适的算法中间值位置
- 采集设备运行时的实际功耗曲线
- 根据算法计算理论中间值
- 使用合适的功耗模型将理论中间值转换为假设功耗值
- 分析假设功耗值和实际功耗曲线，挖掘所需的信息

祖冲之算法的硬件实现

硬件设计软件: ISE 14.3
FPGA 型号：XC6SLX75-2CSG484



电路的输入和输出端口



电路的内部结构

祖冲之算法的软件实现

编程语言：Python 3.6
运行平台：Windows 10

```python
def lfsrInit():
    global k_hex, k, v_hex, v, d, s, w
    shift_bits_list  = [15, 17, 21, 20, 8, 0]
    shift_index_list = [15, 13, 10, 4, 0, 0]
    xv = [0] * 31
    for i in range(0, len(shift_bits_list)):
        s_i_shifted = circShiftLeft(s[shift_index_list[i]], shift_bits_list[i])
        xv = modAdd_2e31m1(xv, s_i_shifted)
    s[16] = modAdd_2e31m1(shiftLeft(w, -1), xv) # The only diffrence of lfsrWork() and
        lfsrInit()
    if s[16] == [0]*31:
        s[16] = [1]*31
    for i in range(0,16):
        s[i] = s[i+1]

def lfsrWork():
    global k_hex, k, v_hex, v, d, s
    shift_bits_list =  [15, 17, 21, 20, 8, 0]
    shift_index_list = [15, 13, 10, 4, 0, 0]
    xv = [0] * 31
    for i in range(0, len(shift_bits_list)):
        s_i_shifted = circShiftLeft(s[shift_index_list[i]], shift_bits_list[i])
        xv = modAdd_2e31m1(xv, s_i_shifted)
    s[16] = xv # The only diffrence of lfsrWork() and lfsrInit()
    if s[16] == [0]*31:
        s[16] = [1]*31
    for i in range(0,16):
        s[i] = s[i+1]
```

线性反馈移位寄存器模块

```python
def bitReorganization():
    global x, s
    x[0] = s[15][0:16] + s[14][-16:]
    x[1] = s[11][-16:] + s[9][0:16]
    x[2] = s[7][-16:] + s[5][0:16]
    x[3] = s[2][-16:] + s[0][0:16]
```

比特重组模块

```python
def nonLinearFunction():
    global w, x, r1, r2
    w = binaryAdd(binaryXor(x[0], r1), r2)
    w1 = binaryAdd(r1, x[1])
    w2 = binaryXor(r2, x[2])
    r1 = sboxOfZuc(linearTransform(w1[-16:]+w2[0:16], 1))
    r2 = sboxOfZuc(linearTransform(w2[-16:]+w1[0:16], 2))
```

非线性函数模块

谢谢！