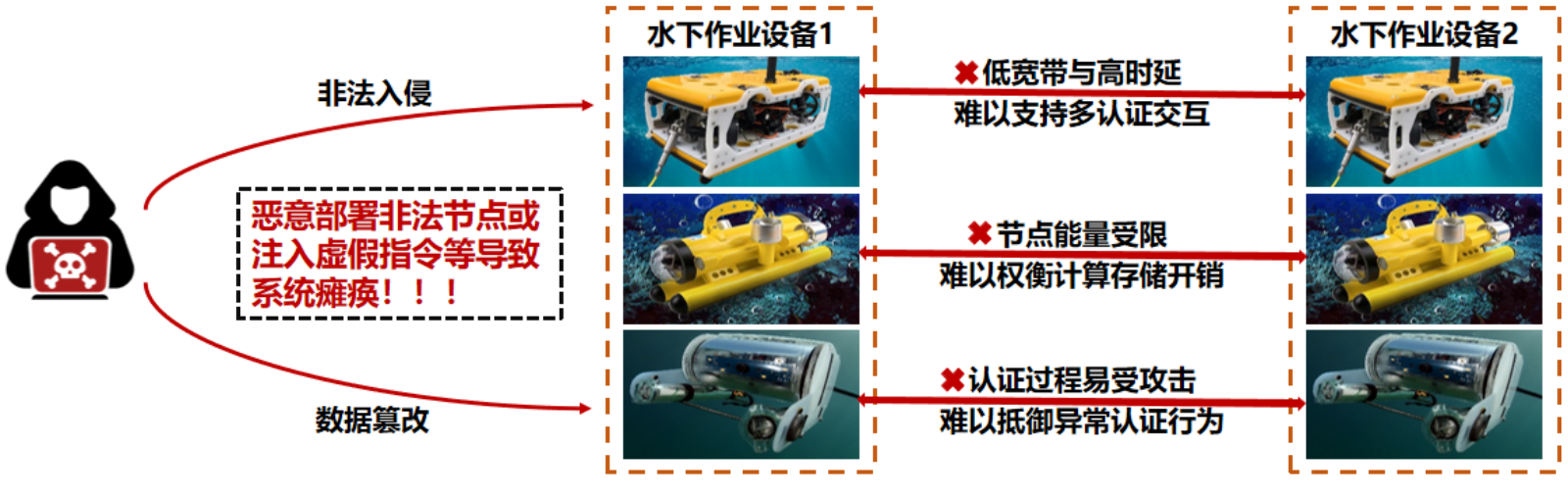
2026-01-09汇报

水下物联网节点轻量级身份认证

研究问题

- 随着物联网技术在生产生活和工业制造中的广泛应用，海量终端设备被部署到水下，形成规模庞大的水下物联网生态系统。然而水下物联网节点在进行水下监测作业的同时，面临数据篡改、非法节点侵入等严峻安全威胁，亟需身份认证保障安全



- 水下物联网网络具有信道时延高、节点能量受限等特殊性，使得传统认证协议因交互频繁、计算存储开销大而难以适用。因此，开发轻量级身份认证技术至关重要

技术路线

- **基于非对称加密的短数字签名首次入网认证机制**：网络预配置认证白名单，发起方根据私钥计算短签名，接收方根据白名单验证签名
- **基于点对点独立共享秘密的双向哈希挑战后续认证机制**：首次认证后启用共享参数码本，发起方根据参数计算哈希挑战，接收方根据参数验证挑战信息
- **基于派生函数HKDF的动态混淆分片存储机制**：对认证凭证进行派生，对派生凭证动态混淆，分片存储混淆凭证及相关参数
- **基于多节点信息融合的认证攻击智能检测机制**：身份认证过程中，轻节点局部认证异常行为检测，汇聚节点全局认证异常行为检测，实现异常认证攻击类型识别，类型主要包括认证过程中易受到的诱骗攻击、重放攻击以及虫洞攻击。

短数字签名技术

目前已有的成熟数字签名技术难以将签名长度缩减至单个字节，提出一种**基于CRC32的非对称短数字签名技术**，其原理如下：

- **CRC32函数数学特性**
  - **公私钥关系：公钥Q = CRC32(私钥P，种子值S)**
  - **CRC32数学表示：** $CRC32(M,S)=[M(x)\cdot x^{32} + S(x)\cdot x^{len(M)}] \bmod P_{crc}(x)$
  - **原理：在CRC32线性性质下，在已有公私钥关系基础上，存在CRC32(私钥||DATA，私钥)=CRC32(公钥||DATA，公钥)，证明：**
  - **CRC32(Q||D, Q) =** $[(P+S)\cdot x^{32}]\cdot x^{[len(D)+32]} + D\cdot x^{32} + [(P+S)\cdot x^{32}]\cdot x^{[len(D)+32]} \bmod P\_crc$
    $= D\cdot x^{32} \bmod P\_crc = CRC32(P||D, P);$
  - **关键：在CRC32中数据被表示为GF(2)上的多项式，而在GF(2)运算下相同值相加相当于异或，即抵消**
  - **改进：私钥16字节，拆分为4组4字节私钥部分；公钥16字节 = CRC32(完整16字节私钥，种子值)**
  - **核心思想：通过四轮CRC32计算和结果混合，保证安全性同时压缩签名长度至4字节，即：**
  - **发起方生成：短认证签名 = 四轮混合(CRC32(私钥部分||设备ID||时间戳||坐标||签名轮数, 私钥部分))**
  - **接收方验证：期望短签名 = 四轮混合(CRC32(公钥部分||设备ID||时间戳||坐标||签名轮数, 公钥部分))**

签名生成与认证不局限于四轮，先暂定；此外，其中CRC32用于数字签名的安全性还有待讨论

实验进度

目前各个技术点代码功能基本实现与聚合完善，部分内容如下，同时正在查找网上已有相关身份认证论文，寻找与补充对比实验

- 密钥对初始化配置，生成4组4字节公私钥、拼接为16字节公私钥对：

```
【阶段1】设备密钥对生成（16字节 = 4×4字节）
----------------------------------------
设备A（ID=0x1001）密钥派生过程:
  私钥生成过程:
    生成16字节真随机数: 9D 31 10 4C 9E 1F 68 B8 BD B4 F1 AC 92 29 6E B8
    私钥部分1: 0x4C10319D
    私钥部分2: 0xB8681F9E
    私钥部分3: 0xACF1B4BD
    私钥部分4: 0xB86E2992
  公钥计算过程:
    公钥部分1 = CRC32(16字节私钥, 0x89ABCDEF) = 0xBBABB7FF
    公钥部分2 = CRC32(16字节私钥, 0x23456789) = 0x9D48DD20
    公钥部分3 = CRC32(16字节私钥, 0xFEDCBA98) = 0x4C4C4A7C
    公钥部分4 = CRC32(16字节私钥, 0x87654321) = 0xB9E9F3B7

最终设备密钥信息:
  设备ID: 0x1001
  私钥(16字节): 9D 31 10 4C 9E 1F 68 B8 BD B4 F1 AC 92 29 6E B8
  公钥(16字节): FF B7 AB BB 20 DD 48 9D 7C 4A 4C 4C B7 F3 E9 B9
  设备坐标: 12 34 56 78
```

- 短认证签名的构建，对数据进行四轮私钥签名，最终生成4字节短签名：

```
【阶段3】设备认证过程 - 四轮签名生成
----------------------------------------
步骤3.1 - 设备生成短认证签名:
  输入参数:
  私钥(16字节): 9D 31 10 4C 9E 1F 68 B8 BD B4 F1 AC 92 29 6E B8
    设备ID: 0x1001
    时间戳: 54 BE 76
    设备坐标: 12 34 56 78
  签名输入数据格式(每轮14字节): [4字节密钥部分][2字节设备ID][3字节时间戳][4字节坐标][1字节密钥版本]
  四轮签名生成过程:
    第1轮: 私钥部分=0x4C10319D, 密钥版本=0, 结果=0x045A7D7D
    第2轮: 私钥部分=0xB8681F9E, 密钥版本=1, 结果=0x735D4DEB
    第3轮: 私钥部分=0xACF1B4BD, 密钥版本=2, 结果=0xEA541C51
    第4轮: 私钥部分=0xB86E2992, 密钥版本=3, 结果=0x9D532CC7
  最终短认证签名(4字节): 76 2F DB 82 (0x82DB2F76)
```