Fundamentos de Segurança Informática (FSI)

2021/2022 - LEIC

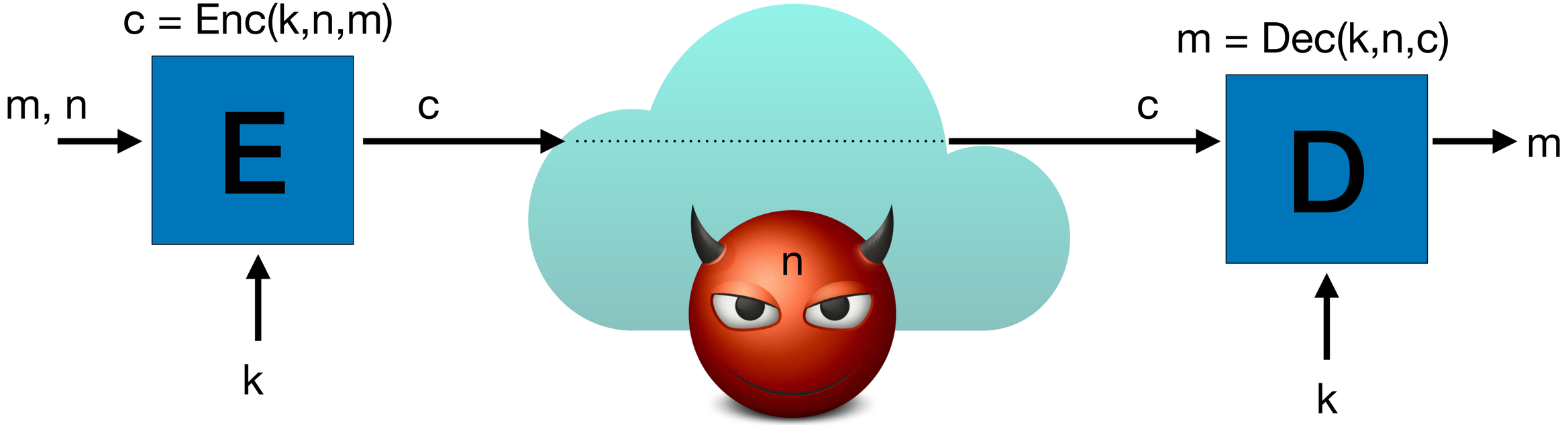
Manuel Barbosa
mbb@fc.up.pt

Aula 15
Criptografia: Parte 2

Lembrar aula anterior

- Cifras simétricas:
  - permitem obter **confidencialidade**
  - assumindo uma chave secreta pré-partilhada entre emissor e recetor
- Exemplos:
  - cifra de bloco AES utilizada em counter mode (AES-CTR)
  - cifra dedicada ChaCha20

Cifras Simétricas



- E, D: algoritmos (encrypt, decrypt) => **públicos e standard!!!**
- k: chave secreta (hoje tipicamente 128 bits)
- n, m, c: nonce (non-repeating, **público**), texto-limpo, criptograma

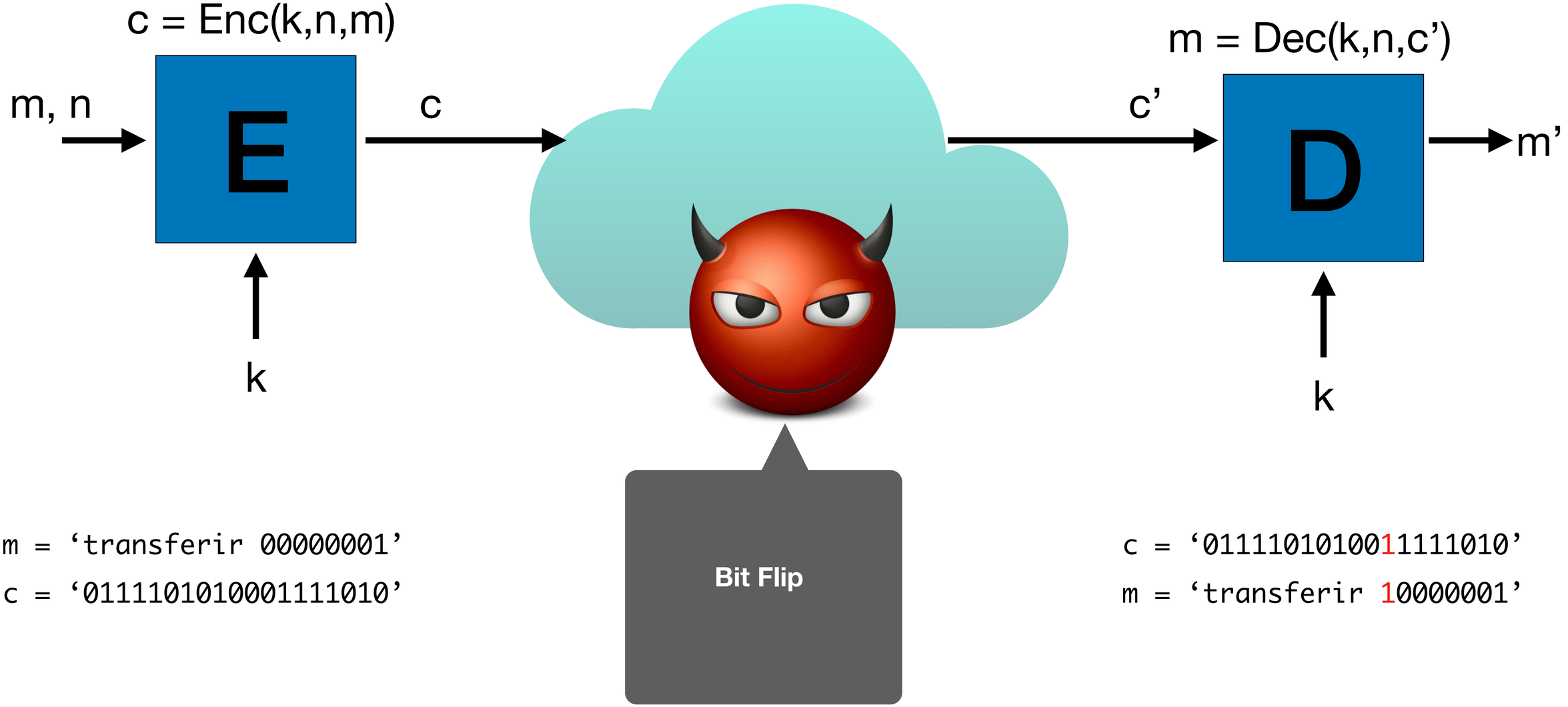
Poder do adversário

- Confidencialidade em que condições:
  - adversário apenas observa a rede?
  - adversário pode alterar, remover ou inserir mensagens?
  - neste último caso, que garantias tem o receptor?
- As cifras que vimos não protegem contra ataques ativos:
  - se o adversário alterar o criptograma, o recetor pode não perceber
  - processar um criptograma alterado pode comprometer confidencialidade

Poder do adversário

- Na prática é **sempre necessário acautelar ataques ativos**:
  - integridade: mensagem não é alterada
  - autenticidade:
    - A e B partilham uma chave secreta
    - B apenas aceita mensagens transmitidas por A
  - autenticidade => integridade (porquê?)

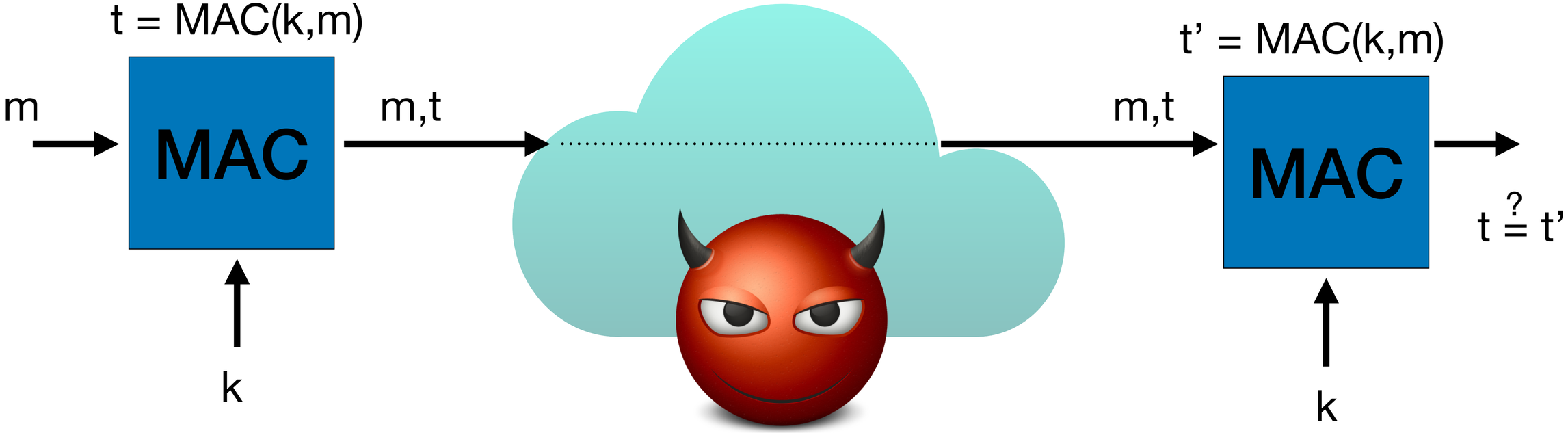
Exemplo de ataque ativo




```
m = ‘transferir 00000001’
c = ‘01111010100011111010’
```

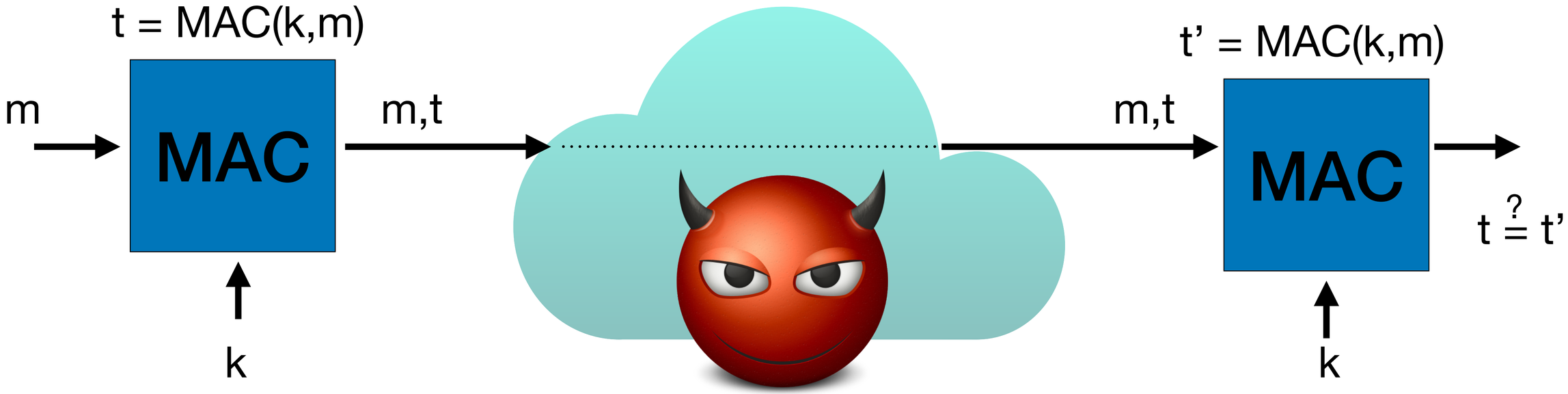
```
c = ‘01111010100111111010’
m = ‘transferir 10000001’
```

Message Authentication Codes



- MAC: algoritmo => **público e standard!!!**
- k: chave secreta (hoje tipicamente 128 bits)
- m, t: mensagem (**pública**), tag (pequena, tipicamente 256 bits)

Message Authentication Codes



- Usamos MACs para autenticidade e integridade: **tags não "encriptam" m**
- tag = checksum criptográfico, apenas calculável com k
- garantia: tag correta => t foi calculada como t := MAC(k,m)
- emissor conhecia a chave k e usou-a para autenticar m

Garantias MAC

- Recebemos (m,t) com t = MAC(k,m), e apenas Alice conhece k
  - Alice transmitiu certamente (m,t)
  - Mas …
    - se atacante não entregar?
    - se atacante entregar múltiplas vezes?
  - MAC não permite detetar (só por si) estes ataques

Garantias MAC

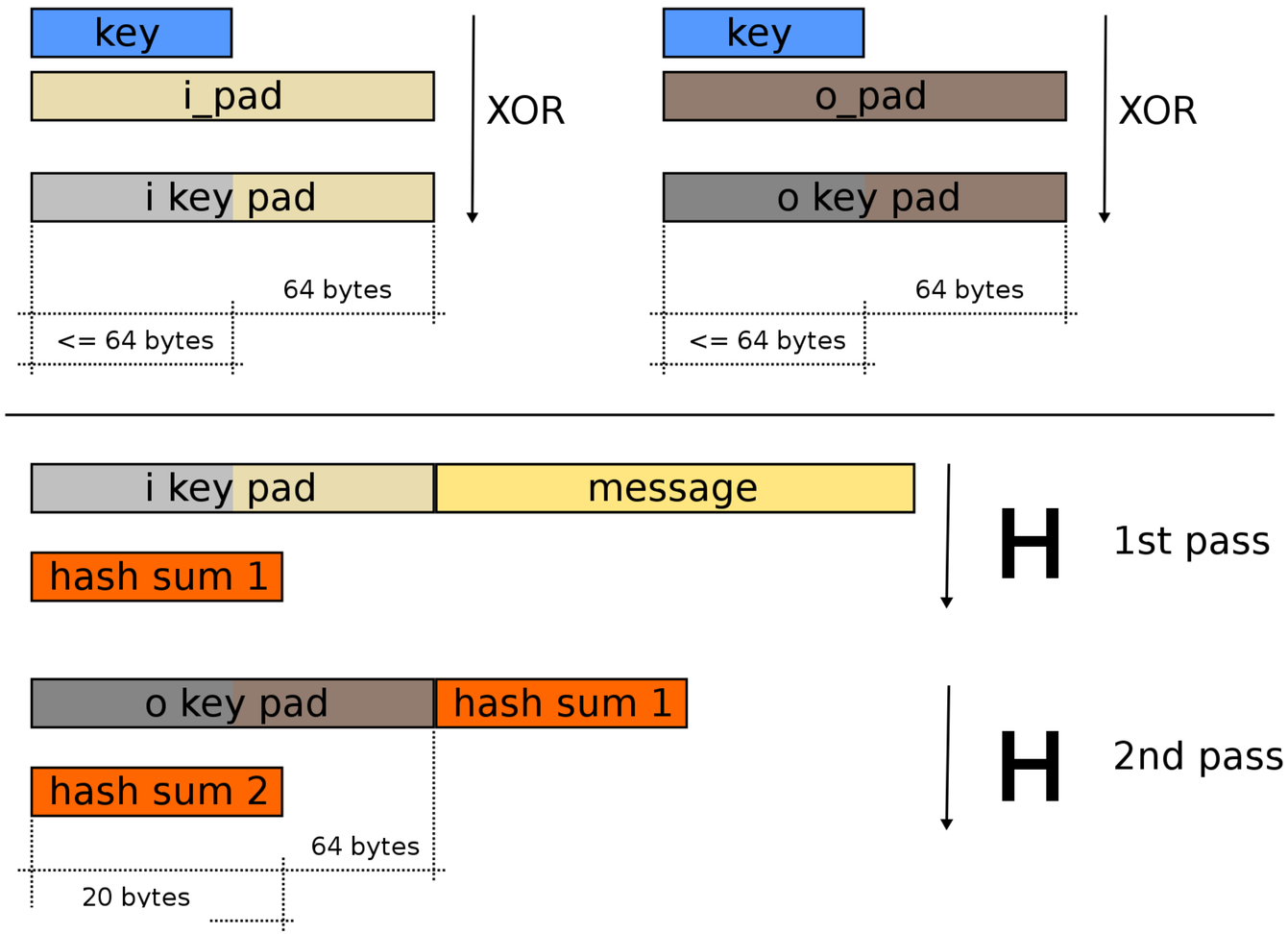
- Solução para detetar remoção, duplicação e reordenação de mensagens:
  - garantir que Alice apenas transmite m uma vez
  - Como? Pré-processamos m para que seja única em cada transmissão
    - usamos um número de sequência e autenticamos t = MAC(k,n||m)
    - transmitimos (m,t), mas recetor mantém o mesmo número
    - verificação da tag => mesmo n dos dois lados!

Exemplo de Aplicação MAC

- Cookie poisoning:
  - servidor Web fixa cookie, por exemplo: créditos num jogo
  - utilizador edita cookie e aumenta créditos
  - solução: servidor autentica informação na cookie incluindo um MAC
  - necessário número de sequência?
  - problema de partilha de chaves?

Construções MAC: HMAC

- `t = H(okey||H(ikey||m))`
- MAC a partir de função de hash:
  - hoje em dia SHA-256
  - t => 256 bits, 32 bytes
  - porque é seguro?
    - aprender criptografia



Construções MAC: Poly1305

- `t = f(m,r) + s`
- Função de hash algébrica
  - polinómio definido por m
  - avaliado no ponto r
- Chave secreta (r,s) => 256 bits
- Pode ser usada apenas uma vez
- One-time MAC

$$f(r)=C_1r^n+C_2r^{n-1}+C_3r^{n-2}+\cdots+C_{n-1}r^2+C_nr$$

$$((\cdots(C_1r+C_2)r+C_3)r+\cdots+C_{n-1})r+C_n)r$$

https://jovi0608.hatenablog.com/entry/20160404/1459748671

Confidencialidade e Autenticidade

- Como obter ambas?
  - precisamos de usar: cifra (confidencialidade) + MAC (autenticidade)
  - precisamos de duas chaves secretas
  - como combinar a utilização de uma cifra com um MAC?

Confidencialidade e Autenticidade

- Três hipóteses
  - Encrypt and Mac (SSH)

  - Mac Then Encrypt (SSL)

  - Encrypt Then Mac (IPSEC)

Confidencialidade e Autenticidade

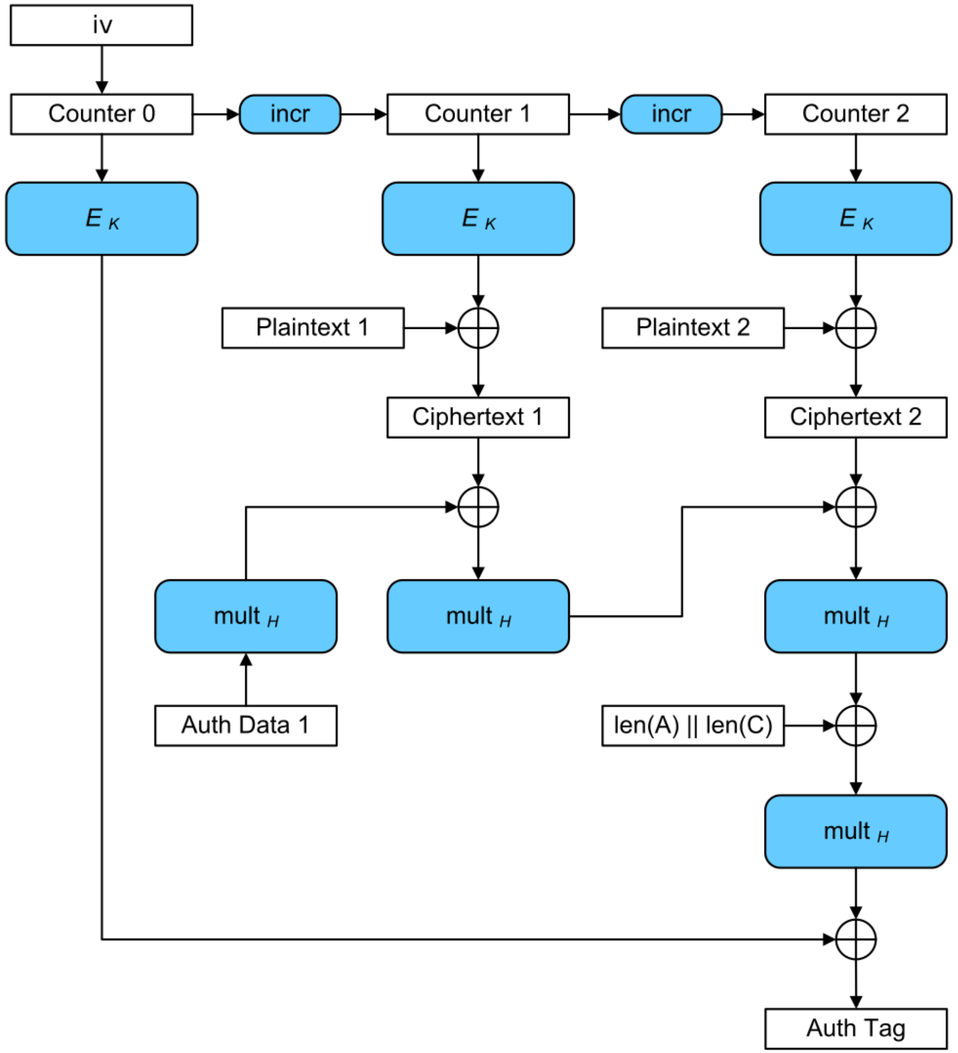
- Teoria: Encrypt Then Mac
  - Robusto: funciona sempre desde que componentes sejam seguros independentemente
  - Seguro e eficiente: permite rejeitar criptograma antes de decifrar
  - Base para construções integradas de cifras autenticadas adotadas no TLS 1.3

AEAD

- Authenticated Encryption with Associated Data
  - Abstração correta para a implementação de um canal seguro com criptografia simétrica
  - Garante a confidencialidade da mensagem/payload
  - Garante a autenticidade do criptograma e de metadados (`data`):
    - `Enc(n,k,m,data) => (c,t)`
    - `Dec(n,k,c,t,data) => m`, mas apenas se `(c,data)` autênticos relativamente a (n,t,k)
  - chave pode ser usada múltiplas vezes se n não repetir
  - data utilizada para vincular criptograma a contexto (e.g, endereço ip, número de sequência)
  - mais eficiente do que composição de cifra com MAC

AEAD: AES-GCM

- AES em Galois-Counter-Mode:
  - AEAD mais utilizado
  - muito eficiente
  - suporte em HW



https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc5288

AEAD: ChaCha20-Poly1305

- Alternativa a AES GCM recomendado no TLS 1.3
- Vantajosa em implementações SW
- É essencialmente um Encrypt-Then-Mac, mas
  - chave do MAC/Poly1305 := início da key stream ChaCha20
  - MAC/Poly1305 calculado sobre metadados + criptograma

https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7539

Aleatoriedade

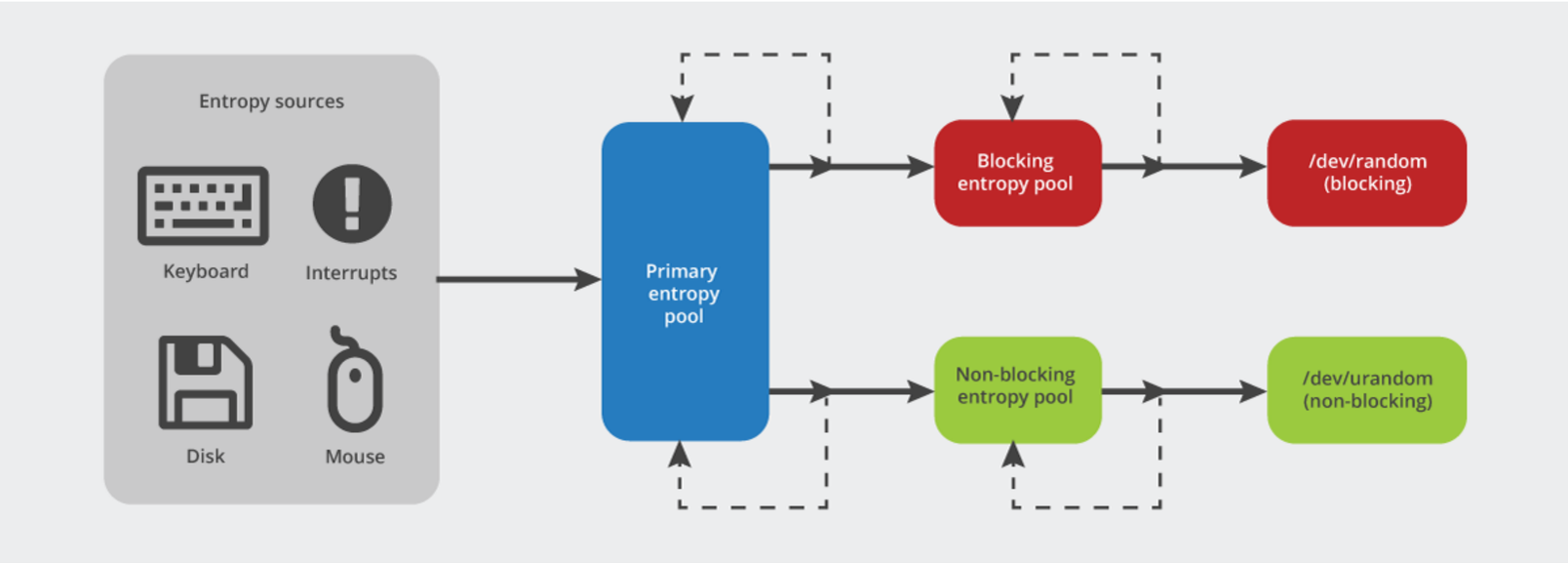
- De onde vêm os nonces, chaves, etc.?
- Na análise teórica de cripto geralmente assume-se aleatoriedade perfeita:
  - sequências de bits
  - cada bit é independente de todos os outros
  - a probabilidade de ser 1/0 é exatamente 50%
- Na prática gerar aleatoriedade é difícil

Aleatoriedade

- Mecanismos mais comuns nos sistemas operativos:
  - fontes de entropia:
    - medição de strings de bits a partir de processos físicos
    - temperatura, atividade do processador, atividade do utilizador
  - geradores pseudo-aleatórios:
    - estado: inicializado e actualizado periodicamente com fontes de entropia
    - algoritmo realimentado invocado quando SO precisa:
      - produz bits pseudoaleatórios, actualiza estado
  - segurança destas construções é heurística: best effort, documentação de ataques (e.g., após boot)

Aleatoriedade

- Exemplo Linux /dev/urandom



https://unix.stackexchange.com/questions/324209/when-to-use-dev-random-vs-dev-urandom

https://krishankantsinghal.medium.com/dev-random-dev-urandom-how-random-number-generation-causing-weblogic-server-to-start-slowly-5e9644314e2d