Cifra Sequenciais

Criptografia (MIETI)

José Carlos Bacelar Almeida
(jba@di.uminho.pt)

Cifra One-Time-Pad

- Já estudamos o facto da cifra OneTimePad (Vernam) oferecer garantias de confidencialidade!

$C_i = T_i \oplus K_i$

MAS:

$K_i = T_i \oplus C_i$

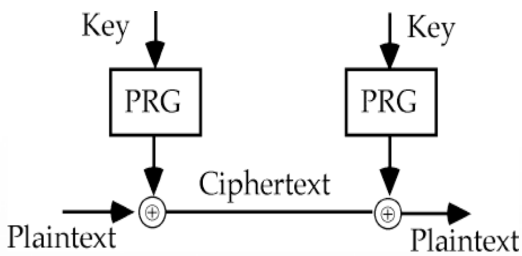
$C^1_i = T^1_i \oplus K_i$ e $C^2_i = T^2_i \oplus K_i$ determina que $T^1_i \oplus T^2_i = C^1_i \oplus C^2_i$

Problemas da cifra OTP

- Sequência de chave deve ser verdadeiramente aleatória e de comprimento igual à mensagem.
- Chaves nunca devem ser reutilizadas. Um ataque com texto limpo conhecido é trivial. Mesmo dispondo só dos criptogramas podemos retirar muita informação útil sobre o texto limpo.
- Não promove a difusão da informação no criptograma. Se dispusermos de informação sobre a estrutura de uma mensagem podemos "trocar" os bits pretendidos.

Cifras sequenciais

- A ideia base consiste em "aproximar" a cifra OneTimePad por intermédio de um gerador de chaves (que produz uma sequência de chave a partir de uma chave de comprimento fixo).



- Processam o texto limpo "símbolo a símbolo" (bit a bit, carácter a carácter, digito a digito...).
- Tendem a ser muito eficientes e facilmente implementáveis em hardware.
- O processo de geração da sequência de chave tem de ser reprodutível – pode por isso ser visto como uma *máquina de estados finitos*.
- Logo, temos que a sequência tem necessariamente de ser cíclica. Diz-se que o **período** é o comprimento da sequência antes de se começar a repetir.

Critérios para o desenho de Cifras Sequenciais

- Período deve ser tão grande quanto possível (sempre maior do que a mensagem a transmitir).
- Sequência de chave deve ser:
  - **pseudo-aleatória**: propriedades estatísticas análogas a uma sequência "verdadeiramente" aleatória.
  - **imprevisível**: dado um segmento inicial não deve ser possível prever a sua continuação.
- Outras características:
  - Sincronismo (síncronas ou auto-sincronizáveis).
  - Propagação de erros.
  - ...

Cifras Síncronas

- A sequência de chave é independente do texto limpo/criptograma.

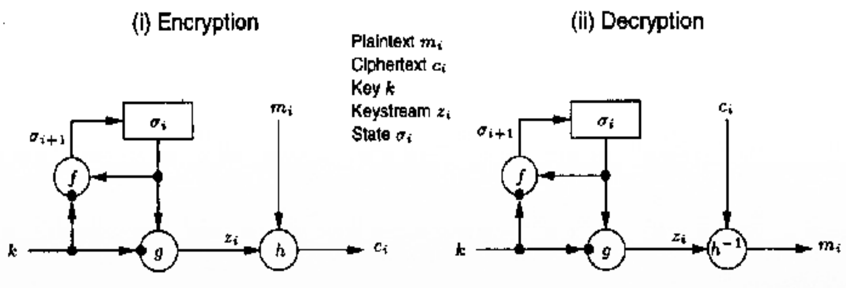


Figure 6.1: *General model of a synchronous stream cipher.*

- A perca/inserção de bits no criptograma determinam a "perca de sincronismo". Ao decifrar, toda a mensagem a partir desse ponto é corrompida.
- Erros (alterações de bits) só alteram a posição correspondente da mensagem original.
- A chave (parâmetro de segurança) pode afectar:
  - A função f que determina o próximo estado – *Output Feedbak Mode.*
  - A função g de saída – *Counter Mode.*
  - Ambas...

Cifras Auto-Sincronizáveis

- Cada bit da chave é calculado a partir dos últimos n bits do criptograma (e da chave, naturalmente).

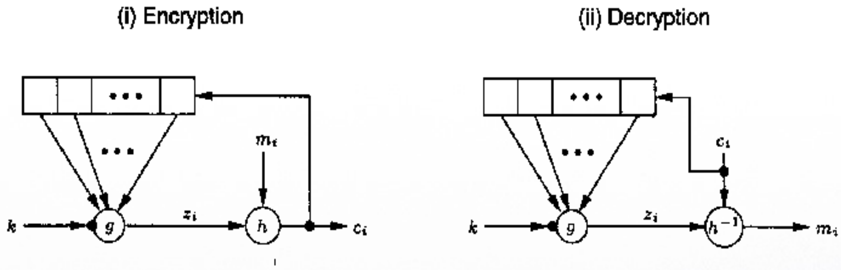


Figure 6.3: *General model of a self-synchronizing stream cipher.*

- Introduz-se um prefixo de n bits aleatórios no texto limpo para permitir sincronização da recepção.
- Ao fim de n bits a decifragem sincroniza (após erro de transmissão; omissão/inserção de bits no criptograma).
- **Problema:** vulnerável a ataques por repetição (o intruso pode reenviar uma porção do criptograma).

Mecanismo de Auto-Sincronização

K_i	Chave gerada	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0
T_i	Mensagem	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
$C_i(00)$	Criptograma	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0

$K_i=(C_{i-1}\oplus S_1)\oplus(C_{i-2}\oplus S_2)$

$C_i = K_i \oplus T_i$

$S_1=1; S_2=0$

estado interno inicial

ERRO!!!

$C_i(11)$	Criptograma	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0
K_i	Chave gerada	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0
T_i	Mensagem	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

.....

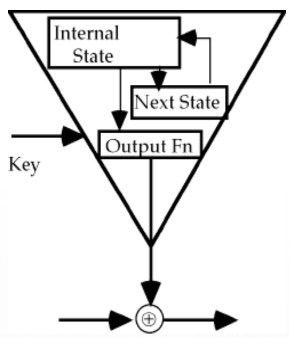
$T_i = C_i \oplus K_i$

Sequências Pseudo-Aleatórias

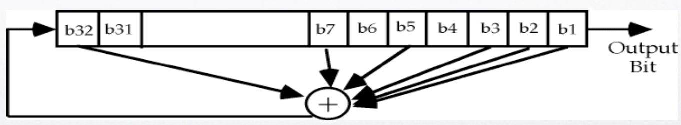
- Critérios de *Golomb*
  1. A diferença no número de 1s e de 0s deve ser tão pequeno quanto possível.
  2. Quando particionamos a sequência em sub-sequências de símbolos repetidos (*runs*), devemos encontrar um número de *runs* de comprimento l dado por $r(l)=2^{-l}*r$ (se $2^{-l}*r>1$), onde r é o número de *runs*.
  3. A auto-correlação deve ser um valor constante para qualquer desvio diferente de 0 (mod p).

$$C_p(\tau) = \frac{1}{p}\sum_{i=1}^{p} x_i x_{i+\tau}$$

Teoria das Máquinas de Estados Finitos



- O problema de construção de sistemas para produção de sequências pseudo-aleatórias dispõe já de um conjunto de resultados importante...
- Os *Linear Feedback Shift Registers (LFSR)* constituem uma das principais abordagens ao problema, com um manancial importante de resultados associados.
- Dispositivo "síncrono" (controlado por um "relógio") onde os bits são deslocados (produzindo um bit de saída) e o bit e entrada é determinado por uma função linear.



- A um LFSR podemos associar um polinómio (mod 2) onde os coeficientes não nulos correspondem aos bits utilizados no *feedback*.
  - E.g. $x^{32}+x^7+x^5+x^3+x^2+x+1$

Alguns resultados sobre LFSRs

- Um LFSR dispõe de período máximo (2^n-1) se e só se o polinómio que lhe é associado for primitivo. Além disso, a sequência resultante satisfaz os critérios de *Golomb*.
- ...mas isso não determina que sejam geradores de chaves satisfatórios...
  - são apenas necessários *2*n* bits da sequência para reconstruir o LFSR que lhes deu origem...
- Necessitamos então de "esconder" a estrutura matemática forte que lhes está subjacente.

Combinação de LFSRs

- Solução típica consiste em agregar diferentes LFSRs de uma forma que obscureça a sua estrutura.
  - Uma função para a combinação de diferentes LFSRs.

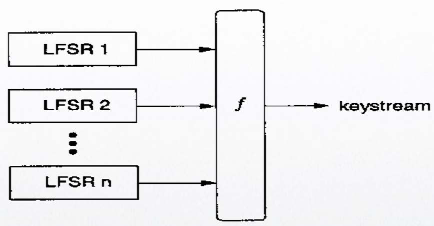


Figure 6.8: *A nonlinear combination generator. f is a nonlinear combining function.*

- Função deve ser, de preferência, não linear para dificultar ataques por correlação (onde se extrai informação da saída para derivar informação de cada LFSR)

Combinação de LFSRs (cont.)

- Utilização de LFSRs para regular a cadência de outros.

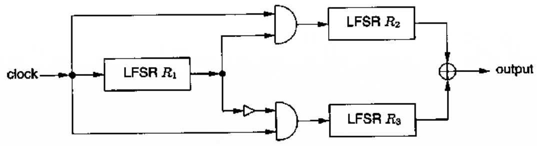


Figure 6.12: The alternating step generator.

- Utilização de LFSRs para filtrar a saída de outros.

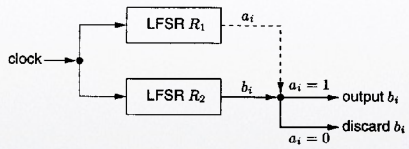
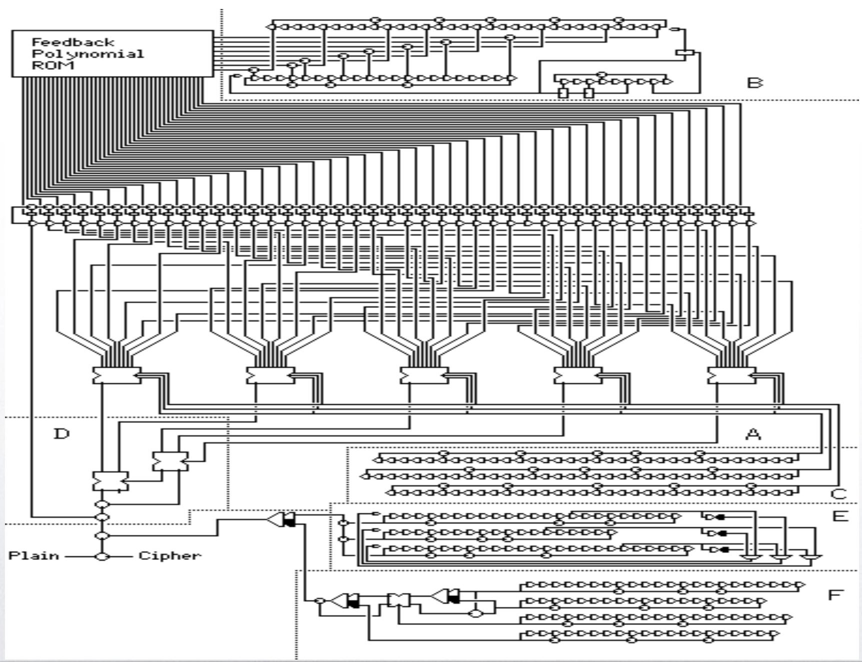
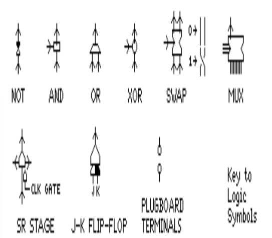


Figure 6.13: The shrinking generator.

- Multiplexers; Flip-Flops; etc.; etc.

Um exemplo...





A5 (A5/1; A5/2)

- Cifra utilizada no Standard Europeu GSM de comunicações móveis.
- Utiliza três LFSRs (de 19, 22 e 23 bits).
- Já quebrado... (2^{40}, 32Gb)
- Vulgarmente reconhecido como um "bom desenho" mas *propositadamente fraco* em termos de segurança (registos pequenos e polinómios esparsos)

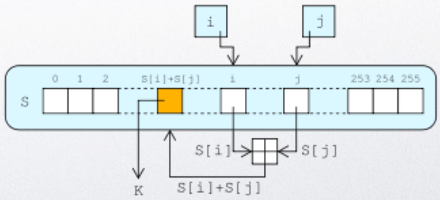
RC4

- Cifra desenvolvida por *Ron Rivest* (RSA Labs).
- Originalmente "trade secret" mas, por engenharia reversa, foi descoberto o algoritmo e divulgado por um *post* anónimo na *newsnet*.
- Vocacionado para ser executado em *Software* com operações ao nível do *byte*.
- Admite chaves de comprimento variável (até 2048 bit).
- Opera em *Output Feedback Mode*.
- Cerca de 10 vezes mais rápido do que o DES.
- Vulnerabilidades:
  - Estatisticamente *biased*, i.e. é possível distinguir sequência gerada de uma aleatória (com aprox. 1Gb)
  - Não prevê utilização de IV (nonce/salt).
  - Revela informação da chave quando IV é concatenado com chave (WEP).

- Key-Scheduling Algorithm (KSA)
  - Inicializa uma permutação de bytes (*S*) a partir da chave.

```
for i from 0 to 255
    S[i] := i
endfor
j := 0
for i from 0 to 255
    j := (j + S[i] + key[i mod keylength]) mod 256
    swap(S[i],S[j])
endfor
```

- Pseudo-Random Generation Algorithm (PRGA)
  - Utiliza um índice sequencial (*i*) e um indirecto (*j*). Nova substituição resulta de uma troca dos conteúdos nessas posições.




```
i := 0
j := 0
while GeneratingOutput:
    i := (i + 1) mod 256
    j := (j + S[i]) mod 256
    swap(S[i],S[j])
    output S[(S[i] + S[j]) mod 256]
endwhile
```

eSTREAM project

- *Call* promovida pelo rede Europeia ECrypt com o objectivo de propor novas cifras sequenciais para aplicação geral (http://www.ecrypt.eu.org/stream).
- Diferentes *Profiles* para acomodar requisitos diferentes:
  - Profile I - cifras implementadas em *Software* com grande débito.
  - Profile II - cifras implementadas em *Hardware* com recursos limitados.
  - Profile IA e IIA - variantes dos *profiles* anteriores com requisitos de autenticação.
- Portfolio actual inclui 4 cifras do Profile I, e 3 do Profile II.
  - Profile I: HC-128, Rabbit, Salsa20/12, SOSEMANUK.
  - Profile II: Grain v1, MICKEY v2, Trivium.

Referências

- Stream Ciphers – *M. J. Robshaw*, RSA Labs TR-701, 1995.
- Applied Cryptography – *Bruce Schneier*.
- Basic Methods of Cryptography – *Jan C. A. van der Lubbe*, Cambridge Press, 1997.