Criptografie și Securitate

- Prelegerea 6 -
Sisteme fluide

Adela Georgescu, Ruxandra F. Olimid

Facultatea de Matematică și Informatică
Universitatea din București

Cuprins

Sisteme fluide

- Am văzut că securitatea perfectă există, dar nu este practic accesibilă - OTP;

Sisteme fluide

- Am văzut că securitatea perfectă există, dar nu este practic accesibilă - OTP;
- Facem un compromis de securitate, dar obținem o soluție utilizabilă în practică - sisteme de criptare fluide;

Sisteme fluide

- Am văzut că securitatea perfectă există, dar nu este practic accesibilă - OTP;
- Facem un compromis de securitate, dar obținem o soluție utilizabilă în practică - sisteme de criptare fluide;
- Sistemele fluide sunt similare OTP, cu diferența că secvența **perfect aleatoare** de biți cu care se XOR-ează mesajul clar este înlocuită de o secvență **pseudoaleatoare** de biți.

Pseudoaleatorismul

- Un șir pseudoaleator "arată" similar unui șir uniform aleator din punct de vedere al oricărui algoritm **polinomial**;

Pseudoaleatorismul

- Un șir pseudoaleator "arată" similar unui șir uniform aleator din punct de vedere al oricărui algoritm **polinomial**;
- Altfel spus: un algoritm **polinomial** nu poate face diferența între o secvență **perfect aleatoare** și una **pseudoaleatore** (decât cu probabilitate neglijabilă);

Pseudoaleatorismul

- Un șir pseudoaleator "arată" similar unui șir uniform aleator din punct de vedere al oricărui algoritm **polinomial**;
- Altfel spus: un algoritm **polinomial** nu poate face diferența între o secvență **perfect aleatoare** și una **pseudoaleatore** (decât cu probabilitate neglijabilă);
- Sau: o distribuție a secvențelor de lungime l este **pseudoaleatoare** dacă este **nedistinctibilă** de distribuția uniformă a secvențelor de lungime l;

Pseudoaleatorismul

- Un șir pseudoaleator "arată" similar unui șir uniform aleator din punct de vedere al oricărui algoritm **polinomial**;
- Altfel spus: un algoritm **polinomial** nu poate face diferența între o secvență **perfect aleatoare** și una **pseudoaleatore** (decât cu probabilitate neglijabilă);
- Sau: o distribuție a secvențelor de lungime l este **pseudoaleatoare** dacă este **nedistinctibilă** de distribuția uniformă a secvențelor de lungime l;
- Mai exact: nici un algoritm polinomial nu poate spune dacă o secvență de lungime l este eșantionarea unei distribuții pseudoaleatoare sau este o secvență total aleatoare de lungime l.

Pseudoaleatorismul

- În analogie cu ce știm deja:
  - **pseudoaleatorismul** este o relaxare a **aleatorismului perfect**

Pseudoaleatorismul

- În analogie cu ce știm deja:
  - **pseudoaleatorismul** este o relaxare a **aleatorismului perfect**

    asa cum

  - **securitatea computațională** este o relaxare a **securității perfecte**

Sisteme fluide

- Revenind la criptarea fluidă...

Sisteme fluide

- Revenind la criptarea fluidă...
- ... aceasta presupune 2 faze:
  - **Faza 1**: se generează o secvență pseudoaleatoare de biți, folosind un generator de numere pseudoaleatoare (PRG)

Sisteme fluide

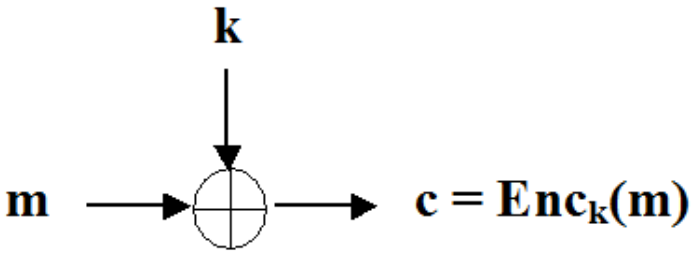
- Revenind la criptarea fluidă...
- ... aceasta presupune 2 faze:
  - **Faza 1**: se generează o secvență pseudoaleatoare de biți, folosind un generator de numere pseudoaleatoare (PRG)
  - **Faza 2**: secvența obținută se XOR-ează cu mesajul clar

Sisteme fluide

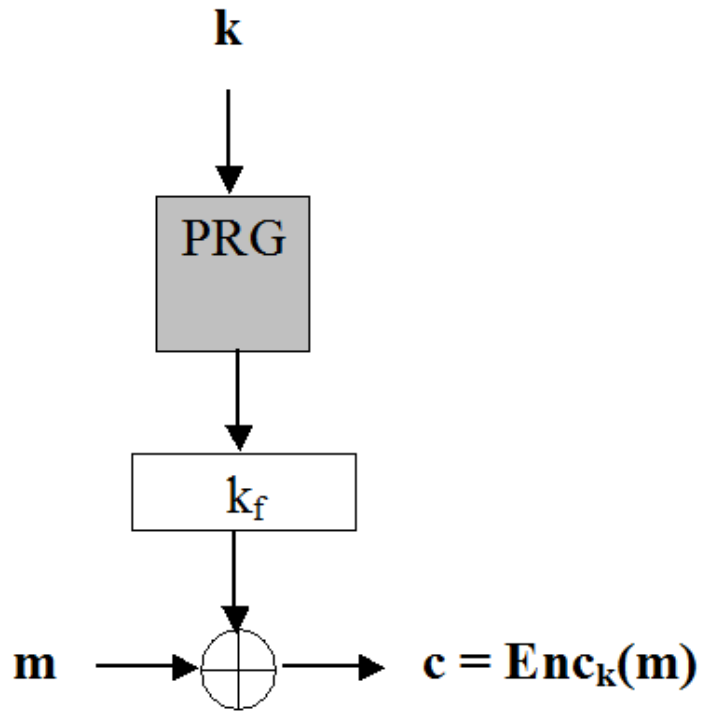
- Revenind la criptarea fluidă...
- ... aceasta presupune 2 faze:
  - **Faza 1**: se generează o secvență pseudoaleatoare de biți, folosind un generator de numere pseudoaleatoare (PRG)
  - **Faza 2**: secvența obținută se XOR-ează cu mesajul clar
- Atenție! De multe ori când ne referim la un sistem de criptare fluid considerăm doar Faza 1

Sisteme fluide

OTP (One Time Pad)



Sisteme fluide



PRG

- Ramâne să definim noțiunea de generator de numere aleatoare sau PRG *(PseudoRandom Generator)*;

PRG

- Ramâne să definim noțiunea de generator de numere aleatoare sau PRG *(PseudoRandom Generator)*;
- Acesta este un algoritm **determinist** care primește o "sămânță" relativ scurtă s (*seed*) și generează o secvență *pseudoaleatoare* de biți;

PRG

- Ramâne să definim noțiunea de generator de numere aleatoare sau PRG *(PseudoRandom Generator)*;
- Acesta este un algoritm **determinist** care primește o "sămânță" relativ scurtă s (*seed*) și generează o secvență *pseudoaleatoare* de biți;
- Notăm $|s| = n$, $|PRG(s)| = l(n)$

PRG

- Ramâne să definim noțiunea de generator de numere aleatoare sau PRG *(PseudoRandom Generator)*;
- Acesta este un algoritm **determinist** care primește o "sămânță" relativ scurtă s (*seed*) și generează o secvență *pseudoaleatoare* de biți;
- Notăm $|s| = n$, $|PRG(s)| = l(n)$
- PRG prezintă interes dacă:

$$l(n) \geq n$$

(altfel NU "generează aleatorism")

PRG

Definitie

Fie $l(\cdot)$ un polinom și G un algoritm polinomial determinist a.î. $\forall n \in \{0,1\}^n$, G generează o secvență de lungime $l(n)$.
G se numește generator de numere pseudoaleatoare (PRG) dacă se satisfac 2 proprietăți:

1. *Expansiune: $\forall n, l(n) \geq n$*
2. *Pseudoaleatorism: $\forall$ algoritm PPT $\mathcal{D}$, $\exists$ o funție neglijabilă $negl$ a.î.:*

$$|Pr[D(r) = 1] - Pr[D(G(s)) = 1]| \leq negl(n)$$

unde $r \leftarrow^R \{0,1\}^{l(n)}, s \leftarrow^R \{0,1\}^n$

$l(n)$ se numește factorul de expansiune al lui G

Notații

- $\mathcal{D}$ = *Distringuisher*
- PPT = Probabilistic Polynomial Time
- $x \leftarrow^R X$ = x este ales uniform aleator din X
- $negl(n)$ = o funcție neglijabilă în (parametrul de securitate) n

Notații

- $\mathcal{D}$ = *Distringuisher*
- PPT = Probabilistic Polynomial Time
- $x \leftarrow^R X$ = x este ales uniform aleator din X
- $negl(n)$ = o funcție neglijabilă în (parametrul de securitate) n

În plus:

- Vom nota $\mathcal{A}$ un adversar (Oscar / Eve), care (în general) are putere polinomială de calcul

Sisteme fluide

Definitie

Un sistem de criptare (Enc, Dec) *definit peste* $(\mathcal{K}, \mathcal{M}, \mathcal{C})$ *se numește sistem de criptare fluid dacă:*

1. $Enc : \mathcal{K} \times \mathcal{M} \to \mathcal{C}$

$$c = Enc_k(m) = G(k) \oplus m$$

2. $Dec : \mathcal{K} \times \mathcal{C} \to \mathcal{M}$

$$m = Dec_k(c) = G(k) \oplus c$$

unde G *este un generator de numere pseudoaleatoare cu factorul de expansiune* l, $k \in \{0,1\}^n$, $m \in \{0,1\}^{l(n)}$

Securitate - interceptare unică

Teorema

Dacă G este PRG, atunci sistemul fluid definit anterior este un sistem de criptare simetric de lungime fixă computațional sigur pentru un atacator pasiv care care poate intercepta un mesaj.

Demonstrație intuitivă

- OTP este perfect sigur;

Demonstrație intuitivă

- OTP este perfect sigur;
- Criptarea fluidă se obține din OTP prin înlocuirea *pad* cu $G(k)$;

Demonstrație intuitivă

- OTP este perfect sigur;
- Criptarea fluidă se obține din OTP prin înlocuirea *pad* cu $G(k)$;
- Dacă G este PRG, atunci *pad* și $G(k)$ sunt indistinctibile pentru orice $\mathcal{A}$ adversar PPT;

Demonstrație intuitivă

- OTP este perfect sigur;
- Criptarea fluidă se obține din OTP prin înlocuirea *pad* cu $G(k)$;
- Dacă G este PRG, atunci *pad* și $G(k)$ sunt indistinctibile pentru orice $\mathcal{A}$ adversar PPT;
- În concluzie, OTP și sistemul de criptare fluid sunt indistinctibile pentru $\mathcal{A}$.

Securitate - interceptare multiplă

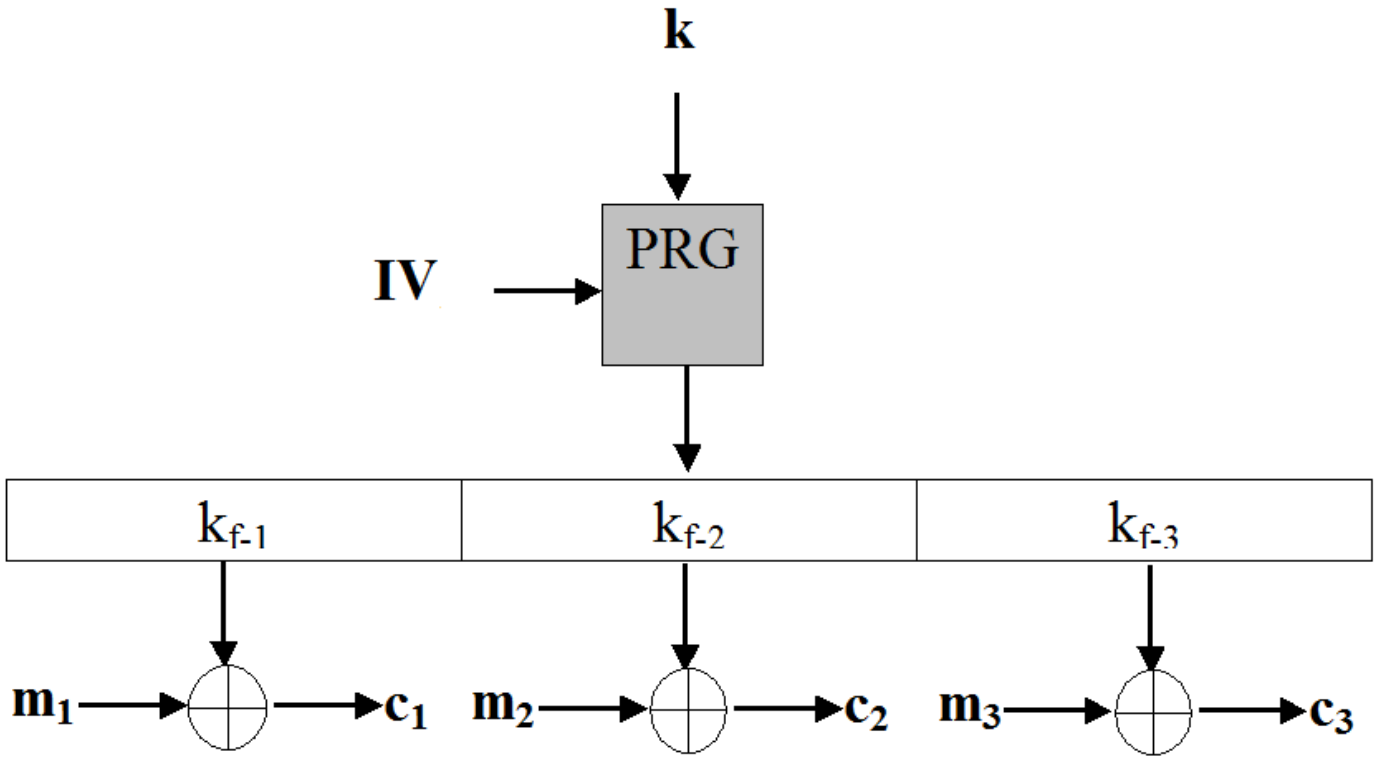
- Un sistem de criptare fluid în varianta prezentată este determinist: *unui text clar îi corespunde întotdeauna același mesaj criptat*;
- În consecință, utilizarea unui sistem fluid în forma prezentată pentru criptarea mai multor mesaje (cu aceeași cheie) este nesigura;
- Un sistem de criptare fluid se folosește în practică în 2 moduri: sincronizat și nesincronizat.

Moduri de utilizare

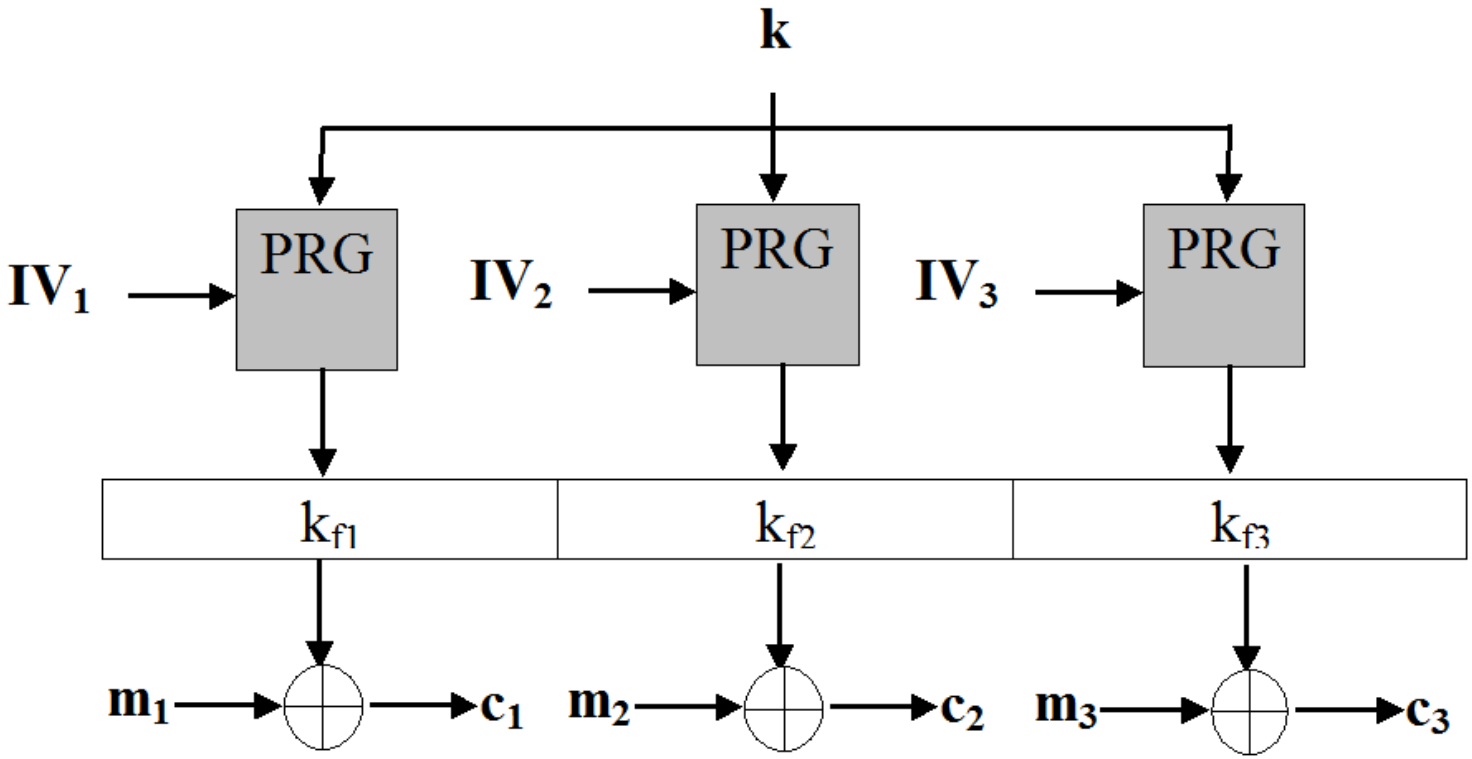
- modul sincronizat: partenerii de comunicație folosesc pentru criptarea mesajelor *părți succesive* ale secvenței pseudoaleatoare generate;
- modul nesincronizat: partenerii de comunicație folosesc pentru criptarea mesajelor secvențe pseudoaleatoare *diferite*.

Atenție!
PRG va necesita 2 intrări: cheia k și un vector de inițializare IV.

Modul sincronizat



Modul nesincronizat



Moduri de utilizare

Modul sincronizat

- mesajele sunt criptate în mod succesiv (participanții trebuie să știe care părți au fost deja folosite)
- necesită păstrarea stării
- mesajele succesive pot fi percepute ca un *singur mesaj clar lung*, obținut prin concatenarea measajelor succesive
- se pretează unei singure sesiuni de comunicații

Modul nesincronizat

- mesajele sunt criptate în mod independent
- NU necesită păstrarea stării
- valorile $IV_1, IV_2, \ldots$ sunt alese uniform aleator pentru fiecare mesaj transmis
- valorile $IV_1, IV_2, \ldots$ (dar si IV în modul sincronizat) fac parte din mesajul criptat (sunt necesare pentru decriptare)

Proprietăți necesare ale PRG în modul nesincronizat

Fie $G(s, IV)$ un PRG cu 2 intrări:

- s = *seed*
- IV = *Initialization Vector*

PRG trebuie să se satisfacă (cel puțin):

1. $G(s, IV)$ este o secvență pseudoaleatoare chiar dacă IV este public (i.e. securitatea lui G constă în securitatea lui s);
2. dacă IV_1 și IV_2 sunt valori uniform aleatoare, atunci $G(s, IV_1)$ și $G(s, IV_2)$ sunt indistinctibile.

Exemple

- RC4 (Ron's Cipher 4):
  - definit de R.Rivest, în 1987
  - utilizat în WEP
  - inițial secret !

Exemple

- RC4 (Ron's Cipher 4):
  - definit de R.Rivest, în 1987
  - utilizat în WEP
  - inițial secret !

- WEP (Wired Equivalent Privacy):
  - standard IEEE 802.11, 1999 (rețele fără fir)
  - înlocuit în 2003 de WPA (Wi-Fi Protected Access), 2004
    WPA2 - IEEE 802.11i

Exemple

- A5/1:
  - definit în 1987 pentru Europa și SUA
  - A5/2 definit în 1989 ca o variantă mai slabă pentru alte zone geografice
  - utilizat în rețelele de telefonie mobilă GSM
  - inițial secret !

Exemple

- A5/1:
  - definit în 1987 pentru Europa și SUA
  - A5/2 definit în 1989 ca o variantă mai slabă pentru alte zone geografice
  - utilizat în rețelele de telefonie mobilă GSM
  - inițial secret !

- SEAL (Software-Optimized Encryption Algorithm)
  - definit de D.Coppersmith și P.Rogaway, în 1993
  - prezintă o implementare foarte eficientă pe procesoarele pe 32 de biți
  - versiunea curentă (SEAL 3.0) este patentată IBM

Important de reținut!

- Noțiunile de pseudoaleatorism, PRG
- OTP vs. Sisteme fluide
- Transpunerea sistemelor fluide în practică